



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**TESIS DONADA POR
D. G. B. UNAM**

**EMBAJADA PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

**"ESTUDIO TECNICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE
GRANATE EN EL ESTADO DE OAXACA"**

TESIS:

Que para obtener al Titulo de

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

Presenta:

CARLOS SILVA RIOS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
I. GENERALIDADES	4
I.1 MINERALOGIA DEL GRANATE	4
I.2 ORIGEN DE LOS YACIMIENTO DEL GRANATE	9
I.3 ABRASIVOS	11
I.3.1 HISTORIA	11
I.3.2 CLASIFICACION DE LOS ABRASIVOS	12
I.4 CARACTERISTICAS DE LOS ABRASIVOS	15
I.5 USOS DE LOS ABRASIVOS	19
I.6 USOS DEL GRANATE	20
I.6.1 GRANATE COMO ABRASIVO	20
I.6.2 GRANATE COMO ELEMENTO FILTRANTE	21
I.6.3 GRANATE EN JOYERIA	21
I.6.4 OTROS USOS	23
I.7 PERSPECTIVAS DE DEMANDA DE GRANATE	24
I.8 PRODUCTOS SUSTITUTOS	25
II. MERCADO DEL GRANATE	28
III. TRABAJO EXPERIMENTAL	35
III.1 CARACTERIZACION DEL GRANATE	35
III.2 PRUEBAS DE TRITURACION	41
III.3 PRUEBAS DE ABRASION	44

	Pág.
IV. PROCESO DE FABRICACION DE LIJAS Y POLVOS ABRASIVOS	49
IV.1 TAMAÑO DE LA PLANTA Y DESCRIPCION DEL PROCESO.	49
V. CONCLUSIONES	57
VI. BIBLIOGRAFIA	58

INTRODUCCION.

Tomando en cuenta la existencia de yacimientos de granate en el país y en particular en el Estado de Oaxaca, se ha considerado la posibilidad de utilizarlo como abrasivo y crear con esto una pequeña planta productora de lijas y polvos abrasivos de un rango medio de dureza, ya que en la actualidad son elaborados con granate de importación y en algunos casos con abrasivos de inferior calidad.

La creación de esta planta tiene dos objetivos fundamentales que son:

- a). Sustituir este producto con materia prima del país.
- b). Contribuir a ocupar mano de obra ociosa y crear fuentes de trabajo en una de las regiones más marginadas económicamente del país.

La planta produciría para abastecer un mercado local, que si bien está saturado, se considera que admitiría competencia.

De tener éxito el mercado, se iría extendiendo en el sur de la nación, cercano donde se encuentra el yacimiento a donde los productos elaborados llegan con mayor dificultad con el correspondiente aumento en los precios.

Se tiene la confianza en que esta fábrica tenga éxito pues el granate saldría a un precio muy inferior al que se consume, el cual es importado. La fabricación de este producto en el Estado de Oaxaca abatiría los precios debido también al menor costo en la mano de obra local que es inferior a la que impera en el Estado de México o el Distrito Federal, que son los lugares en los que actualmente se elaboran estos productos; por lo anteriormente descrito y buscando ampliaciones al mineral en cuestión, se presenta a continuación el siguiente estudio, tratando de adaptarlo al diseño de una planta productora de lijas y polvos abrasivos a base de granate del Estado de Oaxaca.

El trabajo experimental se desarrolla en base a los siguientes puntos:

- Caracterización mineralógica del granate del Estado de Oaxaca, recibida como muestra.
- Pruebas de trituración y lavado de mineral, observación de la fractura y de los granos resultantes, calidad abrasiva, tenacidad, etc.
- Clasificación granulométrica del material triturado.
- Pruebas de aglutinantes para adherir firmemente las partículas del granate al papel base.
- Diseño de la fábrica de lijas y polvos abrasivos del granate Oaxaqueño.

Además el presente trabajo trata de exponer el panorama actual y las perspectivas en el aprovechamiento de los recursos de granate en nuestro país, dentro del contexto mundial de desarrollo que presenta este mineral. Así mismo, se considera el desarrollo histórico que ha tenido el granate desde su descubrimiento hasta nuestros días.

La realización de este trabajo, ha tenido varios objetivos para el autor, principalmente tratando de conocer la situación actual de un mineral dentro del campo de los abrasivos y en segundo lugar proponer la tecnología adecuada para ampliar las posibilidades de aprovechamiento de estos recursos existentes, para obtener un desarrollo más adecuado de nuestra economía.

CAPITULO I

I. GENERALIDADES.

I.1 MINERALOGIA DEL GRANATE.

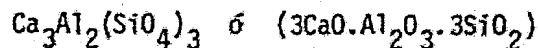
El granate es un ortosilicato que tiene la fórmula general $3RO \cdot R_2O_3 \cdot SiO_2$ ó $R_2^{III} R_3^{II} (SiO_4)_3$, el elemento bivalente puede ser calcio, hierro ferroso o manganeso. El elemento trivalente, aluminio, hierro férrico o cromo, rara vez titanio.

Las diferentes moléculas de granate son isomorfas entre sí aunque hay límites aparentes en las mezclas, en su mayoría tienen moléculas de 2 ó 3 componentes; sin embargo, en los casos en que todos estén presentes, uno de ellos estará en cantidades menores; por lo tanto, se puede decir que el granate se presenta en dos series isomorfas que tienen entre sí una ligera miscibilidad: la Piropo-Almandita-Spersatita y la serie Grosularita-Andradita.

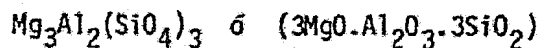
Se clasifica al granate en tres grupos importantes con varias subdivisiones cada una, muchas se mezclan entre sí.

1). Granate Aluminico.

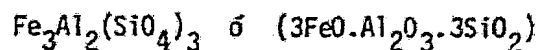
a). Grosularita; granate cálcico aluminico.



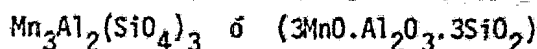
b). Piropo; granate de magnesio aluminico.



c). Almandita; granate ferroso aluminico.

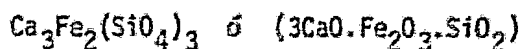


d). Spersatita; granate manganeso aluminico.



2). Granate Férrico.

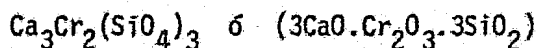
e). Andradita; granate cálcico férrico



- e.1) Ordinario Simple
- e.2) Magnesio
- e.3) Titanífero
- e.4) Itrífero

3). Granate Crómico.

- f). Uvarovita; granate calcio crómico.



La palabra granate proviene del latín "granatus" que significa "como un grano" y directamente de "pomogranate", semillas rojas y numerosas en alusión al aspecto de los cristales.

Como se ha visto el grupo de los granates incluye una serie de subespecies bajo el mismo nombre del sistema isométrico y en forma general las formas comunes de cristalización son la dodecahédrica y la trapezohédrica.

Tienen también la misma fórmula general, cuando los elementos presentan amplias diferencias además de haber muchas variedades intermedias. Algunos de los granates incluyen titanio en lugar de Al, Ca, Mg perteneciendo entonces a las raras especies de Scordomita que tiene probablemente la misma fórmula general.

Resumiendo podemos decir que el granate es isométrico; sus formas comunes de cristalización son el dodecahedro y el trapezohedro, aunque también se puede estar en combinación o con la forma hexahédrica, las facetas cúbicas y octahédricas son muy raras en estos cristales a menudo llenos de gránulos internos; así mismo, se encuentran en forma compacta o masiva, en gránulos gruesos o finos.

Estudio con rayos X de estructura atómica demuestran una complicada unidad de 8 moléculas. Los grupos SiO_4 son independientes entre sí, los átomos R^{111} están en el centro de un grupo de 6 átomos de oxígeno y los átomos R^{11} en el centro de un grupo de 8.

Su fractura es concoidal irregular, quebradizo, a veces en forma masiva, muy fuerte cuando cristaliza en forma compacta, dureza 6.5 a 7.5; densidad 3.15 - 4.3 variando de acuerdo a su composición, con brillo vítreo a resinoso, de color rojo, café, amarillo, blanco, verde, negro; frecuentemente en los colores rojo y verde, es muy brillante.

Ocasionalmente tiene doble refracción, especialmente, en la grosularita, su índice de refracción es más bien alto y varía directamente a su composición.

Para entrar más en detalle, se desglosa a continuación cada uno de los tipos de granate:

GROSULARITA.

Granate de calcio-aluminio a veces el hierro ferroso sustituye parcialmente al calcio, y el hierro férrico al aluminio, el peso específico varía de 3.5 a 3.7, se puede encontrar de color blanco, diversos tonos de amarillo pardo, canela, rojo, rosa, también verde e incoloro.

El índice de refracción varía de 1.735 a 1.763, se encuentra en calizas cristalinas y dolomías, con wollastonita, vesubianita, diopsida y escapolita.

PIROPO.

Granate de magnesio y aluminio, el magnesio es sustituido por calcio y hierro ferroso. Peso específico de 3.5 a 3.8,

de color rojo oscuro a casi negro, el índice de refracción varía desde 1.705 a 1.749. Cuando es claro y transparente se llama granate precioso y se emplea como gema, normalmente, se conoce como rubí de Cabo o de Arizona.

Se encuentra en rocas ígneas básica, tales como la Peridotita o Serpentina, frecuentemente es un asociado del diamante, aparece en buenos cristales, en partículas irregulares o granos redondos.

ESPESSARTINA.

Granate de manganeso y aluminio, contiene hierro ferroso y férrico, peso específico de 4.1 a 4.3 pardusco a un rojo jacinto, índice de refracción 1.794 a 1.814, y se encuentra generalmente, en rocas graníticas con topacio, turmalina, cuarzo y ortoza.

ALMANDINA.

Granate de aluminio-ferro, contiene hierro férrico y magnesio, su peso específico va de 3.9 a 4.2, de color rojo oscuro a rojo pardusco o negro, su índice de refracción varía desde 1.766 a 1.830, son granates preciosos, la variedad roja transparente se emplea como gema, las variedades traslúcidas, se llaman granates corrientes, se encuentran generalmente en micaesquitos y otros esquitos, asociados con la estauroлита, cianita, andalucita y turmalina.

UVAROVITA.

Granate de calcio y cromo, de color verde esmeralda, peso específico 3.4 a 3.5, índice de refracción 1.84, se presenta en cristales pequeños. No es una variedad corriente, se encuentra como cromita en la serpentina y en calizas o gneiss cristalinos.

ANDRADITA.

Granate de calcio y fierro, la composición varía mucho, el color es rojo pardusco, pardo, negro grisaseo, negro, diversos tonos de amarillo o verde, peso específico 3.7 a 3.8, el índice de refracción varía desde 1.8 a 1.95, la topazolita, es amarilla o verdosa y con frecuencia se parece al topacio.

DEMANTOIDE.

Es una variedad verde hierba, la melanita es negra, con un índice de refracción de 1.94. Estos granates se encuentran en la sienita, serpentina, esquitos cloríticos y calizas cristalinas, los asociados normales son los feldespatos, nefelina leucita, epidota y magnetita.

I.1.1 PROPIEDADES.

La mayoría de los granates funden a vidrio café claro o negro, excepto el granate crómico, que es casi infusible.

La andradita y la almandita, funden a glóbulos magnéticos, casi todos los tipos reaccionan y son decompuestos con ácido y en fusión con carbonatos alcalinos, haciendo que su densidad baje mucho con dicho calentamiento.

Se caracterizan por la cristalización isométrica, formada por los cristales dodecahédricos o trapezohédricos, las formas masivas son raras, casi siempre se presentan como gránulos, también se distinguen por su dureza, lustre vítreo y puntos de fusión.

Mientras que los miembros del grupo granate han sido formados artificialmente, su síntesis es difícil.

Aparentemente pueden producirse sólo bajo condiciones exactas de temperatura y presión difíciles de reproducir.

Los granates naturales tienden a descomponerse en otros minerales diferentes. El granate está distribuido ampliamente encontrado, generalmente, en una gran variedad de rocas, principalmente en mica hornablenda, en granito, sienita y a veces en rocas volcánicas; en ocasiones se presenta en forma masiva, como constituyente principal de la roca. La forma en que se presenta, depende mucho de la composición química del granate en cuestión.

I.2 ORIGEN DE LOS YACIMIENTOS DEL GRANATE.

Generalizando, podemos decir que, abundan los granates de origen metasomático de contacto, que se sabe surgen a consecuencia de las reacciones, principalmente de magmas ácidas con rocas carbonatadas (calizas y dolomías), en medio de temperaturas relativamente altas. Suelen encontrarse con frecuencia en masas continuas (grosularia y andradita) o entran en composición de los skarns, formados principalmente de silicatos calcáreos, diopsido, hedenbergita, epidoto, vesubiano, a veces wollastonita, actinolita, cloritas, etc. Los skarns andradíticos, suelen acompañarse con los yacimientos de magnetitas de contacto.

Con menos frecuencia, se encuentran yacimientos de granate (principalmente de almandina) surgidos bajo el efecto de magmas ácidas sobre las rocas metamórficas básicas (anfibolitas, gneiss de hornablenda, etc.).

En síntesis, los granates son constituyentes accesorios de rocas ígneas, y se forman por metamorfismo, en esquistos y

Por metasomatismo de contacto, en rocas calcáreas. Siguiendo los procesos de la fase magnética, se enuncian a continuación, los efectos de contacto de las emanaciones gaseosas a elevada temperatura, que se escapan durante la consolidación de las magmas intrusivos como sigue:

- 1.- Efectos Térmicos; sin apreciable adición de nuevas materias, que dan origen al metamorfismo de contacto.
- 2.- Efectos Térmicos combinados con adiciones procedentes de la cámara magnética, que dan comienzo al metamorfismo de contacto.

Se debe hacer una clara distinción entre ambos, puesto que el metamorfismo de contacto, no da origen a yacimientos minerales, salvo raros casos de yacimientos no metálicos, como los de silimanita y el metasomático de contacto, puede dar principio a yacimientos valiosos y bien acusados.

El metamorfismo de contacto, se manifiesta por:

- a). Efectos endógenos o internos, en los márgenes de la masa ígnea, los efectos endógenos, consisten principalmente en cambios de textura o de composición mineral, de la zona marginal pueden presentarse minerales pegmatíticos, como la turmalina, berilo o los granates.
- b). Los efectos exógenos, de grandes masas intrusivas, son generalmente, muy importantes, consisten en una cocción o endurecimiento de las rocas circundantes y en general, una completa transformación de las mismas.

El metasomatismo de contacto, difiere del metamorfismo de contacto, en que implica adiciones importantes a partir del magma, los cuales por reacción metasomática con las rocas con las que establece contacto, forman nuevos minerales en condiciones de elevada temperatura y presión. A los efectos producidos por el calor del metamorfismo de contacto, se añaden los metasomáticos, en virtud de los cuales, los nuevos minerales, pueden estar compuestos en todo o en partes, por constituyentes que se le han agregado desde la magma. Así, la mineralogía resultante, es más variada y compleja que con el metamorfismo térmico, sólo si las emanaciones magnéticas están muy cargadas de los constituyentes de depósitos minerales, se derivan yacimientos metasomáticos de contacto, particularmente, en un ambiente favorable de rocas calcareas. A estos depósitos, se les ha denominado frecuentemente (yacimientos metamórficos de contacto), pero no son metamórficos si no metasomáticos sus materiales, derivan en gran parte del magma y no de la roca invadida. Por consiguiente, el empleo de la palabra metasomática en lugar de metamórfico eliminará algo de la confusión que ha existido.

I.3 ABRASIVOS.

I.3.1 HISTORIA

El primer artículo sobre abrasivos revestidos, apareció en el año de 1808, describiendo como la piedra pómez triturada después de calcinada, se mezclaba con barniz y se esparcía sobre papel con una brocha.

Lothrop, en 1931 inventó una tela abrasiva de esmeril, que fabricaba espolvoreando una mezcla de goma, con esmeril sobre una banda de tela de algodón. En el año de 1844, se publicó una patente francesa, de una máquina diseñada para hacer papel de esmeril.

con gran variedad de tamaños de grano; en 1861, se usó en abundancia cuarzo molido o triturado, para hacer papeles abrasivos. Sin embargo, la industria grande de los abrasivos empezó a finales del siglo XIX a partir de la invención de la máquina universal de rectificado, hecha por el relojero inglés, Joseph R. Brown, posteriormente, se desarrollaron los discos abrasivos, que tuvieron demanda en el terminado de maquinaria agrícola.

Al aumentar el desarrollo de la industria automotriz por Henry Ford, se incrementó el crecimiento de la industria de los abrasivos.

I.3.2 CLASIFICACION DE LOS ABRASIVOS.

Existen abundantes materiales abrasivos, pero sólo unos cuantos se utilizan en escala industrial y el resto sólo se emplea en pequeñas cantidades para fines muy especializados. Los materiales abrasivos, se clasifican en dos grupos: Naturales y Artificiales.

Abrasivos Naturales.

- a). Cuarzo, cuarcita, cristobalita y arena sílica. Todos de la misma composición química (SiO_2), pero de diferente tipo de cristalización. Se utilizan generalmente, en los papeles de lijas o en los procesos de sopleteado con aire comprimido, estos abrasivos son muy abundantes en la naturaleza.
- b). Esmeril. Este material de composición química variable (Al_2O_3 y Fe_2O_3) y de cristaliza-

ción cúbica, se emplea en la manufactura de piedras de amolar y afilar; así como abrasivos recubiertos, se les encuentra en yacimientos naturales en Inglaterra, en Grecia y en otros países.

- c). Corindón. Este material de composición química Al_2O_3 y de cristal original transparente, se encuentra en forma natural en vetas en Sudáfrica y se emplea en la manufactura de abrasivos moldeados y abrasivos recubiertos.
- d). Diamante. Es el material más duro conocido y se emplea en forma muy reducida como abrasivo industrial, dado su alto valor. La composición química, es de carbono puro, en forma de cristales octahédricos, transparentes y en ocasiones con ligeros tonos azules, rosa o amarillo.
- e). Granate (Almandita). Es un complejo de SiO_2 , FeO y Al_2O_3 , y se caracteriza por presentar pequeñas partículas de caras naturales, de color rojo oscuro, se utiliza en abrasivos recubiertos.
- f). Silicatos. Este grupo, incluye todos los silicatos como el vidrio fundido común y la piedra pómez, su utilización se limita a pulidos y como abrasivos ligeros en poca escala.
- g). Arcillas Calcinadas. Estos compuestos de aluminosilicatos, se utilizan como abrasivos suaves, para pulir metales.

- h). Diatomita. Tierra de infusorios, de Diatomeas y Tripolita este grupo representa a los materiales abrasivos de origen animal, pues se trata de esqueletos silicosos de diatomeas, estos materiales se usan para pulir.

Abrasivos Artificiales.

- i). Carburo de Silicio (SiC). Este abrasivo se obtiene por la reacción en hornos eléctricos de resistencias, de arena silícea, carbón y serrín de madera. Se le denomina comercialmente como "Carborundum", y existen dos variedades, una de color negro y otra de color verde, ambas de gran dureza, de cristales trigonales y con granos de filos agudos, pero relativamente frágiles. El carburo de silicio, es uno de los abrasivos más empleados e importantes en la industria moderna.
- j). Alumina Fundida (Al_2O_3). Es un abrasivo que se produce mediante la fusión de bauxita o alúmina, de cierta pureza en hornos eléctricos de arco cubierto, se le conoce comercialmente de varios nombres como aloxita, alundum, etc., y existen 6 variedades diferentes; regular, policristal, cristal sencillo, blanco, blanco especial y rosado. Junto con el carborundum el óxido de aluminio fundido, es el abrasivo de mayor utilización industrial en la actualidad.
- k). Carburo de Boro (B_4C_3 ó B_4C). Este material se obtiene reduciendo óxido bórico (B_2O_3) con carbón, en un horno eléctrico de resistencias, en el cual es comprimido en forma de blocks. El carburo de boro no forma filos agudos al frac-

turarse, por lo cual no tiene aplicación como abrasivo en forma de abrasivos moldeados o recubiertos, sino que se utiliza en forma de polvo para pulir materiales muy duros.

- l). Nitruro de Boro Cristalizado (BN ó B_3N). Es el material más duro que se haya sintetizado hasta la fecha, pero su utilización está muy limitada pues su desarrollo en forma industrial, está todavía en fase experimental.
- m). Óxido de Zirconio Fundido (ZrO_2). Este material se fabrica fundiendo óxido de zirconio en hornos eléctricos, es un excelente abrasivo, pues reúne características de dureza y tenacidad muy equilibrados; sin embargo, su uso está muy limitado debido a su costo elevado.

Tanto el Al_2O_3 fundido como carburo de silicio han desplazado a los abrasivos naturales como esmeril, el granate y el corindón debido a sus mejores características.

Sólo los abrasivos naturales de óxido de silicio, siguen teniendo una utilización más o menos apreciable, pero sólo en procesos especializados como lo es el soopleteado y en la manufactura de abrasivos recubiertos muy baratos.

I.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ABRASIVOS.

- a). Dureza: Esta es la propiedad más importante en un abrasivo, pues debido a la naturaleza propia del proceso de abrasión, en el cual el abrasivo "corta" fragmentos de la pieza procesada y por la razón de que el material que corta debe ser más duro siempre

que el cortado, es por lo tanto esencial que el abrasivo tenga cualidades de dureza bastante especiales. El concepto de dureza se ha tratado de establecer en forma relativa en varios materiales con otro.

Existen en la actualidad varios sistemas y escalas, para medir la dureza (en forma relativa) de varios materiales. La escala más antigua es la escala de Mohs, la cual se presenta enseguida:

1. Talco ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$)
2. Yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)
3. Calcita ($CaCO_3$)
4. Fluorita (CaF_2)
5. Apatita ($Ca_5(PO_4)_3F$)
6. Ortoclasa
7. Cuarzo (SiO_2)
8. Topacio ($AlSi_3O_8F_2$)
9. Corindón (Al_2O_3)
10. Diamante (carbón cristalizado)

Dicha escala fue establecida bajo la base de que el material colocado en la escala 10 podría rayar a todos los materiales del 1 al 9, el material colocado en la escala 9 podría rayar a todos los materiales incluidos entre el 1 y el 8 y así sucesivamente.

Existen además otras escalas de dureza, la Ridgway, la Wood de la cual emplea un método que mide la resistencia al desgaste del material ensayado bajo la acción abrasiva de diamantes, bajo condiciones cuidadosamente controladas; la escala Knopp que emplea un procedimiento que consiste en la utilización de un equipo que mide la dureza por medio de la penetración de una punta de diamante sobre el material probado, bajo una presión específica, este método da una escala con una proporcionalidad más real que las otras escalas mencionadas finalmente hay que proponer las escalas Brinell y Rockwell que se usan para la medición de dureza en metales y en especial la dureza en aceros.

Por otra parte, se ha encontrado experimentalmente que la dureza es proporcional a la resistencia a la compresión, según se demuestra en la siguiente tabla:

	Módulo de Compresión
SiO ₂ vítreo	370
Cuarzo	378
Topacio	1640
Corindón	2670
Carburo de Silicio	4610
Carbón (diamante)	5500

- b). Tenacidad: Junto con la dureza, esta propiedad es de primerísima importancia en un abrasivo. La tenacidad se denomina como la capacidad para resistir la fracturación de un material bajo una carga pesada o un esfuerzo de tensión, relativa al igual que la dureza y

usualmente se cuantifica evaluando la reducción de las partículas de un material ensayado cuando son sometidas a un proceso de trituración en un molino de bolas o a través de un método que consiste en reducir las partículas por el impacto contra una superficie dura, en un aparato especial (impactor).

- c). **Inercia Química:** Un requisito en los materiales abrasivos es que no deben reaccionar con los materiales que se procesen con los aglutinantes y adhesivos en los casos de abrasivos moldeados y recubiertos; por lo tanto, un abrasivo debe ser muy estable desde el punto de vista químico.

- d). **Resistencia Térmica:** Debido a que los procesos de abrasión por su naturaleza producen una cantidad de calor considerable, se requiere por lo tanto que los materiales abrasivos sean resistentes a las temperaturas desarrolladas en dichas operaciones.

- e). **Forma del Grano y Sistema Cristalino:** Los granos de un abrasivo tienen una mayor o menor capacidad de abrasión o arrastres de material de acuerdo con la forma del grano, ya sea que esta forma de grano sea obtenida mediante procedimientos mecánicos durante la operación de molienda o por el control adecuado en el proceso de fabricación con el objeto de darle una forma determinada, de cualquier manera, el tipo de cristales o granos de abrasivos es de gran importancia, ya que como podrá verse en forma lógica, un cristal o grano cúbico, esférico, tienen una eficiencia menor que los cristales de forma poligonal que tienen aristas más filosas; sin embargo, son más resistentes a la fractura que las demás formas cristalinas. Por esta razón los abrasivos de grano cúbico o redondo, se utilizan para

trabajos pesados y las formas más filosas para trabajos más ligeros.

Por otra parte, es fácil observar que los granos "demasiado esféricos" tienden más a pulir la superficie de un material que a desgastarla, siendo ésta la característica que se persigue y explota en los casos en que se requiere un pulimento.

- f). **Fractura Característica:** El tipo de fractura de los granos abrasivos es también de gran importancia, pues a la par de la tenacidad, se requiere de la partícula o grano abrasivo el fracturarse durante su uso, desarrollando nuevas aristas agudas y filosas, elevando con esta propiedad el rendimiento del abrasivo, que se refleja en la cantidad de material removido por unidad de peso abrasivo.

1.5 USOS DE LOS ABRASIVOS.

Los materiales abrasivos por su forma de uso se pueden clasificar en tres grupos:

- 1.- En forma de granos o polvos de diversas clasificaciones de tamaño, teniendo como ejemplo el sopleteado para el pulido de metales y otros materiales, y el lapeado donde el polvo abrasivo es utilizado junto con un líquido.
- 2.- Polvos o granos abrasivos moldeados con la ayuda de un aglutinante, empleados en máquinas industriales para cortar, pulir, rectificar o afilar herramientas u otros materiales y para tallar materiales como mármol y otros. Generalmente, para estos fines se presentan en forma de ruedas, discos y conos.

- 3.- Polvos o granos abrasivos adheridos a hojas o cintas de materiales diversos como tela, cartón y papel, entre los que tenemos el papel de lija o lija simple.

Los materiales que se emplean generalmente como abrasivos están caracterizados por sus cualidades especiales de dureza, tenacidad, inercia química, refractabilidad, fractura adecuada, la forma y sistema cristalino de sus partículas, ya que la capacidad de una partícula abrasiva para penetrar en un material determinado el cual va a ser desgastado, depende principalmente de las dos primeras características mencionadas.

Así mismo, los materiales abrasivos o "desgastantes" siempre deberán ser más duros que el material a desgastar y la tenacidad requerida suficiente para evitar la rápida fractura del grano abrasivo y un pronto desgaste de éste.

I.6 USOS DEL GRANATE.

I.6.1 GRANATE COMO ABRASIVO

El mayor uso industrial de granate de alta calidad hasta antes de 1880, fue como material para máquinas abrasivas libres, de diversas aplicaciones tales como el pulido de vidrios planos y ópticos; en años recientes se ha utilizado en el pulido de materiales semiconductores y materiales que requieren de una alta calidad libres de rayado en su superficie. En la industria aeronáutica, naviera y en general, para pulido de metales ligeros, además es usado en pisos como materiales antirresbalante, en cartón y telas revestidos de granate es usado para el terminado de cuero, plástico duro, fieltro, madera, etc.

I.6.2 GRANATE COMO ELEMENTO FILTRANTE.

Actualmente un uso importante del granate es como elemento filtrante, en filtros del tipo de cama de arena, aplicándose en sistemas de medio múltiple para albercas. Los medios más comunes son mezclas de granate/sílice, arena/antracita, existiendo otros tipos de mezcla con distintos tamaños de granate. Los filtros de arena de cama horizontal, están formados por capas de partículas cuidadosamente seleccionadas estando las partículas gruesas en el fondo, siendo progresivamente más finas hacia la parte superior.

Los materiales usados deben estar libres de materia orgánica, de minerales que se fracturen o degraden, ácidos solubles y de finos, además las partículas deben ser redondeadas o angulares, el granate llena esas especificaciones y su uso depende del costo, la disponibilidad y su mayor efectividad comparada contra otros materiales tales como ilmenita, magnetita y camas plásticas.

I.6.3 GRANATE EN JOYERIA.

Otro uso del granate es aquel en el cual se aprovecha dicho mineral para la industria de la joyería, en la cual se utilizan los cristales de determinada pureza, a continuación se enuncian las variedades calidad gema del granate:

Piropo.- Silicato Aluminico Magnésico; con una dureza de mohs de 7-7 1/2, de color rojo con tonalidad amarronada. Piedra de moda en los siglos XVIII y XIX, se encuentra principalmente en Checoslovaquia, Sudáfrica, Australia. Posible confusión con almandino, espinela y rubí.

Almandino.- Silicato férrico aluminico con una dureza de 7 1/2, de color rojo con tonalidad violeta. Para aclarar el color del almandino se excava la parte inferior, presenta el fenómeno de asterismo y se encuentra en Ceilán, Afghanistan, Brasil, Madagascar, Suecia. Posiblemente confusión con la Hessonita.

Grossularia.- Silicato aluminico cálcico con una dureza de 7-7 1/2, de color verde amarillento, pardo cuproso, desde los años 60, se conocen grossularias con calidad gema en Ceilán, Canadá, Pakistán, Sudáfrica, Tanzania, URSS, USA. Posible confusión con esmeralda y demantoide.

Hessonita.- Variedad pardo naranja de la grossularita, sinónimo piedra canela, yacimientos en Ceilán. Posible confusión con espessartita, jacinto.

Leucogranate.- Grosularia incolora se encuentra en México y Canadá.

Hidrogrossularia.- Verdosa, más densa y opaca, sinónimo jade de Transvaal, jade granate por su semejanza con el jade, se encuentra en Sudáfrica.

Andradita.- En su presentación habitual inapropiada para la joyería, las variedades demantoide, melanita y topazolita tienen calidad gema.

Demantoide.- Silicato férrico cálcico, dureza de 6 1/2 - 7, de color verde y verde esmeralda. Es el granate más valioso yacimientos en los Urales, confusión con la grossularia, peridoto, esmeralda turmalina, vesubianita.

Melanita.- Variedad negra y opaca de la andradita, yacimientos en RFA, Francia, Italia. Se utiliza como joya de luto.

Topazolita.- Variedad amarillo limón (semajante al topacio, de ahí su nombre) de la andradita, se encuentra en Suiza y Alpes Italianos.

Uvarovita.- Silicato de cromo y calcio con una dureza de 7 1/2 y de color verde, nombre según un estadista ruso, yacimientos en los Urales, Finlandia, Polonia, India, Canadá. Posible confusión con la esmeralda.

I.6.4 OTROS USOS.

Por su densidad de 3.5 a 4.2 puede ser utilizado como medio pesado, puede ser adicionado a los aditivos cementantes en las perforaciones de pozos petroleros.

Se utiliza como aislante de radiaciones de bajo y medio nivel, por otra parte cantidades sustanciales de granate son utilizados en la industria electrónica como abrasivo en el acabado de los componentes, algunos granates artificiales de Itrio-Alumina, se han usado en la producción de rayos laser y granates artificiales de Galio-Gadolinio son usados en la manufactura de sistemas de memorias en las computadoras, estos dos últimos usos requieren de productos manufacturados que no se pueden considerar como parte del mercado del granate.

Estudios recientes nos dicen que las aplicaciones del granate se distribuye de la siguiente manera:

	(%)
Filtración de aguas	20
Industria Aérea	14
Accesorios de Madera	13
Electrónica	12
Cerámica y Vidrio	4
Industria del Transporte	25
Varios	12

En todas las aplicaciones exceptuando filtración y varios, su uso es como abrasivo.

I.7 PERSPECTIVAS DE DEMANDA DE GRANATE.

INDUSTRIA DE LA AVIACION.

El uso del granate en esta industria, la cual es probablemente la de mayor demanda para este mineral en sus diferentes categorías, es usando en el sandblasting de las superficies de los metales empleados en esta industria y podemos estimar el crecimiento de la demanda en paralelo con la industria de la aviación, si la posición competitiva del granate mejora relativamente a la de los materiales abrasivos alternativos tales como vidrio y arenas de cuarzo.

Sin embargo, los cambios en los tipos de materiales usados en la industria de la aeronáutica deben esperarse en el futuro motivados por las velocidades y tamaño de los aparatos aeronáuticos, teniendo que el granate podría aventajar a otros abrasivos.

INDUSTRIA DE LA TRANSPORTACION.

En esta clasificación se incluyen industrias tales como la automotriz, ferroviaria, naviera y otros tipos de transpor-

tación excepto la aviación. La industria naviera es la principal que usa pulido con granate, pero existen referencias de que las otras industrias incrementan el uso del granate y el pronóstico de la demanda podría aumentar si continúa el uso de metales ligeros. El uso del granate para pulido por soplado es relativamente nuevo en muchas industrias, pero se ha demostrado económica y técnicamente su aceptación por las industrias navieras y aeronáutica.

INDUSTRIA HULERA.

En la industria hulera se tienen perspectivas de uso para el granate dado que los principales tipos de abrasivos que son usados en la producción de productos de hule y la sustitución entre abrasivos para tipos de manufactura es posible de llevarse a cabo.

Los abrasivos ordinarios, los cuales tienen una fractura que provee una acción aguda de corte, es deseable particularmente para hules suaves, el granate llena estos requerimientos y estos en una buena posición competitiva con respecto a la mayoría de los abrasivos.

PRODUCTOS PLÁSTICOS.

Esta categoría es similar a los productos de hule con respecto a sus requerimientos de abrasivos, excepto aquellos plásticos que son más variables en composición en propiedades físicas, precio y uso.

1.8 PRODUCTOS SUSTITUTOS.

La sustitución del granate por otros abrasivos naturales y artificiales, está dirigida para lograr un mejor acabado que el proporcionado por el granate. La molienda y el cri

bado cambia las caras de las partículas abrasivas.

De cualquier modo la competición es aparentemente benéfica, puesto que el uso del granate se ha venido incrementando desde las dos últimas décadas pasadas. La futura posición competitiva del granate dependerá de varios factores tales como el mejoramiento de los métodos de procesamiento del granate, mejoramiento de las características térmicas, químicas u otros y el desarrollo de métodos de efectividad óptima en las aplicaciones abrasivas. El granate ha alcanzado un lugar intermedio en el campo del papel lija entre las arenas de cuarzo de bajo costo y los de alto costo como son los abrasivos artificiales (carburo de silicio y óxido de aluminio). El granate es preferido en vez de cuarzo, para muchos usos porque es más eficiente en varias aplicaciones imparte mejor acabado debido a su fácil disgregación durante el trabajo de las piezas.

El granate no puede competir con abrasivos artificiales para aplicaciones de trabajado de metales donde el metal en cuestión es más duro que el granate. Si el granate no está evaluado, cuarzo y abrasivos artificiales podrían ser usados en su lugar, pero en muchos casos con eficiencia decreciente en volumen o calidad de trabajo. La arena sílica y canutillos de vidrio, compiten como un material en forma de arena suelta para su uso en la industria del transporte, para el pulido de las partes metálicas usadas para naves aéreas. El diamante, carborundum y alumina fundida compiten, pero sobre todo el diamante, el cual puede ser usado para efectuar muchos de los trabajos u operaciones abrasivas que desempeñan el granate, particularmente el pulido de lentes, metales y cerámicos. A mediados de la década de los 50 cuando la síntesis del diamante fue determinada por primera vez, granos de diamante industrial y polvos han comenzado a incrementar una competencia importante contra el granate y otros abrasivos naturales y artificiales e investigaciones dirigidas a aplicaciones adicionales abrasivas de diamante están siendo perseguidas fuertemente.

CAPITULO II

II. MERCADO DEL GRANATE.

Con el fin de analizar las posibilidades de instalación y la capacidad estimada de una industria beneficiadora de granate; así como, la factibilidad de su instalación en el Estado de Oaxaca, se procedió a investigar en la literatura disponible, además de otras fuentes directas de información para poder obtener los datos necesarios que nos ayuden a establecer un criterio acertado que no determine las acciones a tomar. Los datos obtenidos y aquí tabulados, corresponden tan sólo al granate considerado de uso abrasivo, puesto que es el producto que se desea obtener sin importar por el momento el granate calidad gema.

DISPONIBILIDAD NACIONAL.

En razón de que la principal dificultad encontrada en la explotación industrial del granate, lo es la falta de estudios que determinen los yacimientos existentes, puede señalarse que sólo a través de efectuar los análisis topográficos correspondientes, se podrá conocer tanto el potencial como las posibilidades de aprovechamiento del mineral referido.

Geográficamente, en nuestro país se encuentran yacimientos granatíferos como en Tlaica, Morelos, donde existe una serranía denominada Xalostoc. El granate encontrado de la variedad grosularita, presenta una coloración rosa en la parte alta, verde en la parte baja y mezclados en el fondo de dicha zona muestreada. Este granate es de escasa dureza, sin posibilidad de empleo en la producción de abrasivos; por lo que el yacimiento queda ocioso.

El yacimiento localizado en el desierto de Coahuila en la localidad conocida como Hércules, presenta la característica de ser inaccesible, aún cuando la calidad y propiedades referidas del mineral, lo hace apto para uso como abrasivo revestido.

Así la carencia de una infraestructura en la región y falta de cuantificación de granate, obstaculiza su disponibilidad y posibilidades de aprovechamiento.

Un tercer yacimiento, es el ubicado en la Sierra de Oaxaca, donde el mineral encontrado es el que quizás presenta mejores perspectivas para su empleo como abrasivo; sin embargo, al igual que los dos anteriores yacimientos, no se ha determinado el potencial existente. Sin embargo, es precisamente de esta región de donde tomamos nuestras muestras para llevar a cabo la experimentación de nuestro proyecto y ver así la factibilidad de la implantación de la fábrica productora de lijas.

En una aplicación del granate como piedra preciosa o mejor dicho semipreciosa, se localizan yacimientos en Tecate, B.C.N., Villa Ahumada, Chihuahua y Velardeña también en Chihuahua. El granate se caracteriza por su transparencia y color, pero sólo satisfacen a unas pequeñas industrias artesanales.

PRODUCCION MUNDIAL.

La mayor parte de la producción mundial del granate abrasivo queda cubierta por los Estados Unidos de Norteamérica. Según datos obtenidos se estima que la URSS también produce una cantidad considerable de granate aproximadamente unas 1,000 Ton. por año, y se reporta también una producción combinada de Argentina, Australia, India, Sri Lanka y Sudáfrica, pero claro, ésta en menor cantidad que no excede a las 8,500 toneladas anuales. La producción mundial en el año de 1980 está estimada en 49,500 toneladas, de acuerdo a la siguiente distribución.

PAIS	TON/AÑO
Estados Unidos de Norte América	40,000
URSS	1,000
Argentina	200
Australia	200
Sri Lanke	100
India	8,000

Producción Interna.

Según información obtenida del Departamento de Estudios Económicos del Consejo de Recursos Minerales y otras dependencias del ramo, Fomento Minero, Fideicomiso de Minerales no Metálicos Mexicanos, etc. En México nunca se ha explotado ni hay producción de granate calidad abrasiva, limitándose tan sólo a obtención de granate a la producción de piedras semipreciosas que se consumen íntegramente en joyería y en algunos casos para exportación, se debe aclarar que esta producción es ínfima, por lo que podemos considerar que no hay dicha explotación.

Importación.

En el Anuario Estadístico de Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, se reporta bajo la fracción arancelaria 25-13A-003, las importaciones de granate que se han venido realizando durante los últimos años, siendo Estados Unidos el principal país proveedor de dichas importaciones, de acuerdo a la siguiente tabla:

GRANATE CUYA DIMENSION SEA INFERIOR A 1 mm

AÑO	Kg.	(\$)	PAISES PROVEEDORES
1977	422300	7196637	EUA.
1978	695132	10778247	EUA. y RFA.
1979	722843	11276336	EUA, RFA, RU
1980	547426	8559360	EUA, RU.
1981	543000	423000 DIs.	EUA, RU.
1982	727000	604000 DIs.	EUA. RU.

Especificaciones.

Los requerimientos que debe llenar el granate en realidad no están perfectamente definidos, pero se puede considerar sin embargo a grandes rasgos que tengan los siguientes requisitos como mínimo:

Pureza	95%
Dureza	7 a 8.5 escala de mohs.
Fractura	Concoidal o subconcoidal.
Gravedad Específica	3.0 - 3.5

Precios.

No existe un precio establecido, ya que estos productos se determinan en común acuerdo entre el consumidor y el proveedor. De acuerdo a los datos obtenidos, este precio de importación es muy variable por diferentes causas como por ejemplo, las crisis monetaria de nuestro país en 1982, pero en 1980 en promedio representó un costo de \$15,510.80 por tonelada de concentrado, el precio aumenta en función del grado de molienda, siendo de mayor precio el de mayor finura.

Industrias Consumidoras.

Los principales consumidores del granate de importación están representados básicamente por las siguientes industrias de abrasivos, las cuales están distribuidas en una pequeña región del centro del país.

PRINCIPALES FIRMAS IMPORTADORAS DE GRANATE

EMPRESA	PRODUCTO	UTILIZACION
+		
Fandeli Fábrica Nacional de Lijas, S.A. de C.V. Tlalnepantla, Edo. de Méx. Tel.: 397-52-33	Abrasivos revestidos	Abrasivos
+		
Industria Optica Mexicana, S.A. Calle 2 No. 5-A Naucálpán, Edo. Méx. Tel.: 576-43-22	Lentes Cristales Armazones	Pulimentos
+		
Norton, S.A. Calz. Ignacio Zaragoza 920 Puebla, Pue. Tel.: 46-20-33 ó 4211-77	Abrasivos Revestidos	Abrasivos
+		
Productos Opticos, S.A. Madero 72, piso 1 México 1, D.F. Tel.: 510-94-27 ó 585-25-77	Lentes Cristal en bruto Bifocales	Pulimentos

FUENTE: Consejo de Recursos Minerales
Directorio de la Minería Mexicana

Conociendo que el mercado de la lija de granate está cubierto con lijas hechas con granate de importación, este somero estudio sólo tiene por objeto conocer los requerimientos locales de lijas para madera y poder así dimensionar la planta productora de lijas de granate que pensamos se puede construir.

El granate del Estado de Oaxaca, servirá para fabricar las lijas que se introducirían al mercado para tratar de sustituir a las hechas con granate importado, pero teniendo la ventaja de competir en base de un mejor precio, a iguales o parecidos rendimientos.

El consumo de lijas se determinó en los siguientes estados:

- Oaxaca
- Chiapas
- Campeche
- Tabasco
- Guerrero
- Veracruz

que son estados circunvecinos a la zona influencia de la fábrica.

A base de encuestas directas con los expendedores del producto obtenemos los siguientes resultados, aclarando que la venta de lijas en los siguientes estados es por día:

- Estado de Veracruz	1,000
- Estado de Oaxaca	700
- Estado de Chiapas	500
- Estado de Campeche	200
- Estado de Guerrero	1,500
- Estado de Tabasco	200
TOTAL	4,100

De este total de alrededor de 4000 lijas diarias a base de granate de importación en esta región, para fines de diseño de la fábrica que se piensa instalar consideraremos aproximadamente la mitad o sea 2000 lijas diarias, que va de acuerdo con lo dicho anteriormente, en que decimos que no se trata de competir sino de ir sustituyendo este producto en esta región.

CAPITULO III

III. TRABAJO EXPERIMENTAL.

III.1 CARACTERIZACION DEL GRANATE.

Consistió en su análisis físico, químico, así como difracción por rayos "X".

Las muestras utilizadas para la caracterización, fueron proporcionadas por las Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (LANFI), procedentes del estado de Oaxaca y se trataron, como sigue:

- a) Análisis Físico
- b) Análisis Químico
- c) Difracción de Rayos X

Resultados :

a) Análisis Físico-Macroscópico.

Las muestras se presentan en grandes masas compactas y - - agregados granulares gruesos, sin impurezas notables a la vista.

Forma cristalina: se advierten claramente los rombododecaedros del sistema isométrico, con caras hasta de 12 mm. en el eje mayor de los rombos.

- Color: Café oscuro
- Lustre: Vítreo resinoso
- Rayadura: Blanca amarillenta
- Dureza: 6.5 a 7 escala de mohs.
- Fractura: Concoidal
- Densidad: 3.655 g/cm³
- Índice de refracción: 1.85

Los cristales, al ser triturados producen un polvo color ambar o miel.

b) Análisis Químico.

Las muestras para análisis químico, se prepararon conforme a las técnicas establecidas, tanto en una muestra general, como en otra lavada. Los métodos usados para el análisis, fueron los tradicionales vía humedad y se describen a continuación:

Determinación de SiO_2 , Fe_2O_3 y Al_2O_3 .

Después de determinar las pérdidas por ignición, que en este caso fue despreciable, se procede a pesar .5 gr. de la muestra, previamente secada y se mezclan con aproximadamente 4 gr. de fundante, que en este caso es carbonato de sodio, los cuales vamos a fundir en un crisol de platino.

La fusión se lleva a cabo con soplete aire-gas y hay que tener en cuenta, las siguientes observaciones:

- El calentamiento del crisol debe hacerse por las paredes y tratando de que sea uniforme, esto es que entre las paredes y la muestra, haya un espacio.
- Se procede así, hasta que la muestra esté en estado líquido, después se seguirá el calentamiento uniforme y agitando la muestra, hasta que el líquido esté claro.
- Se quitará del fuego y se resbalará el líquido por las paredes, para formar una capa delgada y se deja enfriar.

Determinación de SiO_2 .

Después de la fusión, se coloca el crisol en un vaso de -- 1000 ml. y se agregan 100 ml. de agua, se tapa y se calien ta hasta que se desprende la muestra del crisol, en calien te y tapado, se agregan 20 ml. de HCL (conc), hasta neutra lizar totalmente el carbonato de sodio. Se lava el vidrio de reloj y las paredes del vaso. Se toma el crisol con un gendarme y se lava con abundante agua. Se calienta hasta - sequedad, para que se insolubilise la sílice, las sales -- que se presentan son de NaCl. después se agregan 25 ml. de HCl 1:1 y se calienta, se filtra en papel del número 41 y se lava con agua caliente, abundante.

El precipitado se calcina en crisol de platino a 910°C y - se pesa como SiO_2 impura, el filtrado, se recibe en un ma traz erlenmayer de 250ml. De aquí, se toman dos alfcuotas de 50 ml. de cada una, que serán para las determinaciones de R_2O_3 y Fe_2O_3 .

Al calcinado, se le humedece con poca cantidad de agua y - se le agrega HF hasta un tercio del volumen del crisol y - unas gotas de H_2SO_4 y se deja a sequedad, se pone a peso - constante en el mechero (residuos).

Cálculos.

$$\% \text{SiO}_2 \text{ impura} = \frac{\text{ceniza Pt}}{\text{p. muestra}} \times 100$$

$$\% \text{SiO}_2 \text{ pura} = \frac{\text{ceniza Pt} - \text{residuo}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Determinación de R_2O_3 .

La alfcuota de 50 ml., se pasa a un vaso de 500 ml. y se - calienta, ya caliente se le agrega la solución 5 gotas de

rojo de metilo y se adiciona hidróxido de amonio, hasta el vire (de rojo a amarillo) con un ligero exceso de hidróxido, se deja digerir 10 minutos y se procede a filtrar. El filtrado, se lava abundantemente con agua caliente y se recibe en un vaso de 500 ml. Se coloca el vaso original en donde se hizo la precipitación y con 10 ml. de HCl 1:1 caliente, se disuelve el precipitado poco a poco, hasta su totalidad, lavando el papel filtro con agua caliente en abundancia. El R_2O_3 se vuelve a precipitar, como se describió anteriormente, se filtra en papel número 41 y se vuelve a lavar abundantemente con agua caliente. Se calcina en crisol de porcelana a $910^\circ C$ y se pesa como R_2O_3 ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$.)

Cálculos:

$$\% R_2O_3 = \frac{(\text{cenizas}) \dots (\text{aforo})}{(\text{p. muestra}) (\text{alícuota})} \times 100$$

Determinación de CaO.

Se toma el filtrado del R_2O_3 en un vaso de 500 ml. se calienta y se agregan 5 gotas de rojo de metilo adicionándole HCl conc. hasta el vire (de amarillo a rojo) y es aquí cuando se le agrega aproximadamente 1 gramo de oxalato de amonio, se va al vire (de rojo a amarillo) con un pequeño exceso de 0.3 a 0.5 ml. El precipitado se filtra en goosh, cuidando de que la solución, sea alcalina (amarilla), lavando sea neutro (de 4 a 5 lavados). El goosh se pasa al mismo vaso de precipitado en donde se realizó la precipitación se diluye a 100 ml y se agrega 7 ml de H_2SO_4 conc. -- (para tener una solución al 7%). Se calienta y con un gendarme, se deshace el precipitado y el papel filtro. En caliente, se titula con solución de permanganato de potasio 0.1 N.

$$\% \text{ CaO} = \frac{\text{meg. CaO} \times (\text{VxN}) \text{ KMnO} \times \text{aforo}}{\text{peso de muestra} \times \text{alícuota}} \times 100$$

Maq. CaO - 0.02804

Determinación de MgO.

Se toma el filtrado del CaO en un vaso de 600 ml agregándole unas gotas de rojo de metilo y adicionando HCl conc. - hasta el vire, con un pequeño exceso, se le pone entonces aproximadamente 1 gr. de fosfato de amonio, se agita hasta disolver el fosfato. Por último, se agrega 10 ml. de hidróxido de amonio, por cada 100 ml. de solución que se tenga.

Cálculos:

$$\% \text{ MgO} = \frac{\text{factor} \times \text{p. calcinado} \times \text{aforo}}{\text{peso muestra} \times \text{alícuota}} \times 100$$

$$\text{Factor MgO} = \frac{2\text{MgO}}{\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7} = 0.3623$$

Resultados del análisis químico :

	<u>Lavada</u>	<u>General</u>
	%	%
Oxido de Silicio (SiO ₂)	34.58	34.58
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	31.51	31.92
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	1.47	1.30
Oxido de Calcio (CaO)	32.08	31.81
Oxido de Magnesio (MgO)	0.27	0.20
Total	99.91	99.71

Como se ve, en estos resultados nos indican que el mate-

rial no cambia prácticamente su calidad con un lavado y - que no contiene impurezas arrastrables mecánicamente. Por lo que podemos concluir, que no es necesario, o no se considera un lavado en las muestras para su utilización, ya - que no se advierte ningún cambio en ellas.

Para caracterizar la especie perfectamente y calcular la fórmula mínima, se preparó una muestra a base de cristales seleccionados. Los resultados analíticos, son los siguientes:

<u>Determinación</u>	<u>Resultados (%)</u>
SiO ₂	34.70
Fe ₂ O ₃	31.40
Al ₂ O ₃	1.44
CaO	32.20
MgO	0.20
Total	<u>99.94</u>

Cálculo de la fórmula mínima:

$$\frac{\% \text{ de SiO}_2}{\text{p. mol. SiO}_2} = \frac{34.70}{60.09} = 0.5775 \dots \dots \dots (I)$$

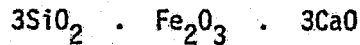
$$\frac{\% \text{ de Fe}_2\text{O}_3}{\text{p. mol. Fe}_2\text{O}_3} = \frac{31.40}{159.70} = 0.1966 \dots \dots \dots (II)$$

$$\frac{\% \text{ de CaO}}{\text{p. mol. CaO}} = \frac{32.20}{56.08} = 0.5742 \dots \dots \dots (III)$$

Número de Moléculas

de (I)	$\frac{0.5775}{0.1966} = 2.94$	$\text{SiO}_2 = 3$
de (II)	$\frac{0.1966}{0.1966} = 1.00$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1$
de (III).....	$\frac{0.5742}{0.1966} = 2.92$	$\text{CaO} = 3$

Por lo que obtenemos la fórmula mínima :



Que corresponde al granate variedad Andradita, las muy pequeñas diferencias en el número de moléculas, que se obtienen por análisis y las de la fórmula ideal se deben a las sustituciones que hay en el granate, de Al_2O_3 por Fe_2O_3 y de MgO por CaO , hay que recordar que los granates, forman un grupo isoestructural, con gran diversidad de composición química, entre los individuos de las distintas subespecies. Por lo que podemos concluir, que la muestra analizada, corresponde a un granate andradita, casi puro.

El análisis de difracción de rayos X, confirma lo encontrado por análisis físicos y químicos.

III.2 PRUEBAS DE TRITURACION.

El objeto de las pruebas, fue determinar la distribución granulométrica del granate, al someterlo a trituración y molienda, para pasar por la malla 40, en donde se tienen los tamaños comerciales del granate para lijas, así también identificar su forma y fractura.

El equipo con el que se corrieron las pruebas, fue:

- Trituradora Denver
Tamaño 3.25 x 4.50"
Motor de 2 H.P. 220 volts

- Ro-Tap marca W.X. Tyler
Motor de 1/4 H.P. 1725 r.p.m.

- Molino de rodillos, marca Denver
Modelo "D" tamaño 10 x 6"
Motor de 3 H.P. 1730 r.p.m. 220 volts.

- Cribas 40, 50, 100, 120, 150 y 200 mallas.
Marca W.S. Tyler

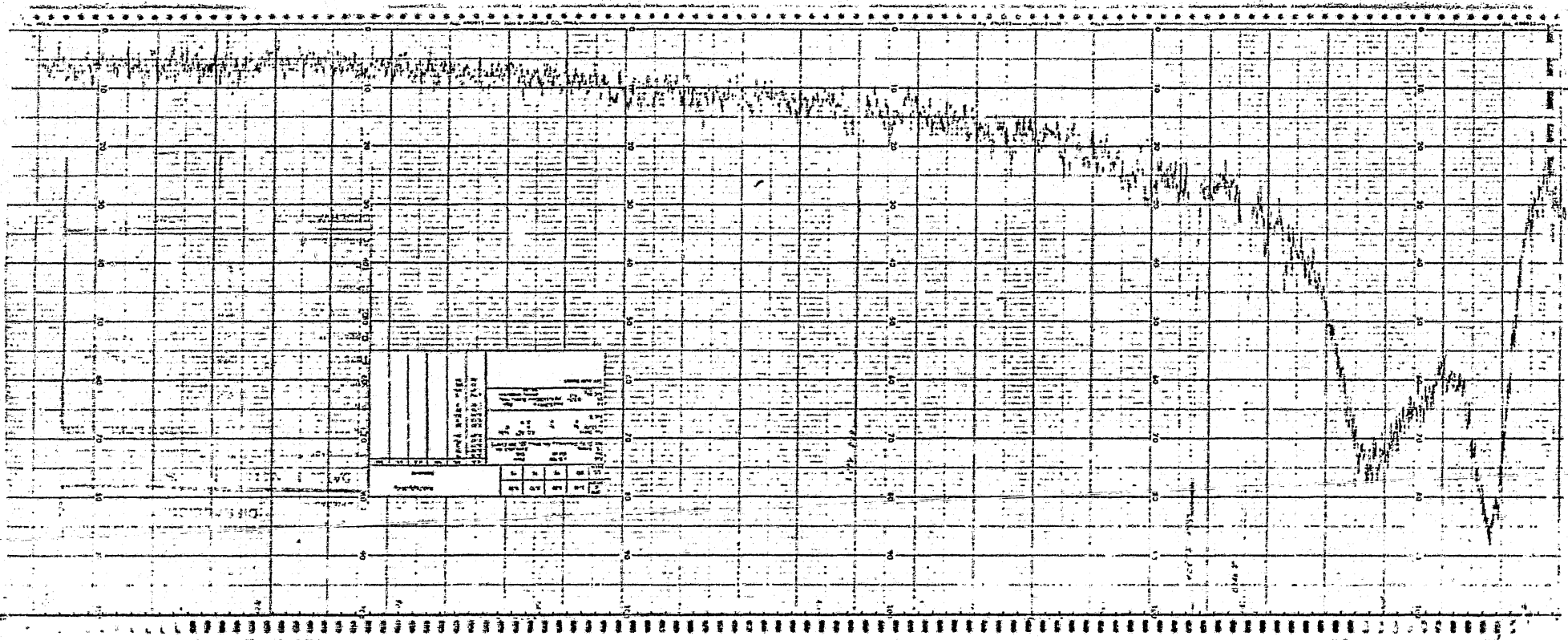
- Microscopio binocular marca Olympus.

Para efectuar las pruebas, se preparó 1 lote de 20 kg. de muestra, en tamaño de más de 1/4". A este lote, se le sometió a una reducción de menos de 6 mm., mediante una trituradora de quijada.

El mineral a -6mm., se cuarteo, hasta obtener muestra de 1 kg. las cuales se pasaron a un molido de rodillos, hasta alcanzar un tamaño menor a 40 mallas. Esto se logró en varios pasos, cribando por esa malla, en cada caso, tratando de simular un circuito cerrado de molienda y evitar así la sobremolienda, la forma de los granos resultantes, es astillada y granular con aristas vivas, renovables a medida que los granos ceden, al ser sometidos al esfuerzo de cizalleo.

Clasificación Granulométrica.

En las condiciones indicadas anteriormente, se obtuvo el Kg. mencionado de muestra, a un tamaño general menor de



40 y se le determinó la granulometría resultante, que se transcribe a continuación:

Tamiz No.	Abertura Micrones	Peso (gr)	Peso (%)	Peso Acumulado	% Acumulado
50	297	5.7	0.53	5.7	0.53
80	177	397.0	36.87	402.7	37.39
100	149	5.9	0.55	408.6	37.94
120	125	180.0	16.0	588.1	54.66
150	105	18.7	1.74	607.3	56.39
200	74	156.7	14.55	764.0	70.94
-200	74	312.9	29.05	1076.9	100.00
		<u>1076.9</u>	<u>100.00</u>		

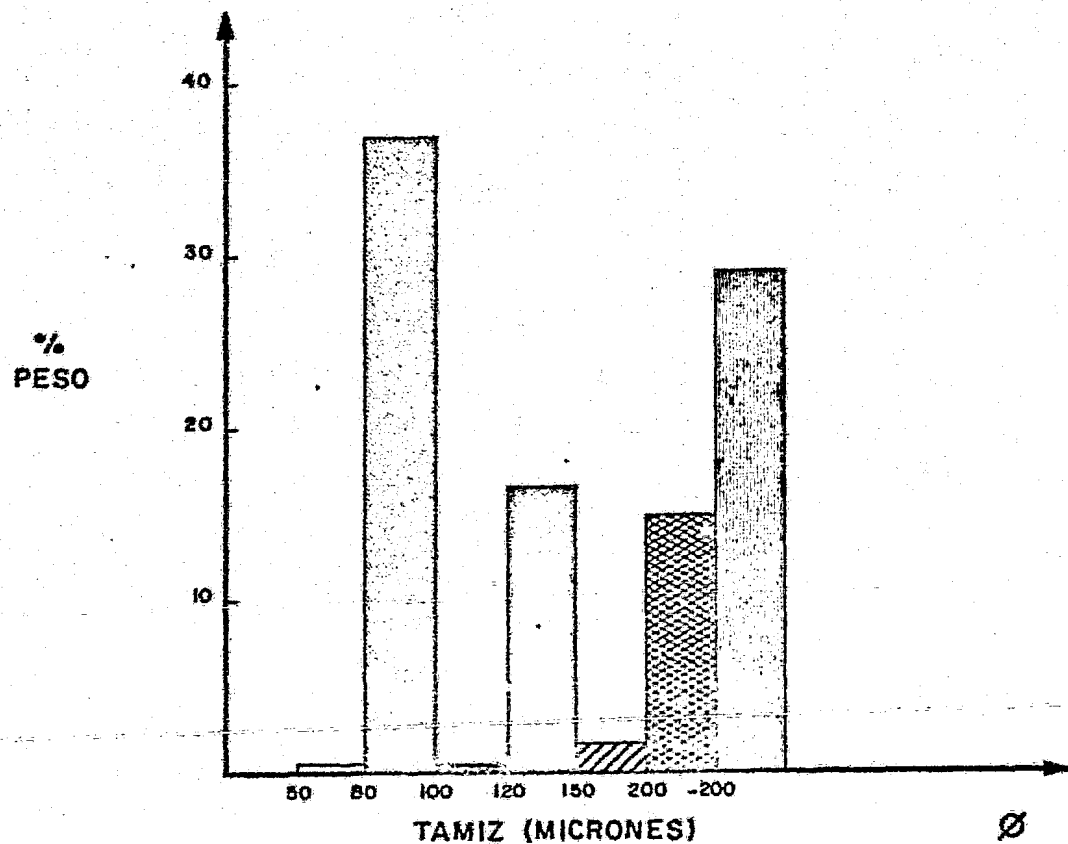
Cómo se puede observar, en la tabla anterior, las granulometrías resultantes, son de fracciones comerciales, obteniéndose cantidades suficientes para el proceso, notándose que también hay una buena fracción para la producción de polvos abrasivos, que es un mercado que se intenta abarcar.

De los resultados anteriores, procedemos a construir 2 gráficas (1 y 2), una de # de tamiz contra % en peso y otra de # tamiz contra % acumulado, que nos permitirá evaluar mejor la distribución granulométrica, con respecto a la aplicación en la producción de lijas y polvos abrasivos.

Observación Microscópica:

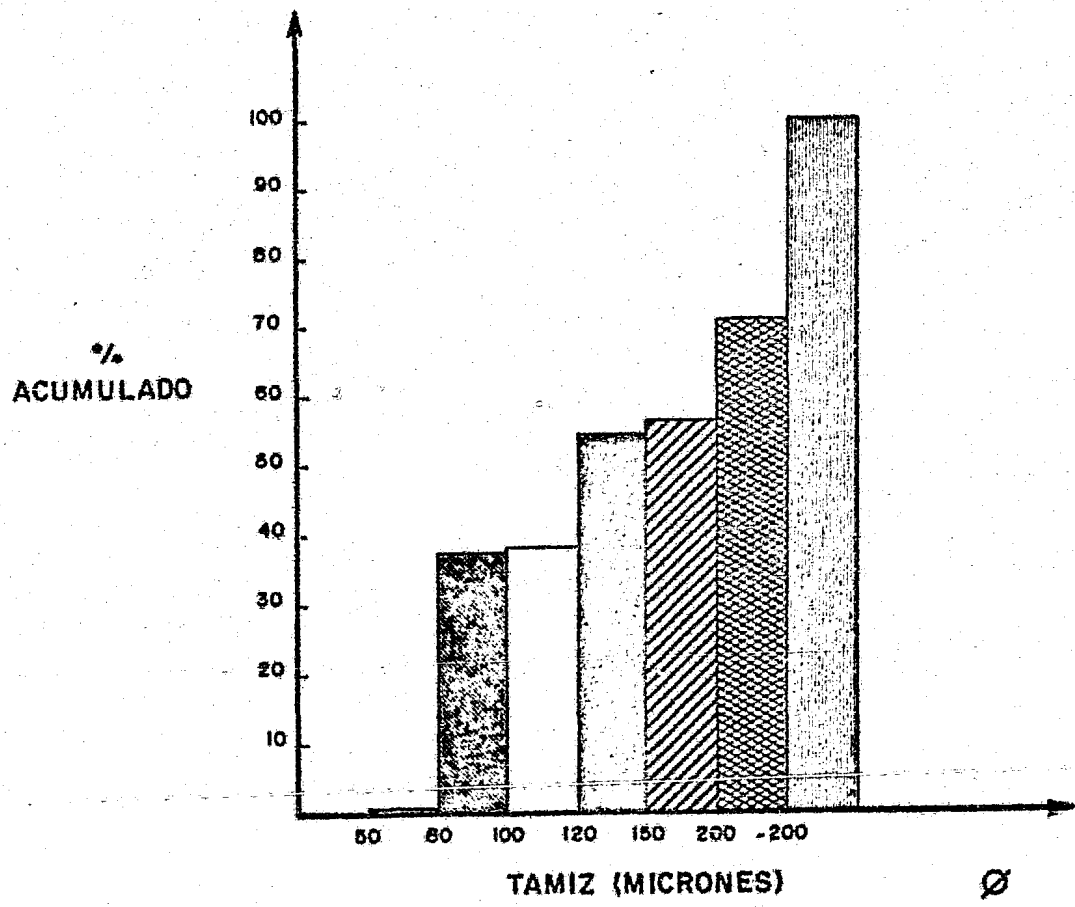
Con un microscopio o binocular, se realizó un conteo de partículas en un sector correspondiente al 25% de campo visual, para cada una de las fracciones, con objeto de cuantificar la distribución de partículas con aristas angulares.

GRAFICA No.1



# TAMIZ	% PESO
50	0.53
80	36.87
100	0.55
120	16.71
150	1.74
200	14.55
-200	29.05

GRAFICA No. 2



#	%
TAMIZ	ACUMULADO
50	0.53
80	37.39
100	37.94
120	54.66
150	56.39
200	70.94
>200	100.00

La siguiente tabla, resume los resultados:

Fracción	Partículas	Partículas	Total
	Angulares	Redondas	
	%	%	%
+ 40	95	5	100
-50 +80	95	5	100
-80+100	95	5	100
-100+120	95	5	100
-120+150	90	10	100
-150+200	85	15	100
-200	80	20	100

III.3 PRUEBAS DE ABRASION.

De acuerdo a los datos obtenidos de las pruebas de trituración y de las características cuantificadas microscópicamente se concluyo que el material de granate podría ser utilizado como material abrasivo, tanto en polvos como en forma de lijas.

Con objeto de afirmar lo anterior se efectuaron las siguientes pruebas de abrasión, para tal objeto se prepararon una serie de lijas con granate de Oaxaca para hacer pruebas comparativas con las de granate de importación.

Pruebas de Adherencia: Tratando de imitar a las lijas comerciales se analizó el adhesivo que utilizan estas, encontrándose que era el adhesivo conocido comercialmente como cola. Con este adhesivo se prepararon una serie de lijas con el granate de Oaxaca sobre un respaldo rígido (madera), un respaldo semirígido (cartón y papel), y un respaldo flexible (tela), con el fin de comparar con la lija comercial, la adhesividad necesaria y óptima cuando son sometidos al proceso de abrasión.

Para efectuar tal objeto, se disolvió el adhesivo con diferentes cantidades de agua para ver cuál era la adecuada a nuestras necesidades.

	% Cola	% Agua		% Cola	% Agua
1)	100	0	5)	60	40
2)	90	10	6)	50	50
3)	80	20	7)	40	60
4)	70	30	8)	30	70

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente, se encontró que la mezcla 60% de cola y 40% de agua (5) era la adecuada para el primer paso de encolado, ya que tenía una adherencia y viscosidad mejor que cualquier otra combinación. Posteriormente, para el segundo encolado se debe hacer la mezcla más diluida, encontrándose que la de 40% de cola y 60% de agua (7) satisfacía esta condición, la cual nos sirve para reafirmar los granos a la base.

Concluimos que la adherencia es similar tanto en el respaldo rígido, semirígido y flexible, satisfaciendo nuestros requerimientos de adherencia.

Pruebas de Tenacidad: Con el granate de Oaxaca aplicado sobre los diferentes respaldos se desgastó madera, plástico, aluminio y vidrio, con el fin de observar al microscopio, la pérdida, disminución y forma del grano del granate; así como la regeneración de filos.

En este experimento se harán pruebas comparativas con el granate de importación para tener una base para poder evaluar el granate oaxaqueño en sus propiedades abrasivas.

Para esta experimentación, se utilizó una lijadora con peso de 5 Kg., 10,000 r.p.m. y lijas de papel con una granulometría de + 100 mallas, y un tiempo de lijado de 20 minutos.

Madera (área de trabajo 35*15 cm.) 2 cm. de espesor

	<u>W</u> <u>inicial</u>	<u>W</u> <u>final</u>	<u>Espesor</u> <u>inicial</u>	<u>Espesor</u> <u>final</u>
lija comercial	12.5 g	12.4 g	2 cm.	1.9 cm.
lija oaxaqueña	12.0 g	11.8 g	2 cm.	1.9 cm.

Aluminio (área de trabajo 35*7 cm.) 8 mm de espesor.

	<u>W</u> <u>inicial</u>	<u>W</u> <u>final</u>	<u>Espesor</u> <u>inicial</u>	<u>Espesor</u> <u>final</u>
lija comercial	11.9 g	11.0 g	8 mm.	7 mm.
lija oaxaqueña	12.0 g	10.8 g	8 mm.	7 mm.

Plástico (área de trabajo 40*15 cm.) espesor 6 mm.

	<u>W</u> <u>inicial</u>	<u>W</u> <u>final</u>	<u>Espesor</u> <u>inicial</u>	<u>Espesor</u> <u>final</u>
lija comercial	12.0 g	12.0 g	6 mm.	2 mm.
lija oaxaqueña	12.5 g	12.4 g	6 mm.	2 mm.

Vidrio (área de trabajo 35*8 cm.) espesor 4 mm.

	<u>W</u> <u>inicial</u>	<u>W</u> <u>final</u>	<u>Espesor</u> <u>inicial</u>	<u>Espesor</u> <u>final</u>
lija comercial	11.5 g	11.0 g	4 mm.	3.5 mm.
lija oaxaqueña	12.3 g	11.5 g	4 mm.	3.5 mm.

Posteriormente todas estas lijas se llevaron al microscopio observándose que hay regeneración de filos a medida que se someten al proceso de abrasión dandonos cristales de forma poligonal como resultado.

Otra prueba comparativa consistió en meter una fracción granulométrica al molino, tratando de simular una molienda autógena para poder evaluar cual era la reducción en el tamaño de partícula.

Se experimento con una granulometría de +40 mallas, con un tiempo de 15 minutos, obteniéndose los siguientes resultados:



	Peso inicial +40	Peso Final +40	Peso final -40
Granate importado	335 g	210 g	122.5 g
Granate oaxaqueño	338 g	190 g	145.8 g

Como se podra apreciar aqui si hay una diferencia aprecia-
ble que nos indica que definitivamente la calidad del gra-
nate importado es superior al del estado de Oaxaca.

CAPITULO IV

IV. PROCESO DE FABRICACION DE LIJAS Y POLVOS ABRASIVOS

Como los datos obtenidos de la experimentación se considera que las formas de comercialización del granate oaxaqueño, debe ser lijas y polvos abrasivos.

Las lijas por las características granulométricas obtenidas mediante la trituración y molienda deben ser preferentemente en tamaño de grano de -40 a + 200 malla; lo cual corresponde a un 71% del granate procesado.

Los polvos abrasivos para su utilización en usos domésticos o industriales tanto seco como en suspensión, corresponden a la fracción obtenida de la clasificación de - 200 mallas que representa el 29% restante.

IV.1. TAMANO DE LA PLANTA Y DESCRIPCION DEL PROCESO

Como se expreso anteriormente, el mercado en el sureste del país para las lijas de madera es pequeño, restringiéndose a un consumo de aproximadamente 4000 lijas/día, por lo que se propone instalar una pequeña planta productora de lijas y polvos abrasivos con una cantidad mínima de cuando menos 2000 lijas/diarias, permitiéndonos seguir con los siguientes objetivos:

1. Determinar la aceptación del producto en el mercado.
2. Conocer a detalle las características de los diferentes yacimientos.

Esto sin lugar a dudas nos da una perspectiva aún mayor ya que el granate puede tener otros usos como los descritos en los incisos 1.6.2 a 1.6.4, dándonos con esto un horizonte más amplio para su comercialización, trayendo como lógica consecuencia una mayor explotación y a su vez mejor benefi-

cio tanto económico como social, para la región que son parte de los objetivos generales que se persiguen.

De la determinación concluimos que de la Molienda obtenemos fracciones granulométricas comerciales y se produce también una considerable cantidad de polvos (-200 mallas) que se pueden utilizar en la fabricación de polvos abrasivos, los cuales no tienen mayor problema para su producción. Dándonos un producto alternativo con muy buenas perspectivas.

Descripción del Proceso.

Para efectuar la extracción del granate, se considera que una perforadora portátil es suficiente para producir una tonelada por semana en tamaños de 10 cm.

Para el manejo a la planta se requiere de un transporte de carga ligero, como lo es una camioneta Pick-Up.

Molienda y Clasificación.

El granate puesto en planta con tamaño máximo de 10 cm. es reducido a -6 mm., mediante una trituradora de quijada con capacidad de 50 Kg/hr.

La siguiente reducción se efectúa en un molino de rodillos en un circuito cerrado con una criba de 40 mallas, siendo la capacidad del molino de 150 Kg/hr.

Ya en la criba del molino se clasifican además los productos +80, +120 y -200 mallas, siendo esta criba del tipo circular para un mejor funcionamiento y con una capacidad de 60 Kg/hr.

Los productos +80, +120 y -200 se almacenan en tambos y se

pasan a la sección de lijas. El producto -200 mallas se -
envía a la sección de polvos limpiadores. (ver diagrama de
flujo).

Sección de Lijas

En esta sección se propone el siguiente proceso con sus res-
pectivos requerimientos.

Granate: Considerado 2000 lijas.

Cada lija requiere de 20 gramos de granate clasificado.

$$2000 \times 20 + 40,000g = 40 \text{ Kg.}$$

La Molienda del mineral produce 30% de finos a menos 200 ma-
llas (74 micrones) por lo que solo se aprovecha el 70% en
la producción de lijas:

40 Kg de material para lijas

12 Kg de finos a menos 200 mallas

52 Kg de granate a moler por día

+10% de pérdidas en el proceso

58 Kg/día de Granate a Moler

Papel Kraft

El papel base que usan los fabricantes de lija de granate -
es el de pulpa obtenida según el proceso Kraft sin blanquear,
y que tiene la siguiente composición:

Componentes	%
a. Pinus rígida Mill	77
b. Pino ponderosa Laws (Pino ponderosa)	20
c. Picea Marfiana Mi-I.B.S.P. (Picea negra americana)	3

Las hojas de papel base utilizadas tienen un grosor de 0.25 mm. y el depósito de granate con su aglutinante tiene un espesor 0.30 mm., cada lija requiere un respaldo de papel de 23 x 30 cm., si se utiliza una tira de papel de 30 cm. de ancho, se requerirán 460 metros de tira diarios.

Cola

Cada lija requiere 5 gramos de cola en base seca

$$2000 \times 5 = 10,000 \text{ g} = 10 \text{ Kg/día.}$$

Proceso de Fabricación

En términos generales el proceso de producción de lijas es el que se describe a continuación, tomando en cuenta que es alta producción pero que lo podemos adoptar a nuestras necesidades.

El rollo de papel de base es alimentado en forma continua para pasar primero por unos rodillos impresores que le imparten la marca y características de la lija. De la impresión se continúa hacia un juego de rodillos que encolan el papel por un lado, de donde luego pasa por un sistema electrostático por medio del cual son atraídos los gramos de granate que viajan a través del sistema electrostático en forma continua alimentados por una tolva dispuesta para ello. Los gramos atraídos son retenidos por el adhesivo "cola" que recubre el papel, que de ahí pasan a un rodillo que elimina el exceso de pegamento. La lija fresca pasa en seguida por un primer horno secador por el que circula en grandes asas y de donde emerge para pasar por un segundo juego de rodillos engomados que reafirman la consistencia del encolado y de aquí a una segunda etapa de secado sale la lija y pasa por unos rodillos compresores y otro juego de rodillos que elimina las torsiones o acanalamiento de la tira de papel -

.53.

provocando una ruptura de la superficie rígida de la cola seca.

De esta etapa sólo resta la sección de corte de las lijas al tamaño adecuado para su venta (Ver Fig. # 1).

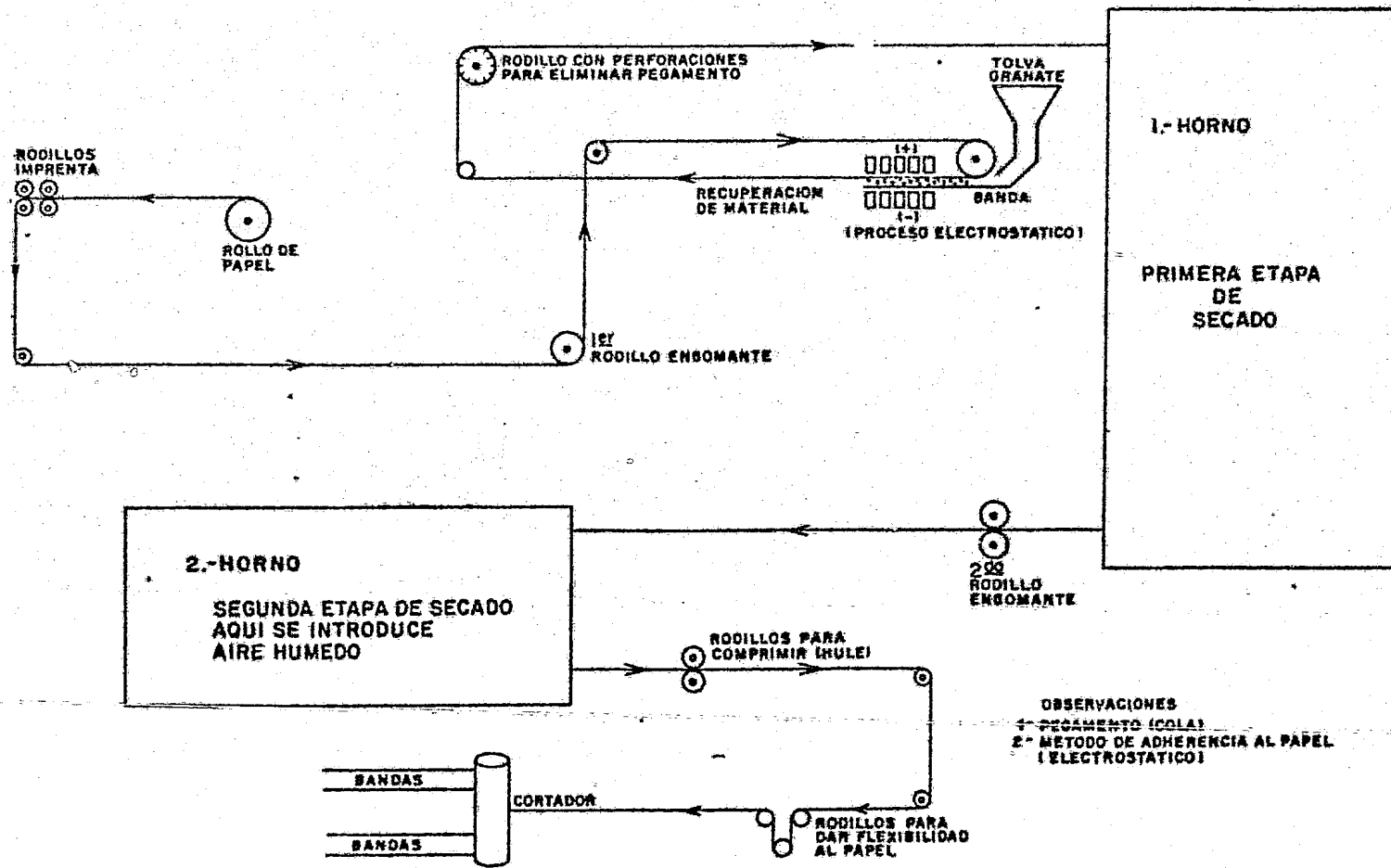
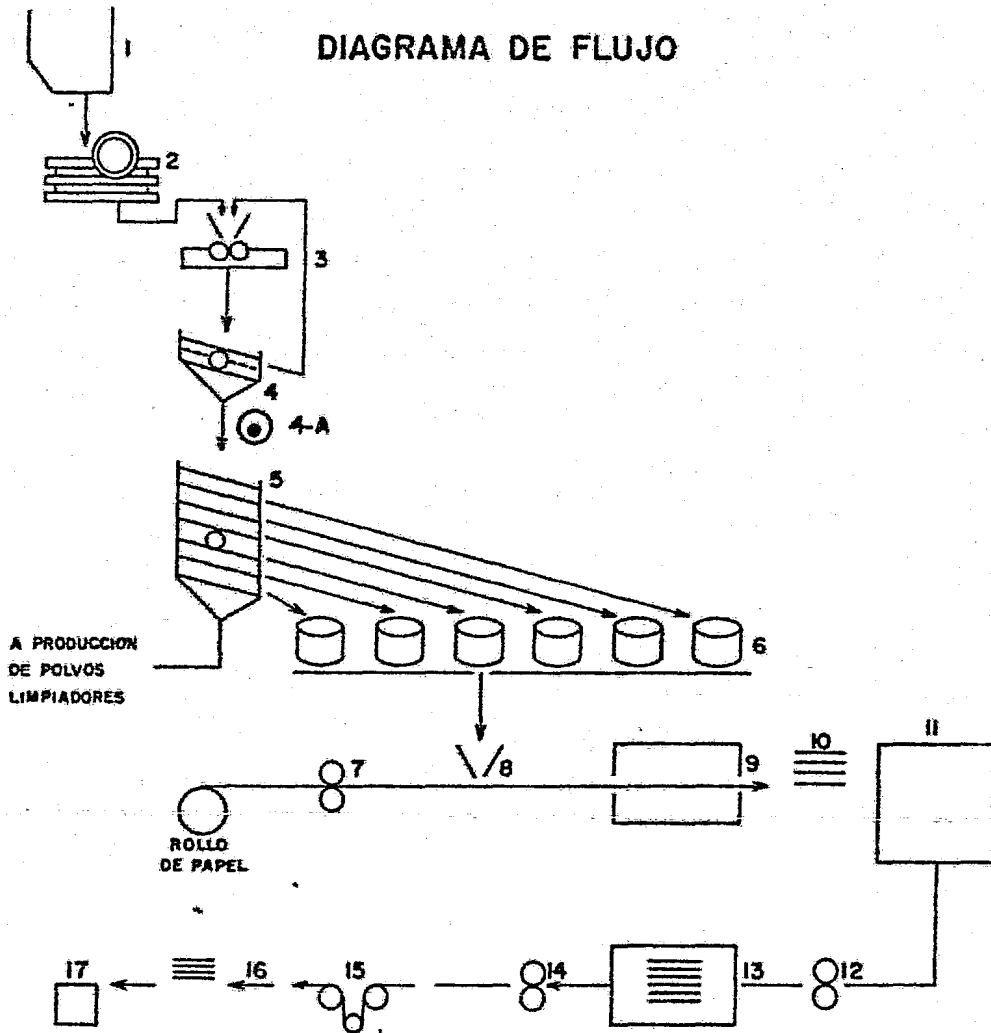


FIG. No.1 SECCION DE LIJAS PROCESO DE FABRICACION

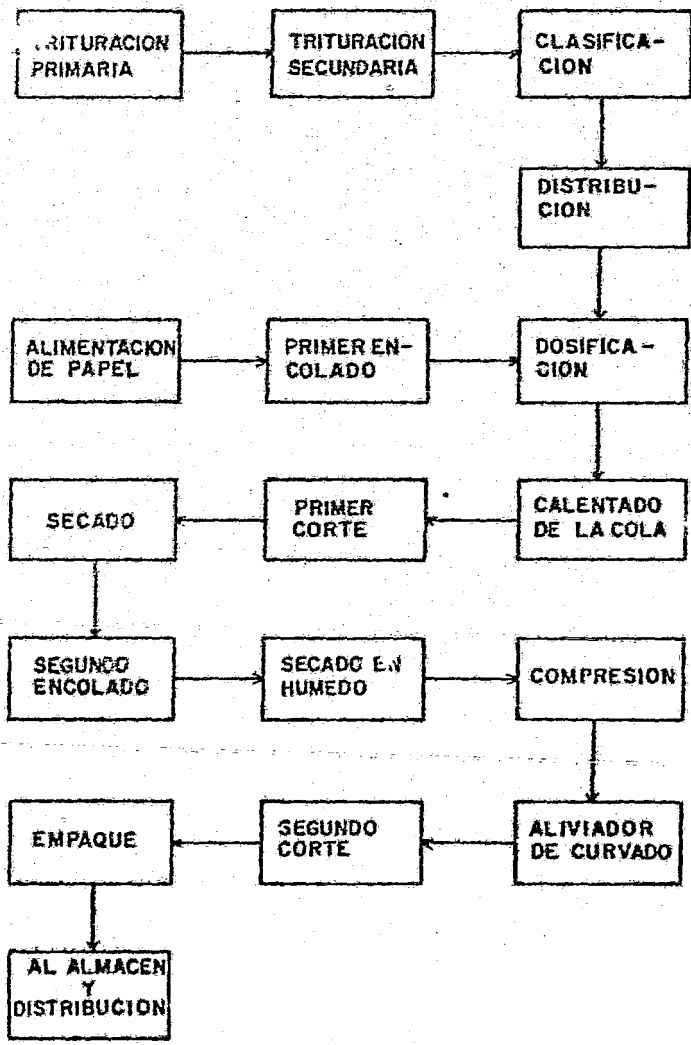
DIAGRAMA DE FLUJO



CLAVE

- 1 TOLVA DE MATERIAL DE 10 cm.
- 2 QUEBRADORA DE QUIJADAS
- 3 MOLINO DE RODILLOS
- 4 CRIBA VIBRATORIA
- 5 CRIBA VIBRATORIA MULTIPLE
- 6 DEPOSITOS DE GRANATE CLASIFICADO
- 7 RODILLOS ENCOLADORES
- 8 DOSIFICADOR DE GRANATE
- 9 ESTUFA
- 4-A. ELECTROIMAN

- 10 MESA DE CORTE
- 11 ESTUFA
- 12 RODILLOS ENCOLADORES
- 13 ESTUFA
- 14 RODILLOS DE HULE
- 15 RODILLOS ABLANDADORES
- 16 MESA DE CORTE
- 17 EMPAQUE

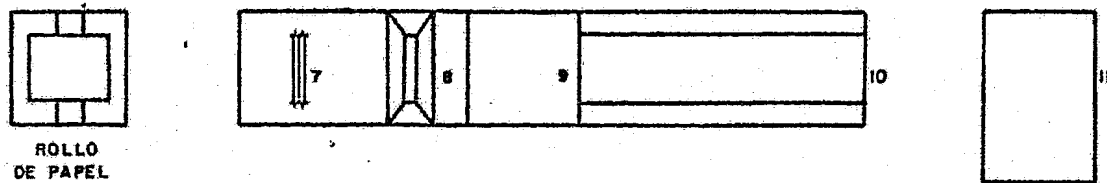
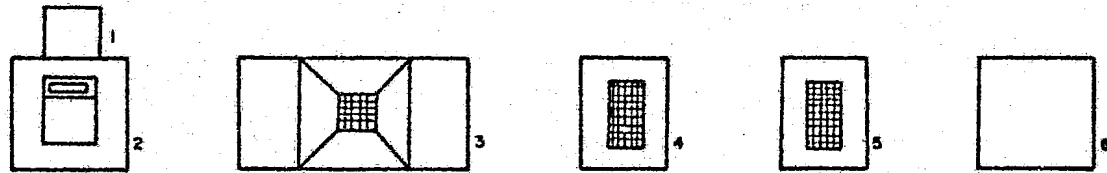


FABRICA OAXAQUENA DE HOJAS ABRASIVAS
 DIAGRAMA DE BLOQUES

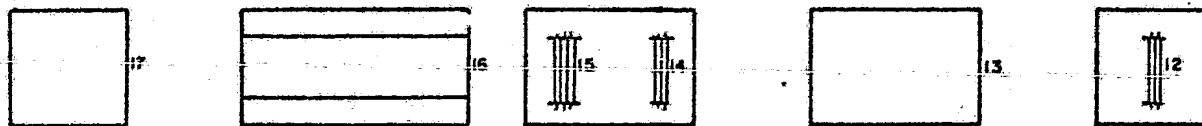
EQUIPO

DESCRIPCION	MEDIDAS	CAP.kg./h.	MOTCR HP	R.P.M.	PESO kg.
Quebradora de Quijadas	6x10 cm.	20/50	1	350/450	70
Molino de Rodillos	25x15 cm.	150	3	250/300	660
Criba vibratoria	30x60 cm.	60	1/2		200
Criba múltiple	30x60 cm.	40	1/2		206
Depósitos de polietileno, para 15kg. / c/u.					
Rodillos encoladores (2 juegos).	5x60 cm.		1/4		
Dosificador vibratorio	1x60 cm.		1/4		
Estufa para calentamiento (máx. 100°C. (2)*)	80x100cm.				60
Estufa para calentamiento (máx. 80°C.)	40x60 cm.				30
Rodillos prensadores.	8x60 cm.		1/4		
Rodillos flexionadores	8x60 cm.		1/4		
Tolva de gruesos.	50x60 cm.				200

* Una de las estufas con dispositivo para alimentar aire húmedo y caliente.



ROLLO
DE PAPEL



ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA

esc: 1:50

CLAVE DEL ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA

1. TOLVA DE GRUESOS
2. QUEBRADORA DE QUIJADAS
3. MOLINO DE RODILLOS
4. CRIBA VIBRATORIA
5. CRIBA VIBRATORIA MULTIPLE
6. GRANATE CLASIFICADO
7. RODILLOS ENCOLADORES
8. DOSIFICADOR DE GRANATE
9. ESTUFA
10. MESA DE CORTE
11. ESTUFA
12. RODILLOS ENCOLADORES
13. ESTUFA
14. RODILLOS DE HULE
15. RODILLOS ABLANDADORES
16. MESA DE CORTE
17. EMPAQUE

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Las condiciones del mercado de la lija y polvos abrasivos a base de granate en los estados del sur del país fueron la base para determinar la capacidad de la planta productora de lijas que se instalaría en la Ciudad de Oaxaca, ya que por las ventajas que ofrece sería la más recomendable, por lo que ésta se tomaría como centro distribuidor del sur hacia los estados circunvecinos. La planta que se propone es pequeña y más que nada es de calidad exploratoria pues como ya se ha indicado, el mercado de papel de lijas está saturado y sólo podrá competir en él a base de mejores precios. Los que existen en la actualidad se encuentran entre \$20.00 y \$25.00 por hoja de 23 x 38 cm., dependiendo del tamaño de grano del granate. Se considera que la fábrica podría introducir sus productos a un precio menor, lo que los haría muy atractivos y se cree que eso será la base del éxito. Por otra parte, ya se indicó que en el proceso se producen por necesidad finos menores de 200 mallas (74 micrones), que presenta alrededor de un 30%, este polvo sería el que se emplearía en la fabricación de polvos limpiadores, debidamente mezclados con los materiales tensoactivos y odorizantes apropiados, en los envases pertinentes tanto para uso industrial como doméstico.

Por lo consiguiente se cree que este producto podría introducirse al mercado nacional sin mayores problemas ya que la calidad abrasiva del polvo de granate obtenido es buena y entraría con ventaja a la competencia.

La creación de la planta se ha considerado además como una obra de carácter social que impulsaría un poco la economía de la región donde se instalara. Por otro lado se consideran grandes posibilidades de desarrollo y de tener el éxito esperado, la pequeña planta puede triplicar su producción con ligeras variaciones en su operación.

En cuanto a la calidad del producto, podemos decir que el granate de esta región no es de la calidad del de importación pero por sus características puede competir con éste para los usos como el de madera y materiales similares por lo que se puede pensar que sí sirve además se tiene la confianza de encontrar yacimientos con calidad del de importación.

BIBLIOGRAFIA

1. Curso de Mineralogfa
A. Betejtin.
Tercera edición. Editorial MIR, Moscú.
2. Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico.
Alan, M. Bateman.
Segunda edición, Editorial Omega, Barcelona.
3. Industrial Mineral and Rocks.
Seeley W. Mudd. tercera edición.
The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum
Engineers.
4. Minerals Facts and Problems.
By Staff, Bureau of Mines. Edition, 1970.
United States Departament of hte Interior.
5. Tratado de Mineralogfa.
Edward S. Dana.
Cuarta edición, editorial Continental, S.A. (CECSA)
6. Noticias Técnicas (INFOTEC)
El Granate: Yacimientos, Producción, usos industriales y mercado.
Dickson, T. Industrial Mineral Pág. 35-37: Febrero de 1982.
Fondo de información y documentación para la industria.
Fideicomiso en Nacional Financiera, S.A.
7. Elementos de Geología.
Leopoldo Salazar Salinas
Talleres Gráficos de la Nación.
8. Importancia de la explotación de las piedras semipreciosas de
México.
X Convención Nacional de ingenieros de minas, metalurgistas y

geólogos de México.

México, D.F., octubre de 1973.

Consejo de Recursos no Renovables.

9. Elements of Mineralogy.
Mason and Berry: Series of Books in Geology.
editorial Freeman and Company.
10. Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Minerals Taggart.
Jhon Wiley and Sons, Inc.
11. Anuarios Estadísticos 1977,78,79,80,81,82.
Consejo de Recursos no Renovables.
12. Análisis Químico Cuantitativo.
Fernando Orozco D.