



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**EXPLOTACIÓN DEL GRANATE EN GUATEMALA MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE  
MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL, PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**

**César Abel Martínez Díaz**

Asesorado por el Ing. Erwin Vinicio Ruiz Díaz

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXPLOTACIÓN DEL GRANATE EN GUATEMALA MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN  
DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL, PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CÉSAR ABEL MARTÍNEZ DÍAZ**

ASESORADO POR EL ING.ERWIN VINICIO RUIZ DÍAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EXPLOTACIÓN DEL GRANATE EN GUATEMALA MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN  
DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL, PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 17 de octubre de 2010.



**César Abel Martínez Díaz**

Guatemala, 25 de Noviembre de 2011

Ingeniero


César Ernesto Urquizu Rodas  
Director Escuela Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero

Por este medio lo saludo deseándole éxitos en sus labores profesionales. El motivo de la presente es para manifestarle que tuve a bien asesorar y revisar conjuntamente con el estudiante César Abel Martínez Díaz el trabajo de graduación titulado EXPLOTACION DEL GRANATE EN GUATEMALA MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCION DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL, PARA APLICACIONES INDUSTRIALES, dicho trabajo cumple con las normas y reglamentos estipulados por la facultad.

Luego de efectuar las correcciones del caso, lo encuentro satisfactorio, por lo cual procedo a dar aprobación del mismo.

Atentamente



**Erwin Vinicio Ruíz Díaz**  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 8,672  
Ing. Erwin Vinicio Ruíz Díaz  
Colegiado No. 8672



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **EXPLORACIÓN DEL GRANATE EN GUATEMALA MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL, PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**, presentado por el estudiante universitario **César Abel Martínez Díaz**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Aldo Estuardo García Morales  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2012.

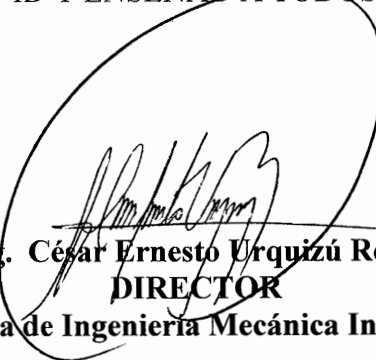
/mgp



REF.DIR.EMI.069.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EXPLOTACIÓN DEL GRANATE EN GUATEMALA MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL, PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**, presentado por el estudiante universitario **César Abel Martínez Díaz**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
**DIRECTOR**  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2013.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **EXPLOTACIÓN DEL GRANATE EN GUATEMALA MEDIANTE MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL, PARA APLICACIONES INDUSTRIALES**, presentado por el estudiante universitario: **César Abel Martínez Díaz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, mayo de 2013





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser la fuente de la sabiduría, mi mejor amigo, mi ayuda y fortaleza de cada día.
- Mis padres** César Abel Martínez y Aura Díaz de Martínez, por ser los pilares de mi vida, y por ser los mejores padres del mundo.
- Mi hermana** Lesly Martínez, por su apoyo durante toda mi vida, su cariño y ánimos para continuar adelante.
- Mis amigos** Por ser un apoyo incondicional, por estar siempre en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- |  |   |
|--|---|
| <b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por abrir sus puertas para la educación superior de la población guatemalteca.  |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                    | Por ser una excelente facultad, y por haberme brindado el conocimiento y los principios para poder ser un buen profesional. |
| <b>Amigo</b>                                     | Ing. Carlos Alvarado, por su apoyo en la realización del presente trabajo de graduación.                                    |
| <b>Amigo</b>                                     | Ing. Erwin Vinicio Ruíz, por su apoyo y asesoría a lo largo de la realización del trabajo de graduación.                    |

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. La institución.....	1
1.1.1. Ubicación.....	2
1.1.2. Historia.....	3
1.1.3. Visión.....	4
1.1.4. Misión.....	4
1.1.5. Valores.....	4
1.1.6. Organización.....	5
1.2. Historia del granate en Guatemala.....	6
1.2.1. Definición.....	9
1.2.2. Localización.....	10
1.2.3. Minerales y rocas asociados.....	11
1.3. Marco legal.....	13
1.3.1. Ley de Minería.....	13
1.3.2. Legislación Nacional.....	23

2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL GRANATE EN GUATEMALA.....	29
2.1.	Geología regional.....	29
2.2.	Geología local.....	30
2.2.1.	Estratigrafía.....	31
2.2.1.1.	Serpentinitas.....	31
2.2.1.2.	Esquistos El Chol.....	32
2.2.1.3.	Esquistos granatíferos Palibatz.....	33
2.2.1.4.	Gneises.....	33
2.2.1.5.	Aluviones.....	34
2.2.1.6.	Depósitos pomáceos eólicos.....	34
2.3.	Descripción y ubicación de yacimientos.....	35
2.4.	Propiedades del granate.....	37
2.4.1.	Físicas.....	39
2.4.2.	Químicas.....	40
2.4.3.	Cristalografía.....	42
2.5.	Clasificación del granate.....	42
2.5.1.	El piropo.....	42
2.5.2.	El almandino.....	44
2.5.3.	Combinación piropo almandino.....	45
2.5.4.	La espersatina.....	46
2.5.5.	La grosularia.....	48
2.5.6.	La andradita.....	49
2.5.7.	La uvarovita.....	52
2.6.	Resultados.....	53
2.6.1.	Técnicas para la caracterización físicoquímica y mineralógica.....	53
2.6.1.1.	Observación macroscópica.....	54
2.6.1.1.	Análisis mineralógico.....	55
2.6.1.3.	Análisis químico cualitativo.....	56

	2.6.1.4.	Solubilidad en agua y ácido.....	56
	2.6.1.5.	Reactividad .....	57
	2.6.1.6.	Inflamabilidad .....	57
	2.6.1.7.	Peso específico.....	58
	2.6.1.8.	Dureza .....	58
	2.6.1.9.	Raya .....	58
3.	PROPUESTA PARA EL PROCESO DE MINADO DE MÍNIMO		
	IMPACTO.....		59
3.1.	Estudio de minado .....		59
	3.1.1.	Generalidades.....	59
3.2.	Descripción de los frentes de minado .....		60
	3.2.1.	Zona de Palibatz .....	61
	3.2.2.	Zona de Suchipup.....	61
	3.2.3.	Zona de Moritas y poza de Saltán.....	62
3.3.	Descripción del proceso de minado .....		62
	3.3.1.	Proceso de extracción (método actual) .....	63
	3.3.2.	Diagrama de flujo del proceso actual .....	66
	3.3.3.	Proceso de extracción (método propuesto).....	68
	3.3.4.	Diagrama de flujo del proceso propuesto .....	69
	3.3.5.	Cursograma del proceso de extracción propuesto.....	71
3.4.	Descripción de maquinaria .....		72
	3.4.1.	Equipo .....	72
		3.4.1.1. Martillo perforador .....	72
		3.4.1.2. Generador eléctrico.....	73
	3.4.2.	Herramienta .....	74
		3.4.2.1. Almádana.....	74
		3.4.2.2. Macho (martillo) .....	74

	3.4.2.3.	Broca .....	75
	3.4.2.4.	Punta .....	76
	3.4.2.5.	Cinzel .....	77
	3.4.2.6.	Barreta.....	77
4.	IMPLEMENTACION DE LA PROPUESTA.....		79
4.1.	Implementación del taller artesanal .....		79
4.1.1.	Generalidades .....		79
4.1.2.	Descripción del taller y especificaciones.....		83
4.1.2.1.	Descripción del equipo.....		84
4.1.2.2.	Recurso humano .....		89
4.1.2.3.	Proceso de producción .....		92
4.1.2.4.	Control de calidad.....		96
4.1.2.5.	Transporte del producto final .....		97
4.2.	Usos y aplicaciones industriales.....		97
4.2.1.	Aprovechamiento del granate como abrasivo .....		98
4.2.1.1.	Propiedades .....		99
4.2.1.2.	Granulometría.....		100
4.2.1.3.	Fabricación .....		103
4.2.2.	Aprovechamiento del granate en joyería y artesanía .....		107
4.2.2.1.	Propiedades .....		108
4.2.2.2.	Proceso de transformación .....		109
4.3.	Comercialización.....		109
4.3.1.	Análisis de la oferta .....		110
4.3.2.	Análisis de la demanda.....		111
4.3.3.	Análisis de la oferta demanda.....		111
4.3.4.	Análisis de precios.....		114
4.3.5.	Análisis de costos de producción.....		115

4.3.6.	Plan de inversiones.....	117
4.3.7.	Resultados.....	120
5.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y MEJORA CONTINUA.....	121
5.1.	Evaluación de impacto ambiental .....	121
5.1.1.	Matriz de efectos ambientales.....	122
5.2.	Plan de mitigación ambiental .....	123
5.2.1.	Manejo de desechos sólidos .....	123
5.2.2.	Estrategias de protección ambiental .....	124
5.3.	Auditorías .....	124
5.3.1.	Guía procedimental de auditorías mineras.....	125
5.3.1.1.	Definiciones .....	125
5.3.1.2.	Procedimiento .....	126
	CONCLUSIONES.....	129
	RECOMENDACIONES.....	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	133
	ANEXOS .....	135





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Instalaciones Ministerio de Energía y Minas.....	2
2.	Organigrama del Ministerio de Energía y Minas.....	5
3.	Mapa regional de potencial minero en Guatemala .....	7
4.	Gneis granítico ubicado en el río Saltán (Pachalum, Quiché) .....	39
5.	Cristal trapezoédrico de granate almandino .....	39
6.	El piropo.....	44
7.	Granate almandino.....	45
8.	La espartina .....	47
9.	La grosularia .....	49
10.	La andradita .....	52
11.	La uvarovita .....	53
12.	Perforación de roca con almádana.....	63
13.	Fracturación de roca .....	64
14.	Fracturación de roca con almádana .....	64
15.	Separación de rocas con barreta .....	65
16.	Diagrama de flujo de proceso de minado actual.....	66
17.	Perforación de roca con taladro .....	68
18.	Separación de roca con barreta .....	69
19.	Diagrama de flujo de proceso propuesto .....	70
20.	Cursograma del proceso de extracción propuesto .....	71
21.	Martillo perforador .....	72

22.	Generador eléctrico .....	73
23.	Almádana .....	74
24.	Modalidades de martillos .....	75
25.	Brocas .....	76
26.	Muestras de punta .....	76
27.	Variedad de cinceles .....	77
28.	Barreta de punta .....	78
29.	Ubicación geográfica del taller artesanal .....	82
30.	Plano del edificio propuesto para instalar el taller artesanal.....	84
31.	Máquina para pulir y lustrar rocas y minerales en diferentes perspectivas .....	86
32.	Taller artesanal con la distribución de maquinaria y equipo .....	88
33.	Plan de organización dentro del taller artesanal .....	89
34.	Diagrama de flujo del proceso de pulido .....	94
35.	Cursograma del proceso de pulido .....	95
36.	Diversidad de materiales abrasivos .....	99
37.	Comparativa entre abrasivos FEPA y ANSI .....	102
38.	Granos de mineral de tamaños muy dispares (NO FEPA) vs granos de mineral muy homogéneos (FEPA) .....	102
39.	Esquema de la composición de un abrasivo .....	103
40.	Esquema típico para la fabricación de abrasivos .....	106
41.	Variedad que ofrece el jade .....	113


## TABLAS

I.	Color y composición química del mineral granate .....	10
II.	Coordenadas UTM de los vértices que limitan el área especial de interés minero Pachalum Joyabaj, Quiché.....	11
III.	Asuetos laborales durante el año.....	24

IV.	Prestaciones laborales.....	25
V.	Impuesto único sobre inmuebles.....	27
VI.	Datos de interés de los yacimientos explotables.....	36
VII.	Variedades de granate según el elemento químico principal.....	38
VIII.	Propiedades físicas del granate almandino.....	40
IX.	Composición química cuantitativa del granate almandino.....	40
X.	Composición química cuantitativa del granate piropo.....	41
XI.	Localización del taller por el método ponderado.....	81
XII.	Ponderación de los factores para localización.....	82
XIII.	Cualidades de los minerales más utilizados.....	104
XIV.	Rangos de precio en los que varían varias piezas de joyería.....	112
XV.	Precios internacionales del granate tipo gema según variedad, dimensión y peso.....	114
XVI.	Costos variables de fabricación.....	115
XVII.	Costos variables del proceso de extracción.....	116
XVIII.	Costos administrativos anuales opción A.....	116
XIX.	Costos administrativos anuales opción B.....	117
XX.	Costos de inversión opción A.....	118
XXI.	Costos de inversión opción B.....	119
XXII.	Resultados obtenidos para inversión tipo A y tipo B.....	120
XXIII.	Matriz de efectos ambientales.....	122



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
	Acometida de agua fría
	Almacenamiento
	Contador general de agua
	Grifo de agua
<b>Msnm</b>	Metros sobre nivel del mar
	Operación
	Operación combinada
	Panel eléctrico
	Transporte
	Tomacorriente de 110V



## GLOSARIO

<b>Alexandrita</b>	Es un crisoberilo de sorprendente belleza, tiene la extraña cualidad de mostrar durante el día una coloración verde, mientras que con luz artificial toma tonalidades rojizas.
<b>Anfibolita</b>	Roca metamórfica de color verde oscuro, dura y tenaz, compuesta principalmente por anfíbol.
<b>Antigorita</b>	Tipo de mineral perteneciente a las serpentinas, de grano fino.
<b>Arena</b>	Conjunto de partículas desagregadas de las rocas, sobre todo si son silíceas y acumuladas, ya en las orillas del mar o de los ríos, ya en capas de los terrenos de acarreo.
<b>Barita</b>	Óxido de bario, que en forma de polvo blanco se obtiene en los laboratorios, y que, combinado con el ácido sulfúrico, se encuentra generalmente en la naturaleza, formando la baritina.
<b>Biotita</b>	Nombre de un grupo de minerales (filosilicatos de hierro y magnesio), el cual fue reemplazado por el nombre Flogopita.

<b>Calcárea</b>	Roca sedimentaria formada por la precipitación del carbonato cálcico disuelto en el agua.
<b>Canon</b>	Impuesto que se paga por algún servicio, generalmente oficial.
<b>Cantera</b>	Sitio de donde se saca piedra, greda u otra sustancia análoga para obras varias.
<b>Cartografía</b>	Arte de trazar mapas geográficos.
<b>Colada</b>	Masa de lava que se desplaza, hasta que se solidifica, por la ladera de un volcán.
<b>Coordenadas <i>UTM</i></b>	El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (En <i>inglés Universal TransverseMercator, UTM</i> ) es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator.
<b>Crisoberilo</b>	Piedra preciosa de color verde amarillento, con visos opalinos, compuesta de alúmina, glucina y algo de óxido de hierro
<b>Devónico</b>	Se dice del cuarto período de la era Paleozoica, que abarca desde hace 408 millones de años hasta hace 360 millones de años, caracterizado por la aparición de los anfibios, los peces de agua dulce y las formaciones de coral.



<b>Diorita</b>	Roca eruptiva granulosa formada por feldespatos y un elemento oscuro, cuya coloración puede ir del blanco al negro.
<b>Dique</b>	Filón estéril que asoma a la superficie del terreno, formando a manera de muro
<b>Dodecaedro</b>	Sólido de doce caras.
<b>Eólico</b>	Del viento o producido por él.
<b>Escala de Mohs</b>	Escala de dureza para los minerales, elaborado por el geólogo austriaco Friedrich Mohs.
<b>Espesartina</b>	Mineral perteneciente a la familia de los silicatos (granates).
<b>Esquisto</b>	Roca de color negro azulado que se divide con facilidad en hojas.
<b>Facie</b>	Conjunto de rocas con determinadas características, ya sean paleontológicas (fósiles) y litológicas (como la forma, el tamaño, la disposición de sus granos y su composición de minerales) que ayudan a conocer dónde y cuándo se formó la roca.
<b>Gneis</b>	Roca de estructura pizarrosa e igual composición que el granito.

<b>Grava</b>	Piedra machacada con que se cubre y allana el piso de los caminos.
<b>Greda</b>	Arcilla arenosa, de color blanco azulado, usada principalmente, para desengrasar los paños y quitar manchas.
<b>Jade</b>	Piedra muy dura, tenaz, de aspecto jabonoso, blanquecina o verdosa con manchas rojizas o moradas, que suele hallarse formando nódulos entre las rocas estratificadas cristalinas.
<b>Limo</b>	Lodo.
<b>Marga</b>	Roca de color gris compuesta de carbonato cálcico y arcilla, que se emplea como abono en tierras de cultivo y como regulador de la acidez del suelo.
<b>Metamorfismo</b>	Transformación de un mineral o una roca en el interior de la corteza terrestre por la acción de agentes como la temperatura y la presión.
<b>Mesozoico</b>	Se dice de la era geológica que abarca desde el fin del Paleozoico hace unos 230 millones de años hasta hace unos 65 millones de años. Comprende sucesivamente los períodos Triásico, Jurásico y Cretácico.
<b>Nesosilicato</b>	Silicatos, compuestos por silicio y oxígeno, con uniones iónicas y covalentes.

<b>Olivino</b>	Mineral de color verde o amarillento, translúcido y pesado.
<b>Paleozoico</b>	Se dice de la era geológica que abarca desde el fin del Precámbrico, hace unos 570 millones de años hasta hace unos 230 millones de años.
<b>Paragénesis</b>	Unión de varios minerales en una sola roca.
<b>Pérmico</b>	Se dice del sexto y último período de la era Paleozoica, que abarca desde hace 286 millones de años hasta hace 245 millones de años, caracterizado por la elevación de los continentes y la extinción de muchos grupos de invertebrados.
<b>Piedra pómez</b>	Piedra volcánica, esponjosa, frágil, de color agrisado y textura fibrosa, que raya el vidrio y el acero y es muy usada para desgastar y pulir.
<b>Piroxeno</b>	Mineral silíceo que aparece en rocas metamórficas ricas en magnesio y en hierro. Hay variedades blancas, amarillas, verdes, pardas y negruzcas.
<b>Plutonismo</b>	Sistema que atribuye la formación del globo a la acción del fuego interior, del cual son efecto los volcanes.
<b>Poliedro</b>	Sólido limitado por superficies planas.

<b>Roca</b>	Piedra o vena de ella, muy dura y sólida. Sustancia mineral que por su extensión forma parte importante de la masa terrestre.
<b>Silicato</b>	Sal del ácido silícico.
<b>Silícico</b>	De sílice o silicio.
<b>Serpentina</b>	Mineral silicato de magnesio, de forma laminar o fibrosa y color verdoso que se usa como aislante y en decoración por su gran dureza.
<b>Talco</b>	Mineral muy difícil de fundir, de textura laminar, muy suave al tacto, lustroso, tan blando que se raya con la uña, y de color generalmente verdoso. Es un silicato de magnesia. Se usaba en láminas, sustituyendo al vidrio en ventanillas y faroles.
<b>Toba</b>	Piedra caliza, muy porosa y ligera, formada por la cal que llevan en disolución las aguas de ciertos manantiales y que van depositándola en el suelo o sobre las plantas u otras cosas que hallan a su paso.
<b>Trapezoedros</b>	Poliedro de veinticuatro caras que son trapecios.
<b>Zona metalogenética</b>	Es el área abarcada por los procesos de mineralización simultáneos durante una época.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la estandarización y mejora del proceso de minado y la aplicación del mineral granate en la industria de Guatemala, ya que el mismo es considerado como fuente de aprovechamiento minero debido a que es un grupo de minerales susceptibles de explotación.

En el primer capítulo se detallan las características de este grupo de minerales y su localización a nivel nacional, así como las leyes que rigen la explotación minera en el país.

El segundo capítulo considera un análisis de las propiedades fisicoquímicas del granate encontrado en las distintas regiones de Guatemala, así como una clasificación de las distintas clases y formas.

El tercer capítulo describe el proceso actual de minado superficial, en el cual se propone mejoras en el proceso tomando en cuenta factores de seguridad industrial y ambiental.

El cuarto capítulo presenta la propuesta de implementación del taller artesanal para tratamiento del granate, así como su comercialización.

Por último, se contempla las medidas de protección ambiental requeridas para estas prácticas, así como opciones de mejora continua del proyecto.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Explotar el mineral granate en Guatemala, a través de la técnica de minado superficial de mínimo impacto ambiental, para el aprovechamiento en las distintas aplicaciones industriales, mejorando los procesos actuales.

### **Específicos**

1. Conocer el grupo de minerales que compone el granate, y los lugares de localización a nivel nacional.
2. Investigar las propiedades fisicoquímicas del granate para su posterior aplicación, ya sea industrial o artesanal, dependiendo de sus características.
3. Realizar pruebas de caracterización mineralógica al mineral granate para conocer su mejor aprovechamiento con base en los resultados.
4. Dar a conocer las distintas aplicaciones del mineral granate, para poderse explotar y transformar en producto útil al mercado, dependiendo la ubicación y demanda del mismo.
5. Conocer la forma adecuada de explotación del granate, en función de ocasionar un mínimo impacto ambiental, teniendo en cuenta el proceso de minado de forma detallada y estandarizada, para su aplicación.

6. Realizar un análisis de factores ambientales que influyen en este tipo de prácticas, así como las recomendaciones debidas, para la mejora continua del mismo.
  
7. Tener una base general de las leyes que regulan la explotación minera en Guatemala, para su correcta aplicación en los procesos.



## INTRODUCCIÓN

El granate pertenece a un grupo de minerales que presentan cristales en forma de dodecaedros o trapezoedros, pertenece a los nesosilicatos y existe en variedad de colores que van desde el púrpura, rojo, naranja, amarillo, verde, castaño, café, negro e incoloro. El nombre granate deriva del latín *granatus*, con granos, y su característica fundamental es que por su dureza (en la escala de Mohs es de 6.5-7.5) puede ser utilizado en la industria como abrasivos, así como en joyería y artesanía.

Para su desarrollo el informe se divide en cinco capítulos: antecedentes generales, situación actual del granate en Guatemala, propuesta de proceso de minado de mínimo impacto, implementación de la propuesta y estudio de impacto ambiental y mejora continua. En el primero se muestra la información del Ministerio de Energía y Minas.

En el segundo se analizan las características físico-químicas del granate, para su posterior aplicación.

En el tercer capítulo se muestra el proceso de minado de mínimo impacto ambiental, para la extracción y futura utilización del mineral.

En el cuarto capítulo se propone la implementación de un taller artesanal, para la transformación del granate extraído, en producto útil a la sociedad, ya sea en forma de abrasivos o para joyería.



# 1. ANTECEDENTES GENERALES

## 1.1 La institución

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) es el encargado de atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros.

El Ministerio de Energía y Minas, de acuerdo con el artículo 34 de la Ley del Organismo Ejecutivo, le corresponde las siguientes funciones:

- a) Estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía, promover su aprovechamiento racional y estimular el desarrollo y aprovechamiento racional de energía en sus diferentes formas y tipos, procurando una política nacional que tienda a lograr la autosuficiencia energética del país.
- b) Coordinar las acciones necesarias para mantener un adecuado y eficiente suministro de petróleo, productos petroleros y gas natural de acuerdo a la demanda del país, y conforme a la ley de la materia.
- c) Cumplir y hacer cumplir la legislación relacionada con el reconocimiento superficial, exploración, explotación, transporte y transformación de hidrocarburos; la compraventa o cualquier tipo de comercialización de petróleo crudo o reconstituido, gas natural y otros derivados, así como los derivados de los mismos.

- d) Formular la política, proponer la regulación respectiva y supervisar el sistema de exploración, explotación y comercialización de hidrocarburos y minerales.
- e) Cumplir las normas y especificaciones ambientales que en materia de recursos no renovables establezca el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- f) Emitir opinión en el ámbito de su competencia sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.
- g) Ejercer las funciones normativas y de control y supervisión en materia de energía eléctrica que le asignen las leyes.

### **1.1.1. Ubicación**

Las oficinas centrales del Ministerio de Energía y Minas se encuentra en el departamento de Guatemala, diagonal 17, 29-78 zona 11, colonia Las Charcas.

Dicha ubicación permite un fácil acceso al lugar por estar en una zona céntrica de la ciudad.

Figura 1. **Instalaciones Ministerio de Energía y minas**



Fuente: <http://www.mem.gob.gt>. Consulta: 10 de mayo de 2011.

### **1.1.2. Historia**

La Dirección General de Minería, Industrias Fabriles y Comercio, adscrita a la Secretaría de Fomento, fue creada el 01 de julio de 1907, siendo nombrado el señor Manuel Lemus, como Director.

En la década de los años cuarenta, se creó el Instituto Nacional de Petróleo. Posteriormente, en los años cincuenta, la Dirección General de Minería, Industrias Fabriles y Comercio, cambió de denominación a únicamente Dirección General de Minería, fusionándose con el referido Instituto para llegar a formar la Dirección General de Minería e Hidrocarburos, adscrita al Ministerio de Economía.

Conforme la ley que regulaba las actividades del Organismo Ejecutivo, correspondía al Ministerio de Economía conocer todo lo relativo a los hidrocarburos, minas y canteras, pero por lo creciente y complejo de tales actividades fue necesario separar de dicho ministerio, la Dirección General de Minería e Hidrocarburos, dando vida mediante el Decreto-Ley 57-78 a la Secretaría de Minería, Hidrocarburos y Energía Nuclear, adscrita a la Presidencia de la República.

Ante el crecimiento e importancia de las actividades relativas al desarrollo de la industria petrolera y minera, cambió la denominación de tal Secretaría mediante el Decreto-Ley Número 86-83, llamándose Secretaría de Energía y Minas. No obstante, que la emisión de este Decreto-Ley significó un avance para que la Secretaria cumpliera en mejor forma sus funciones, se hizo necesario contar con un órgano más especializado que atendiera y dinamizara el desarrollo en el sector, dando lugar a que por medio del Decreto Ley No 106-83 de fecha 8 de septiembre de 1983, naciera a la vida política del país el

Ministerio de Energía y Minas (MEM), tomando vigencia a partir del 10 de Septiembre de ese mismo año.

### **1.1.3. Visión**

“Somos la institución rectora de los sectores energético y minero, que fomenta el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales del país.

Conformamos un equipo de trabajo multidisciplinario capacitado que cumple con la legislación y la política nacional, propiciando el desarrollo sostenible; en beneficio de la sociedad”.

### **1.1.4. Misión**

Propiciar y ejecutar las acciones que permitan la inversión destinada al aprovechamiento integral de los recursos naturales, que proveen bienes y servicios energéticos y mineros velando por los derechos de sus usuarios y de la sociedad en general.

### **1.1.5. Valores**

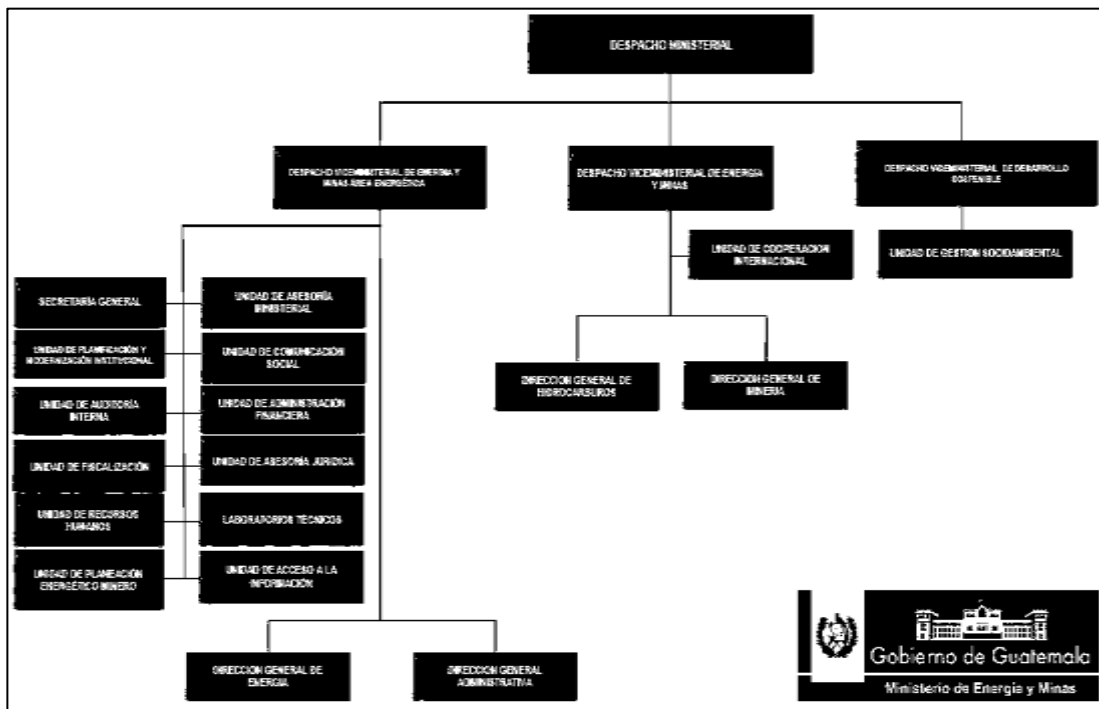
- La satisfacción de los requerimientos energéticos y mineros, dentro de los estándares de calidad, en todo el país.
- Promover la diversificación de la oferta energética, con enfoque en las fuentes de energía renovables.
- Promover el consumo eficiente y productivo de los recursos energéticos y mineros.

- Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y no renovables en forma eficiente.
- Crear las condiciones adecuadas, para promover la inversión de capitales nacionales y extranjeros dentro de los sectores energético y minero.

### 1.1.6. Organización

En la figura 2, se muestra el organigrama del Ministerio de Energía y Minas, en base al Gobierno de Guatemala, periodo 2012-2016.

Figura 2. Organigrama del Ministerio de Energía y Minas



Fuente: <http://www.mem.gob.gt>. Consulta: 05 de septiembre 2012.

## 1.2. Historia del granate en Guatemala

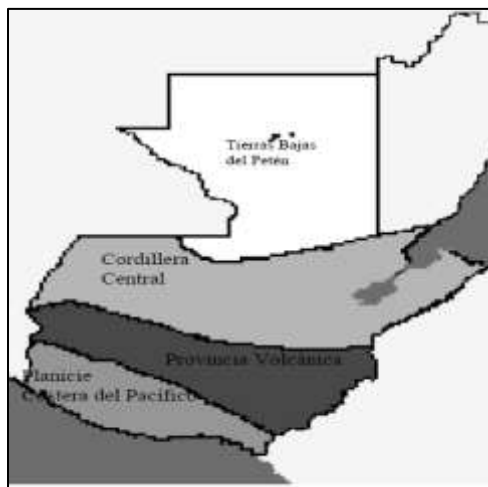
A pesar de que en Guatemala no se ha realizado suficiente investigación geológica para cuantificar y caracterizar sus recursos minerales, se conoce el potencial que posee debido a estudios realizados durante décadas. El mapa del potencial minero en Guatemala muestra 4 regiones, teniendo cada una, características distintas de acuerdo al componente de su suelo. Estas regiones son:

- Tierras bajas del Petén: las mismas representan un área de bosque tropical húmedo con elevaciones promedio de 100 metros sobre el nivel del mar. Aquí se localizan depósitos de yeso, carbonatos y petróleo.
- Cordillera central: se encuentra distribuida en la parte central de Guatemala, cubriendo 1/3 del territorio nacional. Forma parte del sistema que se desarrolla desde Chiapas, México hasta las islas del golfo de Honduras. Los minerales no metálicos de mayor ocurrencia en esta zona son barita, mármol de serpentinita y calcáreo, esquistos, jade, talco, y rocas industriales. En el caso de los minerales metálicos encontrados están plomo, cobre, antimonio, zinc, plata, oro y níquel.
- Provincia volcánica: abarca un área aproximada de 25 000 km<sup>2</sup>, conteniendo 40 volcanes principales. La elevación sobre el nivel del mar está entre los 50 a 300 metros. En esta región se hallan extensos depósitos de pómez, tobas y coladas de lavas, entre los minerales no metálicos.
- Planicie costera del Pacífico: comprende una planicie de unos 50 km de ancho formada a lo largo del litoral del Pacífico por productos de material



derivado de las tierras altas volcánicas. Los minerales que se pueden encontrar incluyen arenas, gravas y pómez. Se hallan también, sedimentos de arena con gran contenido de hierro y titanio (arenas negras titaníferas de las playas del Pacífico).

Figura 3. **Mapa regional de potencial minero en Guatemala**



Fuente: <http://www.deguate.com>. Consulta: 10 de mayo 2011.

El área nombrada en este estudio: Pachalum, Joyabaj, en el departamento de Quiché, ha sido poco estudiada desde el punto de vista geológico o minero. Se sabe que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y la Misión Geológica Alemana en Guatemala (MGA), realizaron investigaciones geológicas en un área que comprende los departamentos de Baja Verapaz y Alta Verapaz (situadas al norte del país), a solicitud del Gobierno de la República de Guatemala, en 1966 y 1969. Entre los resultados de esas investigaciones, se encuentran el cartografiado de 9 hojas geológicas a escala 1:50,000, de las cuales solo 6 fueron editadas por el IGN. Asimismo, se realizó inventario de los recursos minerales que se encontraban en la región, así como una prospección de yacimientos posibles. Los trabajos llegaron a la comprobación de yacimientos

aprovechables económicamente de granate y distena, así como capas extensas de yeso.

En 1999, el Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección General de Minería, realizó trabajos de reconocimiento en el área como parte del desarrollo de una serie de documentos denominados: Oportunidades de Inversión en Minerales y Rocas Industriales<sup>1</sup>. El trabajo se intensifica en el 2000, cuando el Ing. Alvarado es nombrado Director General de Minería. Se realizó exploración en la región y se ubicaron algunos yacimientos de granate al noreste de El Chol y al sur de Salamá, ambos municipios de Baja Verapaz; también al suroeste de Morazán, municipio de El Progreso, así como en las cercanías de Joyabaj y Pachalum, ambos municipios de Quiché.

El área con mayor potencial en granate se ubicó en la región comprendida entre los municipios de Pachalum y Joyabaj, en la cual se realizaron trabajos de prospección, cartografiado geológico y se encontraron yacimientos importantes de granate. También se realizó una prueba de perforación, la cual por la limitación de recursos técnicos y financieros, no alcanzó el éxito esperado.

Basado en los estudios realizados, mediante el Acuerdo Ministerial número AG-132-2001, fueron declarados 156 km<sup>2</sup> de la región, como Área Especial de Interés Minero. El trabajo de cartografiado geológico se limitó a un área de 96 Km<sup>2</sup>.

---

1 Alvarado Carías, Carlos Humberto "Oportunidades de inversión en minerales y rocas industriales", MEM, 1999.

### 1.2.1. Definición

El granate pertenece a un grupo de minerales que presentan cristales en forma de dodecaedros o trapezoedros. Pertenecen a los nesosilicatos y tienen la misma fórmula química:  $A_3B_2(SiO_4)_3$ . Los elementos químicos que pueden estar presentes en esta formulación son: calcio, magnesio, aluminio, hierro (II), hierro (III), cromo (III), manganeso y titanio.

El granate no tiene una estructura definida. Suelen formarse fracturas en forma de concha o irregulares. Hay variedades muy duras que se utilizan como abrasivos. La dureza en la escala de Mohs es de 6,5-7,5. Su densidad es de 3,1-4,3 g/ml. Su brillo se parece al vidrio o a la resina. Pueden ser transparentes u opacos.

El nombre granate deriva del latín *granatus*: con granos. Se refiere al *malum granatum*: árbol de la granada, planta cuyas semillas tienen forma, tamaño y color parecidos a los de algunos cristales de granate.

Existe la creencia errónea de que el granate es una piedra preciosa roja. De hecho, hay una variedad de colores que van desde púrpura, rojo, naranja, amarillo, verde, castaño, café y negro al incoloro. El azul, el único color que faltaba en esta familia, se encontró finalmente en un mineral de Bekily (Madagascar) que cambia de color de azul a rosa rojizo. Estas piedras son muy raras. Los granates con cambio de color son los más raros, especialmente la uvarovita, de la que no existe un tamaño utilizable en joyería. Con luz diurna, su color puede tener tonalidades grises, castaños claros y oscuros o verdes y, raras veces azules. Con luz incandescente, el color cambia a rojizo o rosa purpúreo. La composición de estos granates corresponde a la de una mezcla de espesartina y piropo como los granates de Malasia.

El cambio de color de estos nuevos granates es, a menudo, más intenso que en el caso de la alexandrita de alta calidad, en la que, con frecuencia, resulta decepcionante; pero aun así, cuesta miles de dólares por quilate. Se espera que los precios del granate con cambio de color hacia el azul igualen o incluso superen los de alexandrita, ya que el cambio es más intenso y las piedras son más raras. El efecto del cambio de color se puede atribuir a un contenido relativamente elevado de vanadio (aproximado 1%).

Debido a su composición química, se diferencian seis variantes comunes de granate. Se trata de:

Tabla I. **Color y composición química del mineral granate**

Tipo de granate	Color	Composición química
Piropo	De color vino tinto a rojo sangre	$Mg_3Al_2[SiO_4]_3$
Almandino	Dorado	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$
Espesartina	Entre ámbar y ladrillo	$Mn_3Al_2[SiO_4]_3$
Grosularia	Amarillo terroso.	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
Uvarovita	Verde	$Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$
Andradita	Amarillo o azul oscuro	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$

Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

### 1.2.2. Localización

El área de estudio se encuentra comprendida dentro de las jurisdicciones de los municipios de Pachalum y Joyabaj, en el departamento de Quiché. El acceso principal es por la cabecera municipal de Pachalum, la cual se encuentra ubicada en la parte sureste del departamento de Quiché, cuyas coordenadas UTM son N=1651230; E=751300 a una altura de 1 350 msnm.

Geográficamente, Pachalum colinda al norte con el municipio de Cubulco, Baja Verapaz, al sur con el municipio de San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala, al sudeste con el municipio de San Raymundo del departamento de Guatemala y al noroeste con el municipio de Joyabaj del departamento de Quiché.

El área especial de interés minero Pachalum, Joyabaj abarca una extensión superficial de ciento cincuenta y seis kilómetros cuadrados (156 km<sup>2</sup>). Está delimitada por las coordenadas UTM indicadas en la tabla II.

Tabla II. **Coordenadas UTM de los vértices que limitan el área especial de interés minero Pachalum, Joyabaj, Quiché**

VÉRTICE	NORTE	ESTE
1	1 663 000	742 000
2	1 663 000	754 000
3	1 650 000	754 000
4	1 650 000	742 000

Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

### 1.2.3. **Minerales y rocas asociados**

El área en estudio se encuentra ubicada en la región metalogenética denominada Complejo Metamórfico, donde debido a la actividad tectónica de la región, provocada principalmente, por la acción del contacto de las placas de Norteamérica y del Caribe, predominan las rocas de origen metamórfico y las condiciones son favorables para la formación de minerales metálicos.

De análisis realizados por fluorescencia de rayos X se determinó la presencia de titanio, hierro y manganeso. Aunque no se realizaron análisis de sedimentos, se considera que la zona es propicia para la mineralización de sulfuros polimetálicos, tales como: plomo, plata y cinc.

En cuanto a minerales o rocas no metálicas, se confirmó lo reportado en el informe de la Misión Alemana sobre en cuanto la ocurrencia de distena y granate. La distena está ligada a rocas metamórficas de la facie almandino - amphibolita. Localmente las rocas aflorantes muestran la presencia de este mineral, algunos cristales de distena llegan a tener un tamaño de 10 cm de largo, lo que favorece una explotación económica. La distena es utilizada como materia prima en la fabricación de cerámica refractaria.

Afloramientos importantes de granate fueron descubiertos en la zona, el cual se encuentra alojado en roca de esquisto y gneis. En la región, la mayor parte del granate superficial encontrado se presenta altamente oxidado, causado por la acción del agua sobre el hierro, que es uno de los principales componentes del granate almandino, lo cual es facilitado por la alta foliación del esquisto. Sin embargo, es posible encontrar afloramientos donde el granate se encuentra suficientemente sano, como para poder ser utilizado en joyería artesanal o para abrasivo.

En el área predomina la ocurrencia de esquisto, el cual puede o no contener granate. La mica presente en el esquisto y en el gneis, la cual es del tipo moscovita, podría también ser aprovechada. Este recurso es utilizado en la industria en aplicaciones como: aislante, cosméticos; en las pinturas se aprovecha la cualidad reflejante de luz del esquisto para ser utilizadas, en señalización de carreteras y como agregado, por la propiedad de ser un material inerte. También se tiene la ocurrencia de mica del tipo biotita.

Se pudo observar que el esquistos, también puede ser aprovechado para la fabricación de bloques ornamentales, los cuales tienen demanda en el sector construcción. Se realizó exploración para ubicar yacimientos de esquistos que pudieran ser útiles para esta aplicación; sin embargo, no se logró encontrar alguno, lo cual no descarta la posibilidad de desarrollar la misma.

Al este del área de estudio, se encontraron importantes cuerpos de serpentina, recurso que es comercializado como mármol verde y tiene una alta demanda, como producto de exportación. El recurso puede ser utilizado para la fabricación de piezas de artesanía, y como agregado en la fabricación de pisos.

### **1.3. Marco legal**

El marco legal proporciona las bases sobre las cuales el Ministerio de Energía y Minas construye y determina el alcance y naturaleza de la participación política en el país, en relación a temas mineros.

#### **1.3.1. Ley de minería**

Por tratarse el presente documento de un proyecto minero, la actividad es regida por la Ley de Minería según, Acuerdo Legislativo número 48-97, así como su Reglamento, Acuerdo Ministerial número 176-2001. La institución encargada de hacer cumplir la Ley es la Dirección General de Minería (en lo sucesivo se le denominará la Dirección), la cual pertenece al Ministerio de Energía y Minas. A continuación se mencionan los aspectos más importantes que se consideran, deben ser tomados en cuenta por el inversionista que desee desarrollar el proyecto.

La Constitución de la República establece que son bienes del Estado, todos los yacimientos que existan dentro del territorio de la república, su plataforma continental y su zona económica exclusiva. Su dominio sobre los mismos es inalienable e imprescriptible y gozan de las garantías y prerrogativas que corresponden a todos los bienes del Estado, lo cual es recalcado por la Ley de Minería en su artículo 8.

La ley en su artículo 7, establece que son de utilidad y necesidad pública el fomento y desarrollo de las operaciones mineras en el país, así como su explotación técnica y racional.

Un aspecto importante de resaltar es que el artículo 9 establece que el solicitante de un derecho minero puede ser toda persona individual o jurídica, nacional o extranjera y, que podrá ser titular de derecho minero, siempre y cuando cumpla con las disposiciones de la ley y su reglamento.

- Prohibiciones para adquirir derechos mineros Artículo 10

“Sin perjuicio de lo dispuesto en otras leyes, no podrán adquirir derecho minero alguno:

- Quienes ocupen cargos de elección popular, Ministros y Viceministros de Estado.
- Todos los funcionarios y empleados públicos, que directa o indirectamente deban intervenir, dictaminar o resolver en los expedientes mineros.



En el caso de las personas a que se refieren los incisos a) y b) de este artículo, estas prohibiciones durarán hasta un año después de la entrega del cargo, quedando excluidos los derechos mineros obtenidos con anterioridad a la fecha de toma de posesión del cargo y los adquiridos por herencia”.

- Estudio de impacto ambiental. Artículo 20

Se debe elaborar y presentar al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, un estudio de impacto ambiental para su evaluación y aprobación, el cual será requisito para el otorgamiento de la licencia respectiva. Este estudio deberá ser presentado a la Dirección General de Minería, debidamente aprobado, antes de iniciar las labores correspondientes.

- Licencias de explotación. Título I, Capítulo V

Artículo 27: “La licencia de explotación confiere al titular la facultad exclusiva de explotar los yacimientos para los cuales le haya sido otorgada, dentro de sus respectivos límites territoriales e ilimitadamente en la profundidad del subsuelo”.

- Forma de otorgamiento (artículo 28)

El Ministerio otorgará licencia de explotación, prórroga o cesión de la misma emitiendo para el efecto la resolución administrativa correspondiente.

Dicha licencia se otorgará hasta por un plazo de veinticinco años, el que podrá ser prorrogado a solicitud del titular hasta por un período igual. El plazo de la licencia de explotación se prorrogará sin más trámite si la solicitud de prórroga se presenta antes de su vencimiento.

- Determinación del área (artículo 29)

El área de explotación la constituirá un polígono cerrado no mayor de veinte kilómetros cuadrados delimitado por coordenadas UTM, en sus lados orientados en dirección norte-sur, este-oeste, o bien por límites internacionales o el litoral.

- Ampliación de los minerales (artículo 30)

Cuando se descubran minerales distintos de los autorizados en la licencia de explotación, el titular tendrá el derecho a la ampliación para que comprenda los nuevos minerales en forma inmediata. La solicitud de ampliación deberá ser acompañada de un dictamen emitido por profesional de la materia, colegiado activo, certificando la existencia de tales minerales.

- Obligaciones del titular (artículo 31)

El titular de la licencia de explotación está obligado a:

- Presentar previo a iniciar la explotación, una copia del estudio de impacto ambiental aprobado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Iniciar dentro del plazo de doce meses, contados a partir del día siguiente de la notificación de la resolución que otorga la licencia de explotación, trabajos tendientes a la explotación del yacimiento. No obstante, dicho plazo podrá ser ampliado cuando las características del proyecto lo requiera, o cuando por otras circunstancias se justifiquen.

- Explotar técnicamente el yacimiento.
- Pagar dentro del plazo fijado el canon de superficie y las regalías que correspondan.
- Compensar la totalidad de los daños y perjuicios que se causen a terceras personas en la realización de sus operaciones.
- Rendir informe anual por escrito a la Dirección del Ministerio de Energía y Minas, dentro de los tres meses siguientes a la finalización de cada año calendario, el cual debe contener:
  - Nombre y dirección para recibir notificaciones del titular del derecho minero.
  - Nombre de los productos mineros extraídos.
  - Peso o volumen de los productos mineros extraídos.
  - Nombre, peso o volumen de cada producto minero vendido localmente o exportado, indicando su comprador y precio de venta.
  - Resumen técnico de las operaciones mineras efectuadas.
  - Montos de las regalías y cánones pagados durante el período, anexando fotocopia simple de los comprobantes de pago.

- Inscribir el derecho minero en el Registro General de la Propiedad.
- Presentar dentro del plazo de seis meses, contados a partir de la fecha de notificación de la resolución de otorgamiento, fotocopia legalizada de la patente de comercio.
- Permitir el análisis de la documentación contable relacionada con el derecho minero del año calendario de que se trate, proporcionando las facilidades al auditor nombrado.
- Presentar en caso de suspensión temporal o definitiva de operaciones, informe y planos del estado en que quedan las obras mineras.
- Dar aviso a la Dirección del Ministerio de Energía y Minas del hallazgo de otros minerales aprovechables económicamente.
- Solicitudes de licencias de explotación
  - Requisitos de las solicitudes de derechos mineros (artículo 41)

Toda solicitud debe ser presentada ante la Dirección del Ministerio de Energía y Minas en original y una copia del memorial y sus anexos y deberá ajustarse a los requisitos generales siguientes:

- Nombres y apellidos completos del solicitante, edad, estado civil, profesión u oficio, nacionalidad, domicilio, número de cédula de vecindad o pasaporte y lugar que señala para

recibir citaciones y/o notificaciones, si se trata de persona individual.

- Si se trata de personas jurídicas, además de los datos establecidos en el inciso anterior, testimonio o copia legalizada de la escritura de constitución de la sociedad inscrita, en forma provisional o definitiva, en el Registro Mercantil General de la República. Para que se admita la solicitud a un derecho minero de una sociedad, las acciones de ésta, deben ser únicamente nominativas.
- Justificación de la personería, si se comparece por medio de mandatario o representante legal, debidamente razonado por los registros respectivos.
- Petición clara y precisa de la clase de derecho minero que se solicita.
- Declaración expresa de que no tiene prohibición alguna para ser titular de derecho minero.
- Nombre con el cual se designará el derecho minero, el cual deberá ser diferente del nombre de derechos mineros vigentes o solicitudes en trámite.
- Ubicación, descripción y extensión del área solicitada, acompañando original o fotocopia de la hoja cartográfica a escala conveniente, debidamente firmada por ingeniero

civil, ingeniero minero o geólogo con calidad de colegiado activo.

- Los productos mineros que se propone reconocer, explorar o explotar.
  - Plazo que se solicita para el derecho minero.
  - Descripción general del programa de trabajo a realizar, debidamente firmado por ingeniero civil o geólogo colegiado activo; quedando el titular obligado a darle cumplimiento o de notificar las modificaciones que sean técnicamente necesarias.
  - Lugar y fecha.
  - Firma legalizada del solicitante.
- Gestiones posteriores (artículo 42)

En las gestiones posteriores sobre el mismo asunto, no serán necesarios los datos de identificación personal del peticionario, pero sí deberá identificar el nombre y el número del expediente a que se refiera.

- Plazo para subsanar omisiones (artículo 43)

Cuando se presente una solicitud que no cumpla con los requisitos de esta Ley, se concederá al interesado un plazo de treinta días a partir de la notificación para que los subsane. En casos debidamente justificados la Dirección podrá conceder prórroga de tiempo igual a la primera. Si vencido el plazo sin que el interesado subsane omisiones que se señalen, la solicitud se rechazará y se procederá a su archivo.

- Regalías

Las regalías deberán ser pagadas por el titular de licencia de explotación a las siguientes entidades:

- El Estado: por la extracción de productos mineros.
- Las municipalidades: por la extracción de productos mineros dentro de su jurisdicción. En el caso de que la extracción se localice en más de una jurisdicción municipal, la regalía se repartirá entre las municipalidades correspondientes en proporción a los productos mineros extraídos en cada jurisdicción.
  - Determinación de regalías (artículo 62): las regalías se determinarán mediante declaración jurada del volumen del producto minero comercializado, con base en la tabla de precios publicada por el Ministerio de Energía y Minas.
  - Porcentaje de regalías (artículo 63): los porcentajes de las regalías a pagarse por la explotación de minerales serán

del medio por ciento al Estado y del medio por ciento a las municipalidades; y, quienes exploten los materiales a que se refiere el artículo cinco de esta ley, pagarán el uno por ciento a las municipalidades respectivas.

- Forma y plazo de pago (artículo 64): las regalías se liquidarán y pagarán anualmente dentro de los treinta días siguientes de finalizado cada año calendario, ante el Estado y la municipalidad respectiva.

- Cánones

Los titulares de derechos mineros pagarán, en lo que corresponda, los siguientes cánones:

- Canon de otorgamiento por derecho minero: se pagará en quetzales, en forma anticipada, en el momento de la notificación del otorgamiento del derecho minero, a razón de mil trescientos quetzales.
- Canon de superficie por licencia de explotación: se pagará anualmente, en forma anticipada, en el mes de enero de cada año calendario, a razón de doce unidades por kilómetro cuadrado o fracción. El pago del primer año se efectuará en el momento de la notificación del otorgamiento de la licencia y su monto se determinará proporcionalmente, tomando en consideración el tiempo que quede por transcurrir entre el momento de otorgamiento y el treinta y uno de diciembre del mismo año.



- Canon de cesión del derecho de la licencia de explotación: se pagará en quetzales, a razón de cinco unidades por kilómetro cuadrado o fracción, previo a la notificación de la resolución favorable de dicha cesión.

El valor de las unidades a las, que se hace referencia en la ley, tiene un valor base de cien quetzales (Q.100, 00), el cual es modificado de acuerdo a la tasa oficial del dólar en el momento del pago, con la tasa del dólar en 1997.

### **1.3.2. Legislación Nacional**

A continuación se menciona el cuerpo de leyes que regula las prácticas laborales, así como establece las conductas y acciones aceptables o rechazables de un individuo institución.

- Ley del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social ( IGGS )

Regula la actividad obrero-patronal desde el punto de vista de la seguridad social, especialmente en lo que concierne a atención médico-hospitalaria y la jubilación. Su sostenimiento es por medio de cuotas mensuales sobre el salario a obreros (4,83%), y patronos (10%).

- Código de Trabajo

El Código de Trabajo es el instrumento legal que regula las relaciones entre trabajadores y patronos y los derechos y obligaciones de cada uno en lo que compete a su relación laboral, así como las normas para resolver conflictos entre los mismos.

Tabla III. **Asuntos laborales durante el año**

Día de Asueto	Conmemoración
1 de Enero	Año Nuevo
Jueves Santo	Semana Mayor
Viernes Santo	Semana Mayor
1 de Mayo	Día del Trabajo
30 de Junio	Día de la Revolución Liberal
Variable: feriado	Día del santo patrono del lugar
15 de Septiembre	Día de la Independencia
20 de Octubre	Día de la Revolución de 1944
1 de Noviembre	Día de Todos los Santos
24 de Diciembre (medio día)	Navidad
25 de Diciembre	Navidad
31 de Diciembre (medio día)	Año Nuevo

Fuente: Código de Trabajo de Guatemala. Capítulo cuarto, artículo 127.

- **Políticas salariales y laborales**

La semana laboral es de 44 horas, en horario diurno; sin embargo, si el trabajo es nocturno, se deben trabajar únicamente 36 horas.

Todos los empleados tienen derecho a 15 días de vacaciones anuales remuneradas y las mujeres trabajadoras tienen 84 días de descanso por maternidad (pre y postparto).

Todos los empleados gozan de dos bonificaciones anuales, equivalentes a un mes de salario mensual, éstas son: aguinaldo (bono navideño) que debe ser pagado antes de la Navidad y la bonificación de medio año, bono 14 (pagable en el mes de julio).

El patrono debe pagar 10% al Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), 1% al Instituto de Recreación de los Trabajadores (IRTRA), y 1% al Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), calculado sobre el salario mensual.

Los empleados que son despedidos sin causa justificada, deben ser recompensados con un mes de salario por cada año laborado.

- Resumen de prestaciones laborales

El resumen de prestaciones laborales, expresado como porcentaje del salario es como sigue:

**Tabla IV. Prestaciones laborales**

PRESTACIÓN	DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE
Séptimo día	Un día por cada seis trabajados	16,67
Feridos laborales	once días al año	3,05
Vacaciones anuales	15 días hábiles (17 efectivos)	4,72
Aguinaldo navideño	Un salario completo anual	8,33
Bono 14	Un salario completo anual	8,33
IGSS	El patrono paga 10%	10
IRTRA	El patrono paga 1% mensual	1
INTECAP	El patrono paga 1% mensual	1
Despido injustificado	Un salario por año trabajado	8,33
Total		61,43

Fuente: [www.mintrabajo.gob.gt](http://www.mintrabajo.gob.gt). Consulta: 10 de mayo de 2011.

- Legislación relativa a impuestos

- Impuesto Sobre la Renta

Toda actividad económica que produzca ingresos, desarrollada en el territorio de la República está sujeta al pago de impuesto sobre la renta (ISR), ya sea de individuos o empresas, aunque no estén domiciliadas en Guatemala, pero que el hecho generador de su ingreso se desarrolle en el país.

El ISR para empresas es una tasa fija del 31%.

- Impuesto al valor agregado

Este impuesto, conocido como IVA, tiene un valor de 12 %, que se calcula sobre el saldo que resulta de restar las adquisiciones de la empresa a las ventas de la misma. El IVA se aplica también a las importaciones. Este impuesto es deducible del ISR.

- Impuesto del timbre

En los documentos legales y oficiales se requiere pegar timbres por un 3 % del valor del documento.

- Impuesto único sobre inmuebles

Los inmuebles (terrenos y edificios) están sujetos a un impuesto anual, dependiendo del valor del mismo, de la siguiente forma:

Tabla V. **Impuesto único sobre inmuebles**

<b>VALOR DEL INMUEBLE</b>	<b>IMPUESTO</b>
Hasta Q. 20000,00	2 por millar
De Q. 20000,00 en adelante	9 por millar

Fuente: [www.contraloría.gob.gt](http://www.contraloría.gob.gt). Consulta: 16 de abril 2011.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL DEL GRANATE EN GUATEMALA**

### **2.1. Geología regional**

El área de interés se encuentra ubicada dentro de una de las provincias fisiográficas de Guatemala; la cual es denominada: La cordillera central. Estructuralmente esta provincia es un arco con orientación este – oeste, convexo hacia el sur; formado principalmente de rocas cristalinas y sedimentarias paleozoicas y mesozoicas, extendiéndose desde Chiapas hasta el mar Caribe. La sección sur de la provincia está compuesta predominantemente de rocas metamórficas y plutónicas incluyendo esquistos, gneises, mármoles, serpentinitas y granitos, los cuales disminuyen hacia el norte al pasar las rocas cristalinas hacia la faja de sedimentos.

Estudios geológicos realizados en esta provincia, indican que las rocas paleozoicas expuestas forman parte del “Basamento Metamórfico Pre pérmico”; el cual es dividido en dos grupos:

- El grupo chuacús

Compuesto de rocas metasedimentarias en el cual se incluyen esquistos, gneises, anfibolitas y mármoles. Los sedimentos de los cuales el grupo Chuacús fue formado, fueron probablemente rocas del devoniano o del paleozoico inferior derivadas de un cuerpo precámbrico. La paragénesis mineral y la distribución del tamaño de granos indican que las rocas originales fueron predominantemente lodos con accesorios de arenas, margas y limos.

Se estableció una subdivisión zonal metamórfica para una sección típica ocurrente en la sierra de Chuacús por medio de índices minerales los que corresponden a la facie de esquistos verdes del tipo barrovian:

- Zona clorita – sericita
  - Zona biotita
  - Zona granate
- 
- El grupo chuacús oeste

Compuesto de rocas metaígneas con unidades ricas en moscovita en la parte más sureña del área y se gradúa hacia el norte con unidades de gneises. En el lado este predominan las rocas metavolcánicas, las que se incrementan hacia el oeste para formar la unidad metaígneas.

## **2.2. Geología local**

La región en la que se encuentra enmarcada el Área Especial de Interés Minero forma parte de la sierra de Chuacús, la cual está compuesta de cadenas montañosas, conteniendo principalmente una potente serie de rocas metamórficas de edad paleozoica. Estas rocas fueron plegadas y falladas durante la tectogénesis laramídica del paleoceno, ocurrentes en la Cordillera Central de Guatemala. Las rocas más comunes del área se resumen a continuación.

Particularmente, la sección de la sierra de Chuacús en la cual se ha desarrollado el estudio de prospección, refiere una proyección de 12 km y una amplitud de 8 km en forma lineal y con altitudes hasta de 2 500 msnm.



El área se caracteriza por una estructura posicionalmente normal y está constituida litológicamente por rocas metamórficas. La unidad ajena al grupo Chuacús que aflora en el área corresponde a la unidad de serpentinitas de edad desconocida, la cual subyace a una potente serie de rocas metasedimentarias denominadas esquistos El Chol; las que subyacen posicionalmente a la formación esquistos granatíferos Palibatz. En sí, son frecuentes las variaciones laterales culminando en la cima con una potente serie de gneises masivos.

En los flancos laterales se avizoran valles y sistemas de flujo donde se superpone, en la superficie del techo de algunas formaciones, una cubierta con características representativas del cuaternario (depósitos pomáceos eólicos y depósitos fluviales conformados por suelos y aluviones).

### **2.2.1. Estratigrafía**

Es el estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas, las cuales se analizan en los puntos siguientes.

Relaciones estratigráficas: en el área de estudio el límite inferior de la unidad de serpentinitas no aflora, sin embargo al sureste fuera del área, a inmediaciones de la cuenca del río Motagua sobreyace en forma discordante a un cinturón de basalto.

#### **2.2.1.1. Serpentinitas**

Distribución: se halla ampliamente distribuida, ocupando la mayor parte de la superficie de rocas aflorantes en el flanco noreste del área.

Litología: litológicamente pueden diferenciarse pequeñas laminaciones de antigorita, acompañados de óxido de hierro y a veces de residuos minerales originales. La roca es compacta, pero bastante blanda, de color verde con tonos variados oscuros y claros en manchas irregulares. En un sector más hacia el norte del área dentro de la misma secuencia a veces es porfídica, en ella se pueden apreciar los restos de antiguos fenocristales de olivino y piroxeno. Esta unidad representa una expresión topográfica relevante, en su mayoría la roca se encuentra cizallada y fracturada como resultado de la tectónica presente en el área, a excepción de algunos lugares al este, fuera del área especial de interés minero los afloramientos presentan poco fracturamiento y esa es la principal característica de su interés minero.

#### **2.2.1.2. Esquistos El chol**

Distribución: localmente la unidad de esquistos El Chol aparece a lo largo del noreste a sureste y paralelamente orientada a las estructuras orogénicas del sector, ejemplares exposiciones de esta unidad se localizan al sur del área.

Litología: como característica principal los esquistos El Chol, se presentan en forma de hojas con superficies ligeramente satinadas grises y café oscuro cuando están intemperizadas, localmente entramado de pequeñas micas grises producto de un metamorfismo débil. La combinación mineral típica en los esquistos del área de estudio corresponde a esquistos de biotita – moscovita – hornblendaepidota.

El tamaño del grano es generalmente, mediano variando en las aureolas de contacto donde se produce la recristalización y crecimiento, llegando a formar cristales de epidota de hasta 5 cm de largo.

Relaciones estratigráficas: en sí la litología se presenta esquistosa y una segregación en forma de capas, integrada por los minerales antes descritos. Esta unidad subyace en forma inferida a los esquistos granatíferos de Palibatz (miembro del grupo Chuacús y sobreyace por contacto fallado a la unidad de rocas serpentinitas).

#### **2.2.1.3. Esquistos granatíferos palibatz**

Distribución: localmente se distribuye ocupando un área de extensión apreciable aflorando en los flancos internos de la sierra, desde el este y coronando al norte donde se localiza la faceta final del proyecto.

Litología: la unidad de esquistos palibatz comprende la región de más alto metamorfismo. En este sector la distena representa un parámetro gradacional, indicando las altas presiones alcanzadas durante el metamorfismo. Por esta razón es que se encuentran esquistos moscovíticos con distena y gran cantidad de granates del tipo almandino y cuarcitas con distena.

Relaciones estratigráficas: en el área especial de interés minero la unidad esquistos palibatz es su parte inferior es concordante en algunas zonas de contacto y se infiera en otras, en la parte superior se manifiesta concordante con la unidad de gneises.

#### **2.2.1.4. Gneises**

Distribución: en el área aflora un cuerpo significativo de la unidad de gneises, situado en la periferia del eje central que se proyectó de noreste y sureste, desde la parte media de la sierra, hasta el límite norte superior del área donde sale en su máxima expresión de altitud.

Litología: el gneis en el área se caracteriza por franjas generalmente de tinte gris claro a gris oscuro impregnado de minerales ferromagnesianos (micas, anfíboles) alterado con franjas claras blancas de cuarzo y feldespatos, mostrando una estructura de lépido a nematoblástica en las franjas grises y granoblástica en franjas oscuras, en la base se disminuyen gradualmente en dirección hacia el techo, en la medida que se va incrementando el contenido de biotita.

#### **2.2.1.5. Aluviones**

Se presentan como una serie de depósitos formados por material suelto localizados principalmente en el lecho de los ríos y en las partes planas, como una serie de fragmentos de diversa granulometría correspondiente a la mayoría de rocas que afloran en los taludes adyacentes al flujo de las quebradas y ríos. Hacia el sureste dentro de la cuenca del río Saltán se aprecian zonas de embricamiento, donde el material ha rellenado una serie de paleocauces cuya dirección presenta un alejamiento paralelo al sistema fluvial actual.

#### **2.2.1.6. Depósitos pomáceos eólicos**

En la región se observan una serie de depósitos pomáceos eólicos, muy finos, débilmente consolidados, localizados en los flancos laterales, valles y sistemas de flujo donde se superponen en la superficie del techo de algunas formaciones una cubierta de espesor variable.

### **2.3. Descripción y ubicación de yacimientos**

Los yacimientos de granate en el área especial de interés minero, son de tipo metamórfico (regional) y corresponden a una serie de porfiroblastos con cristales granulométricamente heterogéneos, el cual es caracterizado en rocas metamórficas (esquistos y gneises moscovíticos). Se considera que estos bancos de porfiroblastos en el área de estudio ocurren en una matriz que contienen cristales mucho más pequeños y se cree que dichos cristales se han desarrollado en diferentes etapas del metamorfismo.

Los esquistos y gneises en esta área tienen un alto contenido de moscovita y gránate almandino. La composición química de las rocas y las condiciones de presión y temperatura durante la cristalización de los esquistos y gneises dieron las condiciones para la formación de este material, que por su contenido de sílice son ricos en cuarzo.

En términos generales los cuerpos de granate se presentan en forma diseminada dentro de la base litológica de los gneises masivos y se encuentra muy intemperizados en los esquistos moscovíticos.

Del trabajo realizado en el campo y de los análisis realizados en el laboratorio, se concluyó que sólo cuatro de los siete afloramientos reunían condiciones suficientes para considerarse un depósito explotable. A continuación se mencionan los yacimientos, ubicados en el área especial de interés minero, que presentan perspectivas tanto de granate del tipo almandino como evidencias de ilmenita (titanio), encontradas incrustadas dentro de una matriz de esquistos y gneises; además los resultados químicos en otras zonas indican la presencia de otros minerales de interés como distena y otros conformados por manganeso y cobre.

Tabla VI. **Datos de interés de los yacimientos explotables**

DATOS DE INTERÉS ZONA PALIBATZ	
Extensión superficial aproximada:	400 m <sup>2</sup>
Coordenadas UTM	
Norte	1 654 000
Este	744 503
Altura:	1 205 msnm
Litología:	Esquistos y gneises moscovíticos
Dirección y buzamiento foliación:	N 37 O / 61 SO

DATOS DE INTERÉS ZONA SUCHIPUP	
Extensión superficial aproximada:	400 m <sup>2</sup>
Coordenadas UTM	
Norte	1 654 000
Este	745 760
Altura:	1 225 msnm
Litología:	Esquistos y gneises moscovíticos
Dirección y buzamiento foliación:	N 35 O / 63 SO

DATOS DE INTERÉS ZONA DE MORITAS	
Extensión superficial aproximada:	225 m <sup>2</sup>
Coordenadas UTM	
Norte	1 656 453
Este	751 793
Altura:	1 386 msnm
Litología:	Gneises moscovíticos
Dirección y buzamiento foliación:	N 35 O / 64 SO

DATOS DE INTERÉS ZONA POZA DE SALTÁN	
Extensión superficial aproximada:	300 m <sup>2</sup>
Coordenadas UTM	
Norte	1 656 296
Este	751 772
Altura:	1 328 msnm
Litología:	Gneises moscovíticos
Dirección y buzamiento foliación:	N 33 O / 62 SO

Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

## 2.4. Propiedades del granate

La palabra granate proviene del latín *malum granatum* que significa granada (magnus). Cuando se dice granate, o como se decía hace tiempo granada, se refiere a una piedra rojo oscura, brillante y con tendencia al marrón o al púrpura. La mitología, la leyenda y los poderes ocultos del granate, como joya, se relaciona con la piedra de los nacidos en el mes de enero bajo el signo de Capricornio y con el significado de la fidelidad. Pero la realidad no es tan simple, desde el punto de vista químico, los granates se pueden considerar como silicatos que contienen calcio, aluminio, hierro y más raramente magnesio, manganeso y cromo, la fórmula general  $Y_3X_2(SiO_4)_3$ , donde Y es un metal bivalente (calcio, hierro en estado de oxidación +2, magnesio), y X uno trivalente (aluminio, hierro en el estado de oxidación +3 y cromo), con esta diversidad de composición química la naturaleza ofrece variedades mucho más raras y preciosas, como las de color rosa, naranja, marrón, amarilla e incluso de un brillante color verde amarillo o verde esmeralda; no faltando tampoco los ejemplares prácticamente incoloros. Por tanto, el granate no es un mineral, sino un término que comprende un complejo grupo de minerales.

También existen los falsos granates que se fabrican en vidrio con todos los colores poco frecuentes de este mineral. Para distinguir entre los diferentes granates (especialmente los rojos y los naranjas), los granates falsos y las numerosas piedras naturales que se le asemejan, es absolutamente imprescindible el refractómetro, la balanza para la determinación de pesos específicos, el polariscopio, el estereoscopio o al menos una buena lente de nueve o diez aumentos; para los apasionados de un cierto nivel, es necesario el espectroscopio para una mayor certeza.

La composición química de los granates es variable. Se forman amplias series isomorfas entre los elementos Mg, Fe, Ca, Al, Cr, V, Mn, Ti, Zr, etc. Según la cantidad dominante de los elementos, a continuación se mencionan algunas de las muchas especies de granates que se han encontrado en el mundo.

Tabla VII. **Variedades de granate según el elemento químico principal**

ELEMENTO QUÍMICO	NOMBRE	FÓRMULA QUÍMICA
<b>Al</b>	<b>Piropo</b>	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$
	<b>Grosularia</b>	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
	<b>Hessonita</b>	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
	<b>Demantoide</b>	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
	<b>Espesartina</b>	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$
	<b>Almandino</b>	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$
<b>Fe</b>	<b>Andradita</b>	$Ca_3Fe_2^{+3}(SiO_4)_3$
	<b>Majorita</b>	$Mg_3(Fe, Si)_2(SiO_4)_3$
	<b>Calderita</b>	$Mn_3Fe_2(SiO_4)_3$
	<b>Eskiagita</b>	$Fe_3^{+2}Fe_2^{+3}(SiO_4)_3$
<b>Cr</b>	<b>Uvarovita</b>	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$
	<b>Knorringita</b>	$(Ca, Mg)_3Cr_2(SiO_4)_3$
<b>V</b>	<b>Goldmanita</b>	$Ca_3V_2^{+3}(SiO_4)_3$
<b>Zr</b>	<b>Kimzeyita</b>	$Ca_3Zr_2(Al_2SiO_{12})$

Fuente: Departamento de Minería, Ministerio de Energía y Minas.

Los resultados obtenidos en el laboratorio, respecto al análisis de las muestras procedentes del área de estudio, revelaron que la variedad de granate que se encuentra en el área es almandino, por tal razón se tomará especial interés en la descripción de las propiedades físicas, químicas y cristalográficas de esta variedad de granate, y luego con el apoyo de esta información se recomendarán las aplicaciones artesanales y posibles usos industriales que pueda dársele.



### 2.4.1. Propiedades físicas

El almandino es el granate de mayor abundancia sobre la corteza terrestre y es un mineral típico de rocas metamórficas, se encuentra especialmente en esquistos y gneis micáceos acompañados de moscovita, cuarzo y en menor porcentaje de biotita y clorita.

Figura 4. **Gneis granítico ubicado en el río Saltán (Pachalum, Quiché)**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

Las propiedades físicas, por las cuales puede identificarse un mineral, son numerosas, y varían desde las simples y naturales, por ejemplo: la raya, hasta aquéllas que pueden ser descubiertas únicamente, por equipo sofisticado como el microscopio electrónico.

Tabla VIII. **Propiedades físicas del granate almandino**

Propiedad	Descripción
Raya	De color blanca y polvo de color blanco
Brillo	En general es opaco pero puede ser transparente con brillo adamantino
Dureza	de 6.5 a 7.5 en la escala de Mohs
Gravedad Específica	4,25
Exfoliación	Sin exfoliación aparente
Crucero	no posee crucero
Fractura	en astillas
Solubilidad	es insoluble en ácidos y agua
Fusión	Funde en un glóbulo magnético a 1050 grados centígrados.

Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, Ministerio de Energía y Minas.

#### 2.4.2. **Propiedades químicas**

El almandino es un granate formado por un silicato de aluminio y hierro, cuya fórmula química es  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , la cual para efectos de análisis químico puede expresarse como  $3(\text{FeO}).\text{Al}_2\text{O}_3.3(\text{SiO}_2)$ .

Tabla IX. **Composición química cuantitativa del granate almandino**

Composición	Porcentaje (%)
$\text{SiO}_2$	36,20%
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20,50%
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	43,30%

Fuente: Dirección General de Minería, Ministerio de Energía y Minas.

El almandino, con frecuencia, no se puede distinguir a simple vista del piropo, ya que tienen un gran parecido; sin embargo, al practicar un análisis

químico se encuentra que el almandino posee Fe y Al en los porcentajes descritos en la tabla X.

Tabla X. **Composición química cuantitativa del granate piropo**

Composición	Porcentaje (%)
SiO <sub>2</sub>	44,80%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,40%
MgO	29,80%

Fuente: Dirección General de Minería, Ministerio de Energía y Minas.

Si se analizan las fórmulas químicas del almandino y el piropo, ( $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  y  $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  respectivamente), se tiene que el tamaño atómico de sus componentes es muy parecido, es decir, sus aniones y cationes son muy semejantes en tamaño y presentan estructuras cristalinas semejantes, además, el hierro y el magnesio trabajan ambos con número de oxidación 2, estas propiedades químicas son las responsables de la facilidad de intercambio de los iones de Fe y Mg y de la formación de cristales mixtos de piropo almandino.

Por ser un silicato, es inerte a la gran mayoría de compuestos químicos, por tal razón en condiciones ambientales normales o extremas, no se descompone, sin embargo, puede ser atacado con ácido fluorhídrico. El almandino no es combustible, ya que no funde con la llama del mechero Bunsen, debido a que su punto de fusión es de 1 050 °C.

### **2.4.3. Cristalografía**

El sistema cristalino es cúbico o isométrico, y respecto a su hábito, los cristales se presentan como rombododecaédricos y trapezoedros perfectamente formados. El Color del granate común se presenta de color rojo pardusco, translúcido, sub-translúcido u opaco; el granate noble, se presenta en las variedades de color rojo oscuro y transparente.

Figura 5. **Cristal trapezoédrico de granate almandino**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

Refiriéndose a las características micrográficas, en secciones delgadas, los granates se observan como cristales redondeados atravesados por grietas ramificadas y sin exfoliación.

## **2.5. Clasificación del granate**

El granate se clasifica por factores tales como la apariencia, propiedades y colores distintos, como se observará en los incisos siguientes.

### **2.5.1. El Piropo**

Se trata de un silicato de magnesio y aluminio de color rojo intenso, a menudo con tendencias al marrón. El significado etimológico del término es de hecho el de ojo de fuego. Aunque transparente, al igual que todos los demás

granates más importantes, el piropo es a menudo muy oscuro para pretender ser una joya verdaderamente atractiva. Actualmente se extrae también en Sudáfrica (en las zonas diamantíferas), en Madagascar, en Tanzania, en Arizona y en Australia. Esto se refiere, naturalmente, para el material de interés gemológico, porque piropos y otros granates en cristales no transparentes abundan en las rocas metamórficas de medio mundo, incluso en dimensiones que pueden alcanzar las de un puño cerrado con una densidad de 3,65 a 3,80 y dureza media alrededor de 7,25, por lo que esta gema es válida para cualquier uso con fines abrasivos y gemológicos.

El piropo puro, en el que se respeta rigurosamente la composición expresada por su fórmula química, debería de ser incoloro, pero esto no sucede ya sea por la citada facilidad de combinación o por la ocasional presencia de óxido de cromo. Las piedras que más se asemejan al piropo son, además del almandino, el rubí en la variedad un poco oscura y la espinela roja, ambos muy apreciados. Para la distinción basta normalmente el refractómetro, pero en el caso de especies fuertemente cromíferas es preciso la determinación de la densidad y eventualmente también del espectro de absorción. Las imitaciones son frecuentes en el caso del almandino. También válido para ambas especies podrían ser los poderes mágicos que la tradición popular les ha atribuido, por ejemplo, infunden amor, pasión y hacen invulnerable a la persona que se adorna con ellos.

En Europa, los yacimientos más famosos se encuentran junto a Trebnice, en Bohemia, donde durante siglos se han obtenido los famosos rubíes o granates de bohemia, muy usados en la elaboración de las joyas. En Carolina del Norte, se encuentra una bella rodolita; en Arkansas, por el contrario, en las mismas localidades diamantíferas, se encuentran bellos gránulos de piropo

semejantes a los de Bohemia, también otros buenos ejemplares se encuentran en los yacimientos de diamantes de Sudáfrica.

En la cadena alpina, un yacimiento muy interesante está constituido por la roca peridotítica, en Suiza, en la cual se encuentran incluidas masas de este mineral de un bello color rojo rubí, pero sin forma. En España se encuentran yacimientos en la sierra de Segura (Jaén).

Sus usos son diversos, por ejemplo, para instrumentos de corte, pulido, perforación y gema semipreciosa.

Figura 6. **El piropo**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

### **2.5.2. El almandino o almandina**

Es el granate de mayor abundancia y con más usos en la industria de los abrasivos y las joyerías. El almandino, cuyo nombre se deriva de Alabanda, una antigua ciudad de Asia Menor, a menudo no se puede distinguir a simple vista del piropo, excepción hecha para los ejemplares que en vez de una cierta tendencia al marrón presentan una tonalidad dominante violeta púrpura.

Los yacimientos de almandino son numerosos y muy productivos. Los más importantes son los asiáticos y los africanos, también existe abundancia en Brasil. Es poco abundante la producción de República Checa y aún menor la de Austria. Es importante mencionar que el principal consumidor y exportador es Estados Unidos de Norte América.

Las piedras semejantes al almandino son el piropo, rubí muy oscuro, espinela rojo-marrón o rojo - violáceo (mucho menos valioso que el rojo intenso) y alguna turmalina de la variedad siberita.

Figura 7. **Granate almandino**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

### **2.5.3. Combinación piropo-almandino**

Entre los granates rojos que presentan valores de índice de refracción y de densidad intermedia entre los del piropo y del almandino, particularmente atractivo y de discreto valor es un material denominado rodolita. Esta es una combinación especial en la cual prevalece el piropo, presenta un índice de refracción superior a 1,75 pero inferior a 1,77, densidad 3,84 – 3,85.

Los yacimientos clásicos de la rodolita (almandino de alta pureza), más clara y brillante que el almandino común, eran los de Estados Unidos (Carolina del Norte) y de Srilanka (Ceilán), donde el material extraído se presenta en un bello color rojo-rosa con una tendencia al violeta. Otros yacimientos se han explotado muchos años después en África Oriental (Madagascar, Rhodesia, Tanzania y Zambia), pero los cristales de estas localidades muestran tonalidades distintas de los primeros, más intensas en el rojo y con alguna desviación al marrón. Los granates rojos más comunes presentan inclusiones de pequeños gránulos de circonio y diminutas acículas de rutilo. Otra rodolita procedente de numerosos yacimientos del Brasil, bastante semejante a la rodolita de Ceilán, es la turmalina ruhelita.

#### **2.5.4. La espesartina**

Se inicia con esta especie la serie de los granates que resultan prácticamente desconocidos al gran público, porque son raros y, por tanto, además de mayor valor, difícilmente encontrables en el mercado, por motivos evidentes no están amparados por leyendas ni pueden alardear de poderes sobrenaturales y ni siquiera se les considera válidos para falsificarlos o imitarlos. Estas gemas son de un brillante color naranja e incluso amarillo, con una ligera tonalidad rosa; la presencia de una cierta cantidad de almandino y, por tanto, de hierro en la combinación hacen más intensos los cristales, que aparecen entonces con un color rojo-aurora, rojo-marrón e incluso marrón completo. El nombre deriva de una localidad de Baviera, Spessart, pero los yacimientos más importantes están en Ceilán, Brasil, los Estados Unidos, Madagascar y Suecia.



Las inclusiones consisten en velos, que observados al microscopio se revelan que están formados por fases líquidas aplastadas, acompañadas o no por pequeñas burbujas de gas. Menos típicos son algunos cristales o inclusiones de tres fases que caracterizan la fluorita verde y la esmeralda colombiana. Semejantes a la espesartina pueden ser tanto los cuarzos calentados (falsos topacios) como los verdaderos topacios; es prácticamente idéntica a la hessonita una variedad del granate grosularia que se describirá en breve, pero la gran diferencia tanto de las inclusiones como de las constantes físicas, ayudan al experto a distinguir las dos piedras.

Para satisfacer a los apasionados hay existencia de rarísimos ejemplares, provenientes de Tanzania y Birmania septentrional, que tienen calidad de gema y muestran coloraciones verde-azuladas a la luz natural y rojo-púrpuras con la luz artificial (luz de tungsteno). Se usa como gema.

Figura 8. **La espesartina**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

### **2.5.5. La grusolaria**

A esta especie pertenecen numerosas variedades, unas más bellas que otras, transparentes, traslúcidas u opacas, y con una gama de colores difícilmente encontrados en otros granates. Se usa como gema.

Las gemas son amarillo-claro, amarillo-oro brillante o amarillo-verdoso e incluso incoloras (leucogranates) que se asemejan a cuarzos, berilos y topacios, pero muestran brillo y fuego más vivo. Los yacimientos se encuentran en África Oriental (en particular en Tanzania y en Kenya), Canadá y México.

- La hessonita

Es una bella variedad de color miel, amarillo-rosada, anaranjada aurora o naranja marrón claro (piedra canela de Ceylán). Excelentes cristalizaciones, brillantes y de bello color se encuentran en Italia, en las regiones de Piamonte y Liguria, pero no pueden utilizarse para la talla. Como ya se ha descrito, el mineral más parecido en el aspecto es la espesartita, pero las inclusiones de hessonita son completamente distintas (vértices y estrías como las imitaciones en vidrio, y granulosidad debida a cristales diminutos individualizados o reagrupados). Otra variedad semejante es el jacinto de circón. Se usa como gema.

Hacia finales de 1965 se descubrió en Pakistán, junto a una variedad masiva que ya se conocía desde hace tiempo, una grusolaria verde transparente, con tonalidades en amarillo o en los mejores casos semejantes a la esmeralda. El color se atribuyó al cromo (cromogrusolaria) y secundariamente a vestigios de vanadio. En el lugar de hallazgo los cristales se

denominaron tsavorita. Las inclusiones son velos de diminutas gotas líquidas aplanadas y en escamas de pequeños cristales. El material verde amarillento y verde claro se confunde un poco con el olivino, el granate demantoide y la turmalina, mientras que el verde intenso se asemeja mucho a la esmeralda, al granate uvarovita y a la cromoturmalina africana. La grosularia es efectivamente muy bella debido a su coloración y por su brillo intenso.

Figura 9. **La grosularia**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

### **2.5.6 La andradita**

De esta especie de granate en la que el metal bivalente es el calcio, mientras el aluminio deja su puesto al hierro trivalente, existen tres variedades: el melanito, la topazolita y el demantoide.

- El melanito

De color negro o marrón oscuro. Contiene titanio y se encuentra, sobre todo, en Francia; en los Alpes y en California. El material compacto servía, al igual que la turmalina negra, para confeccionar joyas de luto.

- La topazolita

Es una andradita de color amarillo-limón, que se encuentra casi siempre en cristales muy pequeños, por lo que es difícil que se utilice para la talla. Los pequeños cristales a disposición de los coleccionistas no son atractivos y proceden de la zona de los Alpes y de la ex Unión Soviética.

- El demantoide

Es el más bello y precioso de todos los granates. De color verde amarillento o verde prado e incluso verde esmeralda cuando están presentes trazas de cromo. La dureza no es excepcional (supera ligeramente el 6,5), la resistencia a los ácidos parece escasa, pero el índice de refracción está comprendido entre el 1,88 y el 1,89; la dispersión (0,057) supera sensiblemente al del diamante.

Si los cristales son limpios y de bella coloración, la talla como la de un brillante, su espesor y proporciones son las ideales respecto al índice de refracción, entonces las gemas que se obtienen son verdaderamente espléndidas, brillantes y dotadas de una gama de colores verdaderamente extraordinaria. Los ejemplares que respondan a todos estos requisitos y de peso superior a 4 ó 5 quilates (muy raros e incluso muy difícil de encontrar), valen varios miles de dólares por quilate.

Los motivos de tal precio son múltiples, entre otros los yacimientos se encuentran únicamente en los Alpes italianos (*Val Malenco*) y en los Urales, pero se duda que sean productivos. Se excluyen debido a los muy escasos hallazgos y la poca transparencia de los cristales; otras zonas son el valle

Zermatt y dos localidades del Congo. La escasez de cristales limpios y válidos para la talla (para lo cual no deben ser evidentes las inclusiones fibrosas de amianto), es tan baja que sólo se encuentran dos o tres ejemplares buenos sobre un millar.

Los cristales que presentan también, una buena coloración son todavía menos numerosos, las gemas que se han admirado de esta variedad son rusas, que, además de cromo, contienen también titanio (sí se trata de viejos ejemplares). Una gran parte de las piedras de la producción italiana, más bien escasa hasta hace algunos decenios, mostraba, por el contrario, un componente amarillo o bien marrón, a veces tan marcado hasta para hacer dudar si se puede hablar todavía de demantoides o se debe llamar a estos ejemplares demantoide – topazolitas, o simplemente andraditas. Con esto no se desprecia a los demantoides italianos, pero se debe reconocer la absoluta superioridad, sobre todo a la luz artificial de las gemas rusas de vieja producción.

Se dice que los más bellos demantoides se asemejan a las esmeraldas (y tanto más cuanto más cromíferas y cuanto más rojas aparecen al filtro Chelsea), pero en realidad ninguno de los granates verdes (ni siquiera la tsavolita o la uvarovita) pueden engañar fácilmente al ojo de un experto. De hecho muestran junto al verde una tonalidad azul como la de la esmeralda y un ligero componente amarillo, y esto se verifica también en las gemas de color intenso. Otras especies semejantes al demantoide son la titanita (por su intenso fuego), el olivino (por su coloración) y un poco la turmalina verde amarilla.

Figura 10. **La andradita**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

### **2.5.7. La uvarovita**

También llamada el granate de los Urales, en esta variedad el calcio sigue siendo ion bivalente, y el cromo el trivalente. El color verde es quizá el más bello y el más parecido al de la esmeralda. La dureza es de 7,5, y la densidad, de 3,77; el índice de refracción puede variar entre 1,86 y 1,87. Tales valores, junto a su magnífica coloración, harían de la uvarovita un elemento muy válido para utilizarse como gema, si no porque los cristales son muy pequeños o muy opacos.

El nombre de este único granate de cromo procede de un estadista ruso, y el material para ser tallado se encuentra únicamente en la ex Unión Soviética (Urales). El segundo yacimiento en orden de importancia se encuentra en Finlandia, pero también aquí se encuentra en cristales minúsculos, presentándose pocas porciones limpias de gruesos cristales opacos y de tinta oscura. También en Polonia, India, Estados Unidos y Canadá se dispone de este material, aunque en pequeña cantidad. Semejantes a los pequeños cristales de uvarovita son la esmeralda y las piedras verdes como la cromograsularia y el demantoide.

Debido a la gran variedad química de la familia de los granates, muy frecuentes son los cristales mixtos, es decir, los que son intermedios para la composición de dos o más especies; por ejemplo, puede tenerse un cristal mixto de almandino  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  y piropo  $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ ; la combinación de estas especies se debe principalmente a la facilidad de intercambio de los iones de Fe y Mg, sus fórmulas químicas parecidas, sus cationes y aniones tienen respectivamente iguales tamaños relativos, presentan también estructuras cristalinas relacionadas entre sí. Estos compuestos forman sustancias isomorfas, es decir, que presentan estructuras internas similares, dichas sustancias cristalizan con formas externas parecidas y muestran la misma exfoliación.

Figura 11. **La uvarovita**



Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, del Ministerio de Energía y Minas.

## **2.6. Resultados**

Parte fundamental de un proyecto minero es conocer las características físicas, químicas y mineralógicas, puesto que a partir de las mismas se puede establecer cual es la aplicación en la que se podrá utilizar el recurso a aprovechar.

### **2.6.1. Técnicas para la caracterización fisicoquímica y mineralógica**

A continuación se listan las técnicas más usuales para caracterizar minerales o rocas.

- Observación macroscópica
- Análisis mineralógico
- Análisis químico cualitativo y cuantitativo por fluorescencia de rayos X
- Solubilidad en agua y ácido
- Reactividad
- Inflamabilidad
- Peso específico
- Dureza
- Raya

A continuación se detalla en que consiste cada una de estas pruebas y se comenta en los casos que corresponda, los resultados generales que se obtuvieron en las pruebas realizadas a las muestras recolectadas en el área de estudio.

#### **2.6.1.1. Observación macroscópica**

Esta prueba consiste en observar la muestra sin lentes de aumento, es decir, observarla a simple vista. El material se observa principalmente de tres formas, una laminada o esquistosa con incrustaciones de granates, bastante frágil y con intemperismo predominante en la roca encajante formada principalmente por moscovita de color dorado.



En la segunda forma se observa una consistencia más compacta, es decir se refiere a un gneis conformado principalmente por moscovita y un bajo porcentaje observado de cuarzo y feldespato en la roca encajante, con incrustaciones de granate y muy poco intemperismo en la roca encajante. En la tercera forma se observa una consistencia compacta, se refiere a un gneis, conformado principalmente por biotita, ausencia de granate y un porcentaje observado bajo de cuarzo y feldespato.

Cuatro de las cinco zonas de granate presentan variaciones de tamaño desde 2 mm hasta 10 mm. En la zona de Palibatz se confirmó la presencia de los granates más grandes, que miden desde 3 mm hasta 38,5 mm de diámetro.

#### **2.6.1.2. Análisis mineralógico**

Éste se realiza utilizando un estereoscopio y un microscopio petrográfico con luz transmitida y luz reflejada.

Con respecto a los granates, se observa un sistema cristalino cúbico o isométrico. El hábito de los cristales se presenta rombododecaédrico y trapezoédrico perfectamente formado.

El granate se presenta de color rojo pardusco, translúcido en pequeñas secciones pulidas y granulometrías finas menor a la malla 60, subtranslúcido u opaco en otras y en muestras de buena pureza química y con presencia de fracturas. Se observan varias tonalidades con colores que varían de rojo oscuro y vino tinto hasta rojo intenso traslúcido.

Refiriéndose a las características micrográficas, en secciones delgadas, los granates se observan como cristales redondeados atravesados por grietas ramificadas y sin exfoliación.

La moscovita presenta un sistema cristalino monoclinico y aspecto de laminillas con el contorno hexagonal o triangular. Cambia a color celeste, amarillo y verde pálido a transparente y viceversa, al rotar la platina del microscopio petrográfico.

El cuarzo se observó con forma cristalina hexagonal, fractura concoidea, brillo vítreo, incoloro y transparente, no cambia de tonalidad al rotar la platina del microscopio petrográfico.

#### **2.6.1.3. Análisis químico cualitativo**

Esta técnica analítica se realiza en una cámara al vacío donde se coloca la muestra y luego es bombardeada por rayos X. Al impactar los rayos X sobre la muestra, ésta absorbe una cantidad y rebota otra provocando un índice de fluorescencia el cual es captado por un detector calibrado, de tal manera que existe un espectro registrado para cada uno de los elementos de la tabla periódica.

#### **2.6.1.4. Solubilidad en agua y ácido**

Para este ensayo se trata de disolver la muestra tanto de granate como de mica y cuarzo en diferentes soluciones de ácido sulfúrico y agua a temperatura ambiente. Debido a que éstos son compuestos de sílice, no se disolvieron. A 25 °C los silicatos únicamente se disuelven en ácido fluorhídrico.

### **2.6.1.5. Reactividad**

La reactividad se refiere a la inestabilidad o facilidad de reaccionar de los compuestos y/o sustancias. Normalmente los minerales conformados por silicatos son estables a temperatura y presión ambiente, de tal manera que no reaccionan con facilidad con otras moléculas. Parte del material mineral se almacenó por dos años, tiempo durante el cual se tuvo en observación bajo condiciones variantes de temperatura y humedad. Debido a que los compuestos de silicatos, como el granate, son muy estables no se requirió hacer la prueba de calorimetría diferencial de barrido o calorimetría de reacción para determinar su reactividad.

### **2.6.1.6. Inflamabilidad**

Se refiere a la capacidad de combustión que poseen los materiales. Tanto el granate como la moscovita, la biotita y cuarzo no son inflamables y poseen puntos de fusión sobre los 800 °C (por ejemplo el granate funde a 1 050 °C y el cuarzo funde a 1 710 °C).

Por punto de fusión o fusibilidad se entiende la mayor o menor facilidad que posee un mineral para alcanzar la fusión o estado de libertad de las partículas de sus posiciones en la red. La fusión es una rotura del orden reticular, es decir, la temperatura a la que fundirá un mineral dependerá directamente de la energía reticular del sólido.

Según la escala de fusibilidad de Kobell, el granate es infusible a la llama del mechero Bunsen, pero fácilmente fusible utilizando el soplete; el cuarzo es infusible tanto a la llama del mechero Bunsen como a la llama del soplete.

#### **2.6.1.7. Peso específico**

La densidad absoluta o peso específico cuando se expresa con relación a la densidad del agua, es la masa de un mineral correspondiente a la unidad de volumen. El peso específico es una constante para cada compuesto homogéneo y puro. Esta variable se determina por el principio de Arquímedes: se pesa el mineral en el aire y luego se pesa dentro del agua, con estas dos mediciones se obtiene la fuerza de empuje, la cual es igual al peso del volumen de agua desplazado; haciendo el cociente del peso del mineral en el aire dentro del diferencial de peso en el aire menos peso en el agua del mineral y multiplicando el resultado de este cociente por la densidad del agua a la temperatura que se realizó la medición, se obtiene el peso específico del mineral. Las mediciones se realizan en una balanza especial.

#### **2.6.1.8. Dureza**

La dureza se define como la resistencia que opone un cristal, según sus caras y dirección, al deterioro mecánico de su superficie. Esta lesión mecánica puede ser ocasionada por cualquier método dinámico: rayado, pulido, corte y perforación. Especial importancia tiene la prueba de rayado, y define a la dureza como a la resistencia que opone un cristal a ser rayado.

#### **2.6.1.9. Raya**

En mineralogía se le llama raya al mineral que se pulveriza al rozarlo sobre una placa de porcelana sin barnizar, es decir, al color de la marca o polvo que éste deja al ser frotado sobre otro material más duro.

### **3. PROPUESTA PARA EL PROCESO DE MINADO DE MÍNIMO IMPACTO**

#### **3.1. Estudio de minado**

Luego de realizar el estudio de granate, es necesario realizar este estudio minero, el cual es determinante para previa localización y posterior extracción del mineral de interés.

##### **3.1.1. Generalidades**

Usualmente cuando se hace un estudio de minado lo que se desea es la extracción de los recursos minerales de la corteza terrestre. Estos recursos se encuentra en lo que en minería se denominan vetas, que son concentraciones de un mineral objetivo y las cuales contienen cantidades comercialmente explotables, las que pueden ser cuantificadas.

El descubrimiento y estudio de depósitos de ciertos minerales se lleva a cabo a través de exploraciones e investigaciones de campo; cuando el mineral ha sido encontrado, se estudia para determinar si puede ser comercialmente explotable y de ser así, el depósito mineral puede ser extraído a través de una variedad de métodos de minado.

Entre los posibles métodos de extracción de los minerales se puede mencionar: el minado superficial y el minado subterráneo. Justo como el nombre sugiere, el minado superficial es el proceso para la extracción de minerales a través de excavaciones en la superficie de la tierra. Uno de los

factores que a incrementado la popularidad de este método es el rápido desarrollo de varios tipos de vehículos y maquinaria de carga pesada, así como la implementación de equipo auxiliar.

Todo esto ha proporcionado al minado superficial primeramente, un alto nivel de seguridad al trabajador; y segundo, es mucho más efectivo con respecto a costos, comparándolo con otros métodos.

El minado subterráneo involucra la perforación de amplios túneles en la tierra (éstos pueden ser horizontales o verticales), para transportar al personal y la maquinaria necesaria al lugar en donde se encuentra el mineral deseado.

El objetivo del minado subterráneo es explotar la veta, la cual se encuentra bajo la superficie de la tierra, a través de métodos seguros, económicos y con la menor contaminación posible.

Aunque el minado superficial y subterráneo son las técnicas más comunes, probablemente el método de minado menos conocido por el público en general sea el minado in situ.

Básicamente el proceso involucra la perforación de pequeños hoyos o agujeros en el lugar de interés, para luego utilizar solventes químicos en el agua para diluir el mineral deseado a un estado líquido. El líquido resultante es bombeado hacia la superficie, donde el mineral o el metal es tomado de la solución para luego ser precipitado.

### **3.2. Descripción de los frentes de minado**

En los incisos siguientes, se muestran y describen las zonas de interés minero, así como sus características y ubicaciones, donde se encuentra presencia del mineral granate, en su diversidad de presentaciones.

#### **3.2.1. Zona de Palibatz**

Esta sección de interés minero ocurre en una zona metamórfica de granate y presenta una asociación mineral típica de granate, distena, moscovita y hornblenda. Los tipos de roca incluyen esquistos de granate moscovita, gneises granatíferos, anfibolitas granatíferas y cuarcitas disténicas; y en algunos casos el gneis es considerable.

La zona de interés minero de Palibatz, se encuentra ubicada al noroeste de la comunidad denominada con el mismo nombre como a 1,5 km. El punto de extracción se encuentra ubicado en la quebrada el Tanilar en un rango de 400 m<sup>2</sup> aproximados.

#### **3.2.2. Zona de Suchipup**

Esta sección de interés minero ocurre también dentro de la misma zona metamórfica de granate, presentando la asociación mineral de granate, distena, moscovita y hornblenda.

La zona de interés minero quebrada Suchipup se encuentra ubicada al sureste de la comunidad denominada Palibatz como a 1,5 Km. El punto de extracción se encuentra ubicado a lo largo de la quebrada Suchipup en un rango 400 m<sup>2</sup> aproximadamente.

### **3.2.3. Zona de moritas y poza de Saltán**

Esta sección está compuesta por tres zonas de interés minero, las cuales relativamente cuentan con las mismas características. Iniciando la sección en el extremo sur se localiza la zona de interés minero de poza de Saltán, con una serie de gneises masivos y compactos con intercalaciones de gneises granatíferos, decreciendo hacia el norte con series de esquistos. En la parte un poco más céntrica de esta sección se encuentra la zona de interés minero de Moritas, la cual consta de esquistos granatíferos y gneises intercaladas; y en ciertas áreas se pueden observar intrusiones de pegmatita.

Las dos zonas de interés se ubican en la sección noreste del proyecto, con una orientación lineal hacia el norte. Los puntos de extracción de las zonas en cuestión, se encuentran cerca de las comunidades y lugares denominadas con los mismos nombres (Moritas y Poza de Saltán) como a un kilómetro de separación entre cada uno de los puntos de interés.

Con respecto a la topografía de los frentes de minado, se hace notar que todas las zonas de interés minero se encuentran dentro de una sección montañosa con una variedad de accidentes geográficos como cuencas fluviales (ojos de agua, quebradas, ríos), valles, colinas, cerros y pendientes; por supuesto sin dejar a un lado la complejidad del relieve.

### **3.3. Descripción del proceso de minado**

Tomando en cuenta los métodos antes mencionados es preciso hacer notar que el método que más se aplica para la extracción del recurso mineral, el cual en este caso es el granate, es el minado superficial. La razón primordial



para usar este método de minado es que la roca de la cual se extraerá el granate se encuentra expuesta en la superficie de la tierra, por lo que no es necesario hacer túneles o usar químicos para extraer el recurso deseado.

### **3.3.1. Proceso de extracción (método actual)**

El proceso de extracción que se utiliza actualmente para el minado superficial a menor escala consiste en la fractura de la roca por medio de una almádana es importante mencionar que este método requiere de mucho tiempo, ya que el material posee gran tenacidad.

Para la perforación, fractura y separación de la roca únicamente se utiliza cincel, martillo, barreta y almádana.

La secuencia se puede apreciar en la siguiente serie de fotografías; ver figuras 12, 13 y 14.

- Paso 1: se utiliza la almádana para impactar la roca y realizar la perforación, este método requiere de mucho tiempo y mayor cuidado para no dañar la materia prima.

**Figura 12. Perforación de roca con almádana**



Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

- Paso 2: se colocan dos cuñas y en medio una tercera para iniciar a fracturar la roca.

**Figura 13. Fracturación de roca**



Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

- Paso 3: la tercera cuña es golpeada por una almádana, con el objetivo de fracturar la roca. Si es necesario, se hacen varios agujeros y se repite el procedimiento hasta fracturar la roca y obtener un bloque de la misma.

**Figura 14. Fracturación de roca con almádana**



Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

- Paso 4: se extraen las cuñas y si el bloque no se ha separado, se hace palanca con una barreta para separar el mismo.

Figura 15. **Separación de rocas con barreta**

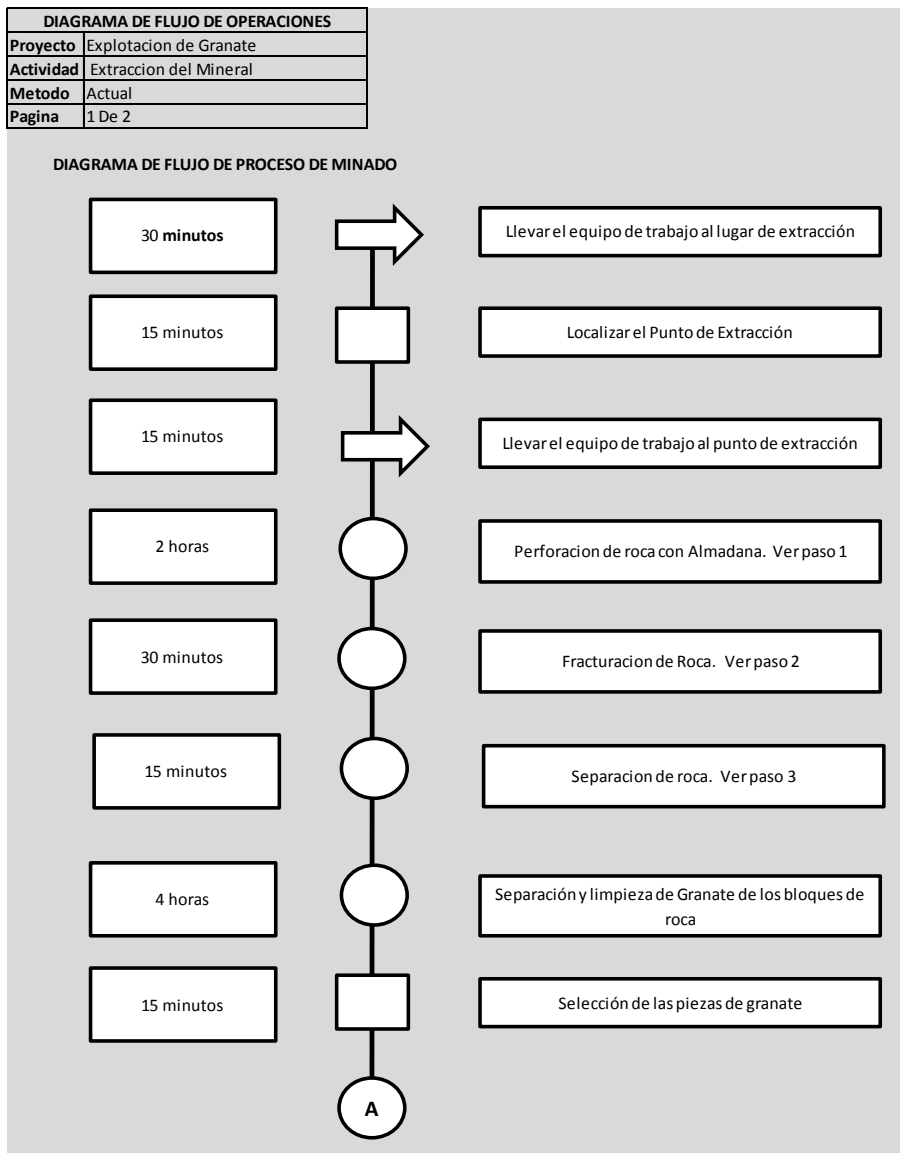


Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

### 3.3.2. Diagrama de flujo de proceso actual

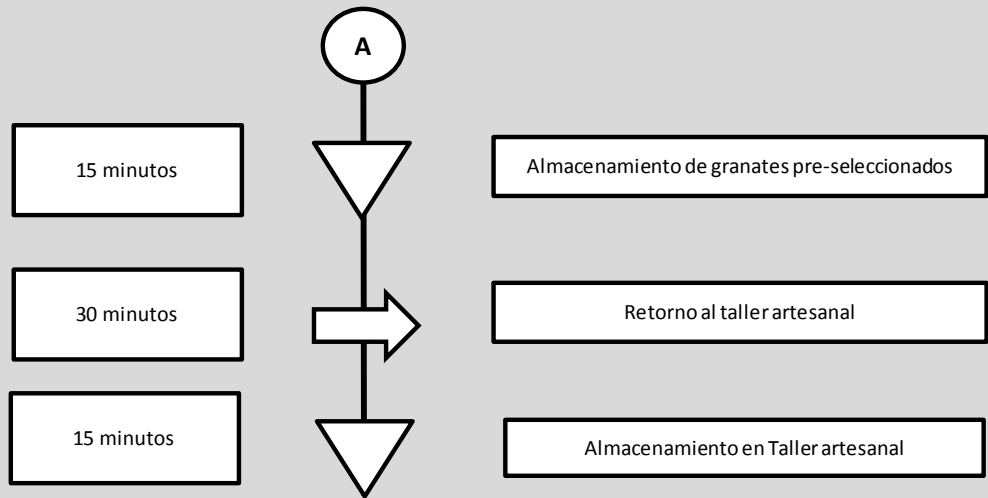
Se muestra el análisis de tiempos según operaciones en la figura 16.

Figura 16. Diagrama de flujo de proceso de minado (método actual)



Continuación de la figura 16.

DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES	
Proyecto	Explotacion de Granate
Actividad	Extraccion del Mineral
Metodo	Actual
Página	2 De 2



RESUMEN DIAGRAMA DE FLUJO

Actividad	Cantidad	Tiempo (min)
	3	75.00
	2	30.00
	4	425.00
	2	30.00
TOTAL	11	560.00

Fuente: Departamento de Desarrollo Minero, Ministerio de Energía y Minas.

### 3.3.3. Proceso de extracción (método propuesto)

El proceso propuesto contempla disminución de tiempo y mínimo impacto en la extracción del material, consiste en colocar un taladro en la orilla o canto de la roca, se perforan una serie de agujeros en forma paralela, se insertan un par de cuñas en cada agujero perforado para ser separadas por una cuña extra, la cual es insertada a base de golpes proporcionados con una almádana. Es necesario utilizar una barreta para ejercer palanca y provocar la separación de un bloque del masivo cuerpo rocoso. De esta manera se procede con cada agujero, con el propósito de quebrar o fracturar la roca.

La secuencia propuesta se puede apreciar en la siguiente serie de fotografías:

- Paso 1: colocar el taladro en la roca seleccionada y proceder a perforar y fracturar la roca, se optimiza con respecto al método actual al utilizar el taladro se ejecutan las dos operaciones simultaneas.

Figura 17. **Perforación de roca con taladro**



Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

- Paso 2: al terminar de perforar y fracturar la roca con el taladro, proceder a la separación de las rocas con barreta realizando mínimo esfuerzo y sin dañar el material con respecto al método anterior.

Figura 18. **Separación de rocas con barreta**

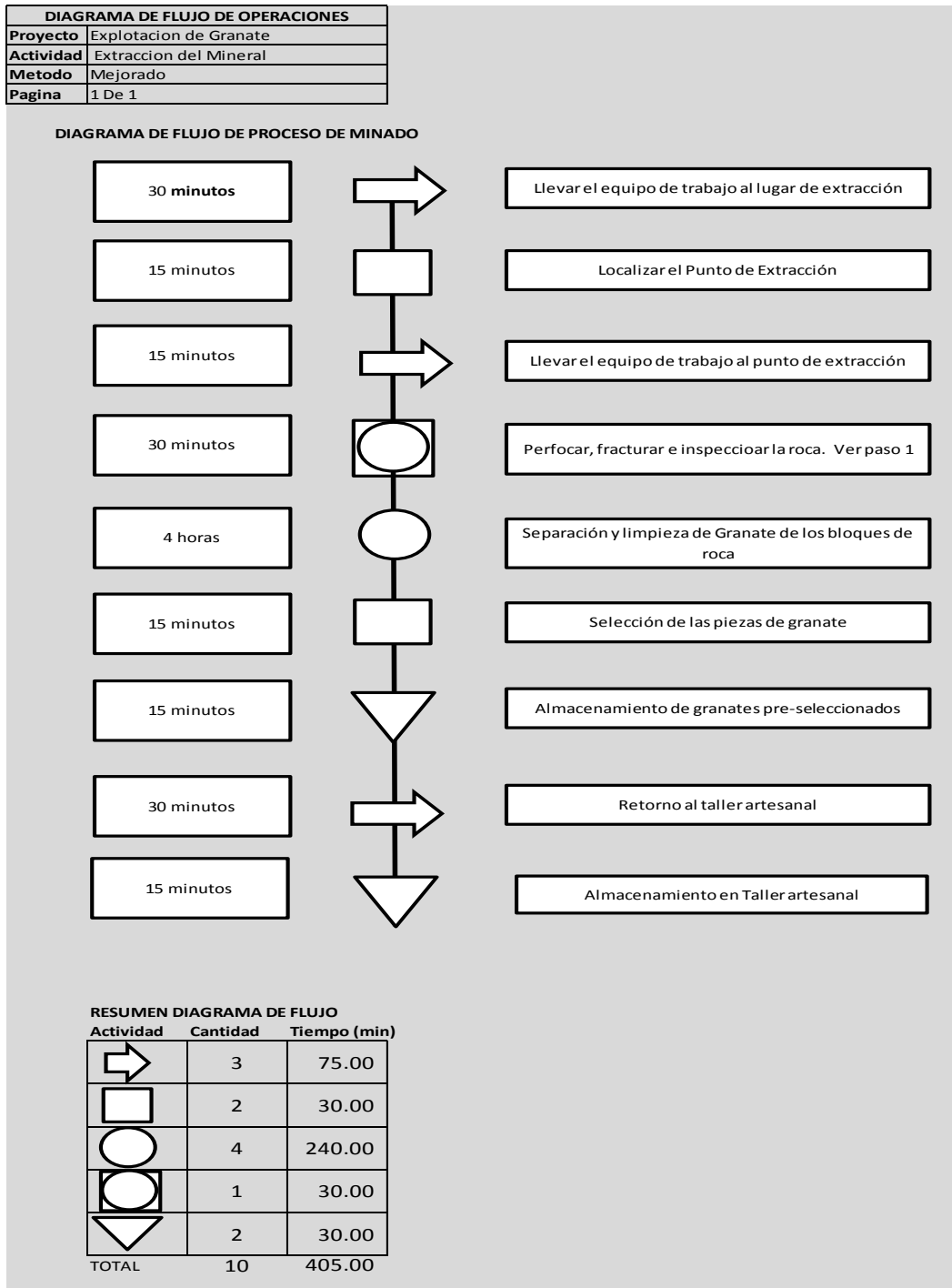


Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

#### **3.3.4. Diagrama de flujo de proceso**

Se muestra en la figura 19, el análisis de tiempos y movimientos por medio del diagrama de flujo del proceso de minado propuesto, con la finalidad de reducir tiempos y operaciones innecesarias.

Figura 19. Diagrama de flujo de proceso de minado (propuesto)



Fuente: elaboración propia.



### 3.3.5. Cursograma del proceso de extracción propuesto

En la figura 20, se muestran las observaciones por operación, así como las distancias a recorrer por cada transporte.

Figura 20. Cursograma del proceso de extracción

Detalles del Método	Actividades					Tiempo	Distancia	Observaciones
	○	⇒	□	D	▽			
Llevar el equipo de trabajo al lugar de extracción.		X				30 min.	15 Km.	La distancia y el tiempo puede variar dependiendo del lugar de extracción
Localizar el punto de extracción			X			15 min.		
Llevar el equipo de trabajo al punto de extracción		X				15 min.		
Perforar o barrenar agujeros con el taladro	X					1 hr.		Los agujeros se perforaran en la orilla o canto de la roca
Colocar cuñas	X					20 min.		
Quebrar con una almadana un bloque de la roca	X					40 min.		En alguna ocasión se tendra que utilizar una barreta de acero o hierro
Separación y limpieza de granates extraídos de la roca	X					4 hr.		
Selección de piezas de gránate.			X			15 min.		La selección se basará en el tamaño y calidad del granate
Almacenamiento de los granates preseleccionados					X	15 min.		Se almacenaran en bolsas etiquetadas
Retorno a taller artesanal		X				30 min.	15 Km.	La distancia y el tiempo puede variar dependiendo del lugar de extracción
Almacenamiento de los granates en el taller artesanal					X			
<b>Totales</b>						<b>8 hrs</b>	<b>30 Km.</b>	

Fuente: elaboración propia, con base en el método propuesto.

### **3.4. Descripción de maquinaria**

Durante el análisis del estudio de minado, es importante considerar la maquinaria necesaria para efectuar las pruebas correspondientes, así como sus requerimientos mínimos, para mejores y rápidos resultados.

#### **3.4.1. Equipo**

A continuación se lista la maquinaria necesaria para los trabajos de minería.

##### **3.4.1.1. Martillo perforador**

También llamado taladro neumático, de percusión portable accionado por aire comprimido. Se utiliza para perforar roca, entre otros usos.

Las características básicas que debe tener esta máquina, son las siguientes:

- Potencia absorbida de 1500 Watts
- Revoluciones por minuto de 250
- Capacidad de broca en concreto de dos pulgadas (2")
- Peso aproximado de 25 libras

Figura 21. **Martillo perforador**



Fuente: <http://www.opein.com/despues/imagenes>. Consulta: 05 de febrero de 2011.

### 3.4.1.2. **Generador eléctrico**

Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Aunque la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadas para obtener una corriente continua.

Las características básicas que debe de tener esta máquina, son las siguientes:

- 4 – 14 H.P.
- Motor de 4 tiempos
- 120 – 420 centímetros cúbicos
- 2.8 - 4.5 KW. de salida
- Tanque con capacidad de 2.8 - 3.9 litros

Figura 22. **Generador eléctrico**



Fuente: <http://safe-img03.mundoanuncio.bo/ui/14/11/68>. Consulta: 03 de marzo de 2011.

### **3.4.2. Herramienta**

Es de suma importancia contar con la herramienta adecuada durante este proceso, debido a que los tipos de terreno en análisis pueden variar en cuanto a su composición y dureza, lo cual demanda disponer de material de apoyo especial.

#### **3.4.2.1. Almádana**

Es una herramienta (martillo) que consta de dos partes. Una gran cabeza metálica, puesta en el extremo de un palo de madera que se usa como mango. Suele usarse para romper piedras.

Figura 23. **Almádana**



Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons>. Consulta: 03 de marzo de 2011.

#### **3.4.2.2. Macho (martillo)**

Es una herramienta que se utiliza para golpear y posiblemente sea una de las más antiguas que existen. Actualmente han evolucionado bastante y existen muchos tipos y tamaños de martillos diferentes. Para grandes esfuerzos existen martillos neumáticos y martillos hidráulicos, que se utiliza en minería y en la construcción básicamente.

Entre los martillos manuales cabe destacar, martillo de ebanista, martillo de carpintero, maceta de albañil, martillo de carrocero y martillo de bola de mecánico. Asimismo es importante la gama de martillos no férricos que existen, con bocas de nailon, plástico, goma o madera y que son utilizados para dar golpes blandos donde no se pueda deteriorar la pieza que se está ajustando.

Figura 24. **Distintas modalidades de martillos**



Fuente: <http://www.elchapista.com/images/no-hotlinking.jpe>. Consulta: 03 de Marzo de 2011.

### **3.4.2.3. Broca**

Pieza metálica de corte utilizada mediante una herramienta mecánica llamada taladro, berbiquí u otra máquina afín, que haciendo girar la broca es normalmente empleada para crear orificios o agujeros en diversos materiales. La gran diversidad de brocas, como la gran cantidad de industrias que emplean este tipo de piezas, hace que existan brocas específicas para usos específicos, como los hay específicos para el área de minería.

- Características básicas:
  - Diámetros: 42 mm, 51 mm, 76 mm hasta 130 mm
  - Roscas: R25, R32, R38, R51

- Formas de las puntas: cruz, curva, puntas
- Material de las puntas: acero (HRC 58) y/o metal duro

Figura 25. **Variedad de brocas y estilos según aplicación**



Fuente: <http://www.luqueygarcia.es/aghasa/aghasa17.jpg>. Consulta 03 de marzo de 2011.

#### 3.4.2.4. Punta

Es una herramienta manual de acero templado que tiene la forma de una varilla redonda delgada y una punta muy afilada.

Esta herramienta se utiliza básicamente para el trazado y marcado de líneas de referencias, tales como: ejes de simetría, centros de taladros, o excesos de material en las piezas que hay que mecanizar, porque deja una huella imborrable durante el proceso de mecanizado. Es una especie de lápiz capaz de rayar los metales.

Figura 26. **Muestra de punta**



Fuente: [www.curpae.com/puntas01.jpg](http://www.curpae.com/puntas01.jpg). Consulta: 03 de Marzo de 2011.

#### **3.4.2.5. Cincel**

Es una herramienta manual de corte diseñada para cortar, ranurar o desbastar material en frío mediante el golpeo que se da con un martillo adecuado. Las deficiencias que pueden presentar estas herramientas es que el filo de corte se puede deteriorar con facilidad, por lo que es necesario un reafilado. Si se utilizan de forma continua hay que poner una protección anular, para proteger la mano que las sujeta cuando se golpea.

Figura 27. **Variedad de cinceles**



Fuente: [www.steritool.com/images/product/chisel.jpg](http://www.steritool.com/images/product/chisel.jpg). Consulta 03 de marzo de 2011.

#### **3.4.2.6. Barreta**

Barra de hierro cilíndrica o prismática, de uno a dos metros de largo, terminada por un extremo en punta y por el otro en una especie de paleta, cuyo fin es reducir el esfuerzo con el brazo de palanca de la misma. Las barretas deben ser rectas y de resistencia adecuada.

Al hacer brazo de palanca con la barreta, el trabajador deberá situarse al costado de la barreta, haciendo presión sobre la misma. No se debe sentar sobre la barreta para lograr mayor fuerza, ni hacer esfuerzo tirando de ella hacia el cuerpo de uno.

Figura 28. **Barreta de punta**



Fuente: [www.elroblesrl.com/images/Barreta1.gif](http://www.elroblesrl.com/images/Barreta1.gif). Consulta: 03 de marzo de 2011.



## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **4.1. Implementación de taller artesanal**

Posterior a la propuesta realizada, se procede a la implementación, en la cual se deben de considerar los aspectos planteados en el capítulo anterior, con base en datos reales propuestos en el presente.

#### **4.1.1. Generalidades**

En Guatemala existen aproximadamente 30 talleres artesanales informales y de 3 a 5 talleres formales que trabajan el jade, todos concentrados en la Antigua Guatemala y en sus áreas aledañas. Normalmente los talleres formales son parte de empresas bien consolidadas y de reconocido prestigio; los talleres informales surten con piezas terminadas a estas empresas y a vendedores informales de la calle o del mercado de artesanía.

El jade fue descubierto por la cultura olmeca y desde entonces ha sido una tradición mesoamericana por más de 3000 años. Los olmecas se convirtieron en expertos artistas lapidarios y tallaron preciosas estatuas de jade, ornamentos ceremoniales y objetos elaborados especialmente para sus rituales. Los mayas lo usaron en ornamentación y joyería para sus nobles y sacerdotes; además de adorar el jade, lo consideraron como su más importante posesión.

Por siglos, los mayas y chinos utilizaban los mismos métodos para tallar, pulir y buscar el jade. Estas culturas utilizaron junto con sus instrumentos el granate como material abrasivo para pulir el jade.

El proceso de tallado y pulido del granate es similar al del jade. El granate es una gema semipreciosa que se comercializa mundialmente para joyería fina y artesanal. Guatemala importa el 100% del granate tipo gema que se utiliza en las joyerías finas y artesanales.

La demanda de la gema de granate en Guatemala resulta atractiva aunque todo el producto es importado de diferentes países del mundo. Es interesante mencionar que Guatemala cuenta con varios afloramientos de este mineral y que nunca han sido explotados por desconocimiento.

#### **4.1.1.1. Localización del taller (método ponderado)**

Para determinar la ubicación idónea del taller, se utiliza el método ponderado de localización para determinar la mejor ubicación tomando en cuenta las necesidades básicas para llevar a cabo el proceso de transformación de la roca.

#### **4.1.1.2. Requerimientos mínimos**

Para la localización del taller artesanal es importante que se tomen en cuenta los siguientes factores:

- La distancia del área de extracción a la planta o taller artesanal.

- Sistema de transporte.
- Los riesgos de contaminación ambiental.
- Mano de obra.
- La accesibilidad a servicios públicos esenciales, tales como energía eléctrica, alcantarillado, agua potable y red telefónica.

La infraestructura vial hacia Joyabaj no se encuentra en su totalidad asfaltada y este factor incidiría en el flete o depreciación de los vehículos que transportarán el mineral, además el acceso a las zonas de interés es más difícil desde Joyabaj y se complica en invierno. Debido a que el municipio de Pachalum, llena todos los requisitos anteriores, el análisis se concentrará respecto a esta población y no a la de Joyabaj.

Las distancias de cada una de las zonas analizadas, donde podrían ser la o las áreas de extracción, hasta la población de Pachalum donde se recomienda la instalación del taller, se mencionan en las tablas: XI y XII.

Tabla XI. **Localización del taller por método ponderado**

Factor de localización	Ponderación del Factor	Salida a Piedras Blancas	Salida a la Joya	Centro de Pachalum	Orilla de Pachalum
Mano de obra	20%	70	60	90	80
Sistema de transporte	15%	70	70	100	90
Proximidad a los materiales	25%	70	70	70	100
Agua	17%	50	60	100	90
Energía eléctrica	17%	100	100	100	100
Alcantarillado	4%	80	90	90	90
Red telefónica	2%	50	50	100	100
Puntuación Total	100%	490	500	650	650

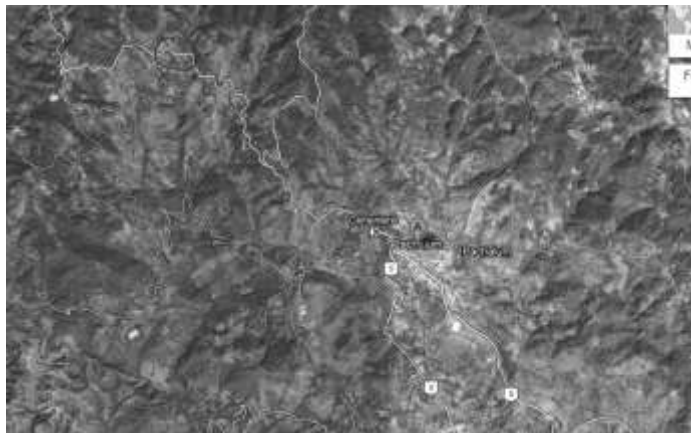
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **ponderación de los factores para localización**

<b>Factor de localización</b>	<b>Salida a Piedras Blancas</b>	<b>Salida a la Joya</b>	<b>Centro de Pachalum</b>	<b>Orilla de Pachalum</b>
Mano de obra	14	12	18	16
Sistema de transporte	10.5	10.5	15	13.5
Proximidad a los materiales	17.5	17.5	17.5	25
Agua	8.5	10.2	17	15.3
Energía eléctrica	17	17	17	17
Alcantarillado	3.2	3.6	3.6	3.6
Red telefónica	1	1	2	2
<b>Ponderación Total</b>	<b>71.7</b>	<b>71.8</b>	<b>90.1</b>	<b>92.4</b>

Fuente: elaboración propia, con base en el método ponderado.

Figura 29. **ubicación geográfica del taller artesanal**



Fuente: googlemaps.com. Consulta: 16 de septiembre de 2012.

Se determinó mediante el método de ponderación que el lugar indicado para la instalación del taller artesanal, debe ser a orilla de Pachalum, ya que cuenta con mejor puntuación según las necesidades requeridas.

#### **4.1.2. Descripción de taller y especificaciones**

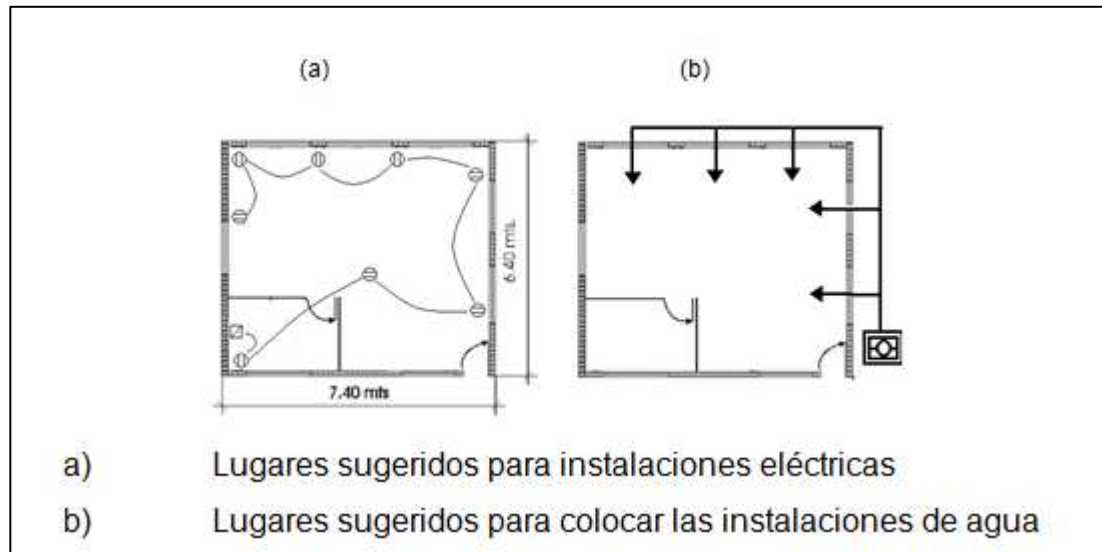
Para el mobiliario, equipo, máquinas y personal se requiere un área mínima de 7,40 x 6,40 metros para operar. El equipo y las máquinas utilizadas en el taller, para trabajar el granate a escala artesanal, no producen polvo ni altos niveles de ruidos que podrían causar contaminación ambiental por partículas finas o sonido a la comunidad; sin embargo, si es necesario que las máquinas se instalen en lugares ventilados, por seguridad del operario, debido a que si existe una mínima producción de polvos finos en el proceso.

El tipo de aislamiento que se necesita en la construcción del área puede estar formado simplemente por paredes de block, dentro de cualquier área urbana o rural, siempre y cuando se cuente con los servicios de energía eléctrica convencional (instalación para 110 Voltios), agua, alcantarillado e infraestructura.

Se requiere que el edificio cuente con no menos de nueve tomacorrientes de 110 V, y cinco instalaciones de agua (más adelante se indicará dónde deben estar colocadas). No se requiere que el edificio sea con terraza fundida, puede ser de lámina; sin embargo; se recomienda que las paredes sean de block, por seguridad y precaución contra incendios y además las paredes de block absorben mejor la vibración provocada por el funcionamiento de las máquinas.

Para fines de seguridad en la buena salud de los operarios, es indispensable que se cuente con áreas ventiladas de trabajo. A continuación se presenta una propuesta del edificio.

Figura 30. **Plano del edificio propuesto para instalar el taller artesanal**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2.1. Descripción del equipo

Para trabajar a escala artesanal el granate almandino, se requiere como mínimo la maquinaria y equipo que se describe a continuación.

- Esmeril con piedras de carburo de silicio
  - Motor de 1/3 de caballos de potencia.
  - Con dos piedras de esmeril, una grano 80 y otra de grano 100. De 2 pulgadas de ancho, 8 pulgadas de diámetro y 1 pulgada de diámetro interno (depende del diámetro del eje).

- Es indispensable que el material de las piedras de esmeril sean de carburo de silicio y no de otro material (los esmeriles con recubrimiento de diamante son los mejores, pero el precio es aproximadamente 8 veces el de uno de carburo de silicio).
- Debe considerarse un medio de lubricación y enfriamiento en flujo constante con agua para limpiar, lubricar y enfriar constantemente mientras se trabaja. Con esto se evitará dañar la muestra y tener mejor manipulación de la misma sobre la piedra de esmeril.
- Es importante que el esmeril tenga una velocidad mínima de 2700 rpm. y máxima de 3 500 rpm.
- Máquina para pulir y lustrar
  - Motor de 3/4 de caballos de potencia.
  - Con dos discos recubiertos de un caucho antideslizante, la función del material antideslizante (buffer) es evitar que la banda de lija que se coloca en el disco se corra al hacer girar la máquina al momento de arrancarla.
  - Debe tener chumaceras.
  - Debe considerarse un medio de lubricación y enfriamiento en flujo constante con agua para limpiar, lubricar y enfriar mientras se trabaja. Con esto se evitará arruinar la muestra y tener mejor manipulación sobre la banda de lija al momento de pulir.

- El otro disco de la máquina, como puede verse en la figura 31, tiene una base de cuero, sobre la cual se realiza el pulido de la muestra.

Figura 31. **Máquina para pulir y lustrar rocas y minerales en diferentes perspectivas**



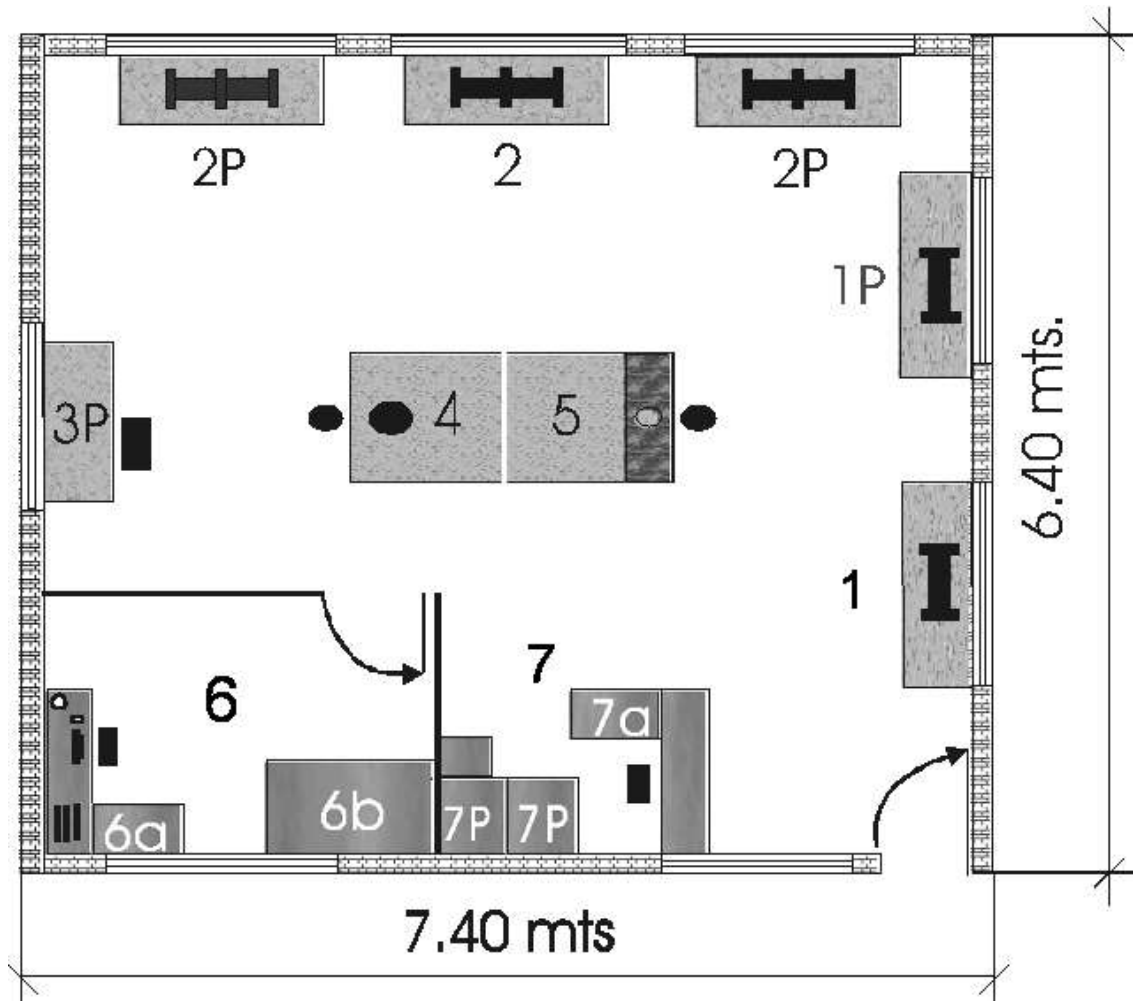
Fuente: fotografías proporcionadas por la Dirección General de Minería.

- Barreno de banco
  - Motor de 1/3 de caballos de potencia y 6,8 amperios.
  - La velocidad de rotación mínima en la operación debe ser 3 200 rpm y máxima de 3 750 rpm.
  - Debe tener la capacidad de trabajar con una broca de 1/32 de pulgada, esta es la medida de las fresas o brocas con punta de diamante que se usan en la perforación de la pieza.
- Fresa marca Foredom (opcional)
  - La velocidad de rotación mínima en la operación debe ser 18000 rpm y máxima de 30 000 rpm.



- Trabaja con fresas de 1/32". Viene con un juego de fresas redondas, sombrillas felpas, lapas, gusanos, cepillos, gratas y esmeriles finos con punta de diamante y de carburo de silicio, especiales para tallar, pulir y lustrar piezas que no se pueden trabajar con la máquina convencional, también se usa para perforar finos agujeros. Esta fresadora se usa únicamente para trabajos finos y minuciosos.
  
- Materiales usados en el proceso
  - Bandas de lija de carburo de silicio, en los siguientes tamaños de grano: 80, 100, 220, 320, 400 y 600. De 8 pulgadas de diámetro y 3 de ancho.
  
  - Polvo de óxido de cromo (conocido como polvo verde) o polvo de zafiro. Este polvo será usado para darle brillo a la pieza.
  
  - Fresas de 1/32" con diseños cónicos, cilíndricos y bola con punta de diamante, especiales para perforar o tallar.
  
  - Hilo de nylon o de pescar, y bolsas para empaque y transporte de las piezas.

Figura 32. Taller artesanal con la distribución de maquinaria y equipo



- 1. Esmeril de carburo de silicio
- 1.P Área prevista para instalar en el futuro un esmeril.
- 2. Máquina para pulir y lustrar
- 2P Áreas previstas para instalar dos máquinas de pulir y lustrar.
- 3P. Área prevista para instalar una fresadora Foredom.
- 4 Taladro de banco.

- 5 Área de montaje del producto.
- 6. Área de supervisión y control de calidad.
- 6a Lupa de aumento.
- 6b Vitrina de almacenamiento.
- 7. Área de recepción.
- 7P Área de almacenamiento de mineral sin trabajar.
- 7a Escritorio de recepción.

Fuente: elaboración propia.

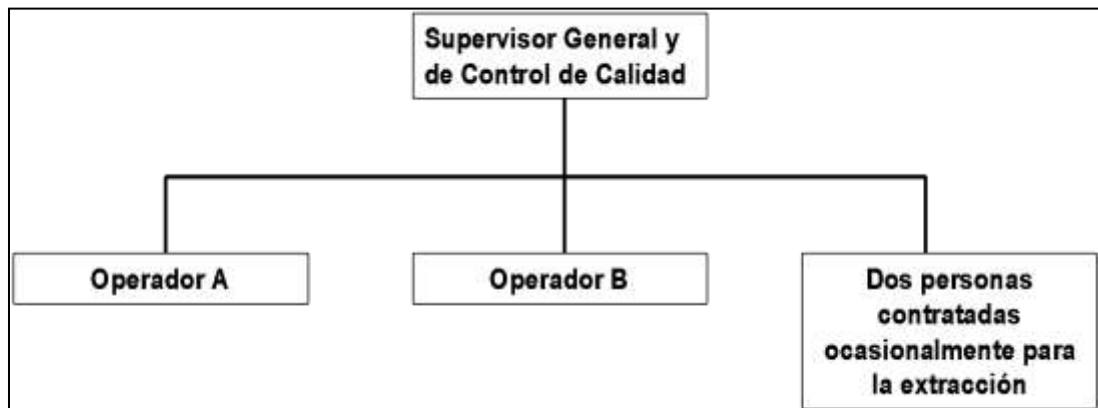
#### 4.1.2.2. Recurso humano

La importancia del recurso humano de toda la empresa se encuentra en su habilidad para responder favorablemente y con voluntad a los objetivos del desempeño y las oportunidades, y en estos esfuerzos obtener satisfacción, tanto por cumplir con el trabajo como por encontrarse en el ambiente del mismo. Esto requiere que gente adecuada, con la combinación correcta de conocimientos y habilidades, se encuentre en el lugar y en el momento adecuados para desempeñar el trabajo necesario.

- Plan de organización

Para iniciar la operatividad con una baja inversión se requiere la contratación de un supervisor general y control de calidad que estará a cargo de dos operadores para el proceso de transformación, y dos mas para la extracción de la roca.

Figura 33. **Plan de organización dentro del taller artesanal**



Fuente: elaboración propia.

Personal mínimo requerido:

- Un supervisor general y de control de calidad.
- Dos operadores (A y B).
- Dos personas contratadas ocasionalmente para la extracción del granate de la mina.

○ Funciones por puesto

- Supervisor General y de control de Calidad.

Poseer como mínimo 3er año de estudios de Ingeniería industrial ó administración de empresas.

Responsabilidades:

- ✓ Administrar el taller.
- ✓ Velar porque las metas de producción se alcancen.
- ✓ Supervisar el trabajo de los operarios y el del personal contratado ocasionalmente.
- ✓ Revisar la calidad del producto terminado.
- ✓ Velar porque la extracción del mineral de la mina sea suficiente para suplir la producción del taller.
- ✓ Revisar la calidad del mineral proveniente de la mina.
- ✓ Contactar y negociar con el comprador del producto final.

- Operario A

Poseer como mínimo estudios de nivel básico completo.

Responsabilidades:

- ✓ Tallado primario y limpieza de la pieza mineral en el esmeril de carburo de silicio.
- ✓ Tallado secundario, pulido primario y final usando las lijas de carburo de silicio en orden ascendente, es decir, iniciar con la No. 80 luego la 100 hasta la 600.
- ✓ Pasar las piezas al segundo control de calidad, con el supervisor.

▪ Operario B

Poseer como mínimo estudios de nivel básico completo.

Responsabilidades:

- ✓ Lustrado final con óxido de cromo o polvo de zafiro de las piezas terminadas en la primera fase por el operario A.
- ✓ Tallado, pulido y lustrado de piezas minuciosas con acabados finos usando la fresadora Foredom.
- ✓ Perforación con el barreno de banco y montaje en el hilo de nylon o hilo de pescar de las piezas terminadas.

- ✓ Pasar las piezas a la tercera revisión de control de calidad y empaque final.
- Personal contratado ocasionalmente para la extracción del mineral

Poseer como mínimo estudios de nivel básico completo.

Responsabilidades:

- ✓ Estarán bajo el mando del Supervisor General, y deberán cumplir con la demanda solicitada con base en la producción más el margen extra.

#### **4.1.2.3. Proceso de producción**

Luego de realizado el estudio de minado, la extracción del granate, se procede a la transformación del mismo, para su respectivo uso y aplicación industrial.

- Descripción del proceso

El mineral de granate aflora en los esquistos y gneises formados por moscovita, cuarzo y granate. Por esta razón, una vez extraído el mineral es necesario limpiarlo con la ayuda de un esmeril de diamante o carburo de silicio.

Una vez limpio el mineral, se procede a tallarlo. Dependiendo de la delicadeza de la pieza que se desee elaborar, puede tallarse con el mismo esmeril con el cual se limpió o para tallados más minuciosos puede utilizarse una fresadora.

Luego que la pieza ha sido tallada en su primera fase, se procede a pulir y afinar el tallado con bandas de lija de carburo de silicio, para pulidos más minuciosos debe usarse la fresadora. Para realizar el pulido se debe seguir una secuencia en los números de grano de las lijas iniciando con la más rústica No. 80 para continuar con la 100, 220, 320, 400 y terminar con la más fina No. 600, es decir, la lija No. 80 eliminará esquinas dejadas en el tallado o marcas del esmeril, luego la lija No. 100 eliminará las marcas dejadas por la lija 80 y así sucesivamente hasta llegar a obtener una superficie lisa y sin ninguna marca luego de pasar la No. 600.

Cuando se trata de trabajos muy minuciosos, como gemas para joyas finas, debe verificarse la eliminación de las marcas dejadas por cada una de las lijas al momento de cambiar a otra más fina, esto se realiza con la ayuda de un estereoscopio o microscopio de aumento (una buena lupa de aumento puede servir). El tiempo aproximado para pulir con cada una de las lijas variará dependiendo de la dureza del mineral, de la calidad o antigüedad de la lija, del grado de dificultad de la pieza y principalmente de la destreza del artesano.

Cuando se ha finalizado el pulido con la lija No. 600, la apariencia de la pieza es lisa con cierto brillo. Para obtener el acabado final con un brillo tal que sea exclusivo y digno de una gema de joyería, debe lustrarse la pieza sobre un disco con superficie de cuero, utilizando la pulidora descrita en este capítulo, utilizando óxido de cromo o polvo de zafiro. Para este proceso de lustrado, se prepara el óxido de cromo o el polvo de zafiro en un recipiente, agregándole poco a poco agua hasta que adquiera una apariencia pastosa, luego se introduce la pieza en la pasta o con la ayuda de un pincel se puede colocar la pasta en la pieza. Se arranca la máquina y se hace friccionar la pieza sobre el disco de cuero con movimientos circulares pequeños o de arriba hacia abajo. La pieza estará lista cuando adquiera un lustre brillante.

Una vez la pieza se ha lustrado, se procede según la orden de producción, es decir, si se requieren piezas para anillo o cabujón, el trabajo finalizará pasando la pieza a control de calidad y empaque; pero si se requiere una pieza para aretes, collares o pulseras, debe usarse el barreno para perforar la pieza con las fresas de diamante de 1/32", y luego deben pasarse a control de calidad, empaque y almacenamiento.

En las páginas siguientes se explica gráficamente el proceso de tallado, pulido y lustrado del mineral de granate utilizando las técnicas del diagrama de flujo y cursograma del proceso.

Figura 34. Diagrama de flujo del proceso de pulido



Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.



Figura 35. Cursograma del proceso de pulido

Detalles del Método	Actividades					Tiempo en minutos	Observaciones
	○	⇒	□	◐	▽		
Mineral almacenado hasta cuando se inicie el proceso					X	6 (meses)	El tiempo de almacenaje variará respecto a la producción y fechas de extracción del mineral.
Transporte de la muestra del área de almacenamiento hasta los esmeriles.		X				2	Se extraerá la muestra almacenada y se hará una primera observación de la misma para determinar su calidad inicial.
Limpieza y primer tallado del mineral.				X		5	El mineral se limpia y se va tallando en paralelo en el esmeril de carburo de silicio.
Transporte de la pieza del área de esmeriles a la máquina de pulir y lustrar		X				2	La muestra será transportada al proceso de pulido, una vez se encuentre limpia de mica y cualquier otro mineral que no sea granate, además debe estar tallada.
Pulido y lustrado de la pieza.				X		30	El pulido se realiza con las lijas de carburo de silicio numero de grano: 80, 100, 220, 320, 400 y 600. Se cambia de lija cada vez que se eliminan todos los rayones que van dejando los granos de la lija anterior. Para el pulido se coloca la pasta, hecha del del polvo de oxido de cromo con agua, sobre la pieza y luego, ésta se trabaja en el disco de cuero hasta que adquiere un lustre acerado
Transportar la muestra al barreno de banco.		X				2	Al final del proceso de lustrado, se debe revisar la pieza, observar que el lustre halla sido uniforme en todas las caras y aristas de la pieza.
Perforar la pieza y realizar el montaje de la misma en el hilo de nylon.				X		2	No todas la piezas serán perforadas, ya que pueden existir pedidos de piezas para anillos, cabujones etc. La perforación se realiza con las fresas de punta de diamante.
Transporte de la muestra al área de control de calidad y empaque.		X				2	El traslado de las piezas del área de perforación y montaje al área de control de calidad y empaque, debe hacerse en grupos de 10 a 25 granates y no de manera individual.
Ultima supervisión de calidad y empaque de la muestra.				X		10	Debe verificarse tanto que el tallado, el lustre y el agujero de perforación sean uniformes. El empaque debe encontrarse en buenas condiciones de seguridad, calidad y presentación.
Almacenar el producto terminado.		X					La muestra será almacenada hasta el momento de su venta.
Demora estimada para el proceso.	D					5	La demora se ha considerado debido al tiempo invertido en el cambio de lijas durante el pulido, cambio de fresas en el barreno y cualquier imprevisto
	<b>Total de minutos</b>					<b>60</b>	<b>En los 60 minutos se procesan entre 11 y 12 piezas terminadas con flujo constante.</b>

Fuente: Dirección General de Minería, Departamento de Desarrollo Minero.

#### **4.1.2.4. Control de calidad**

Para obtener productos de mejor calidad, el proceso se dividirá en cuatro etapas.

- Etapa 1: se refiere a la primera revisión de las piezas, es decir, al momento de extraerlas de la mina. En esta etapa debe observarse que el mineral se encuentre en un 50% como mínimo libre de moscovita. Al observar el cristal de buena calidad se verá de color vino tinto o rojizo, además debe ser consistente no quebradizo. El granate de color café, poroso y de baja consistencia es de mala calidad, no se lustra ni obtiene un mínimo de brillo en el proceso, debe desecharse ése tipo de granate.
- Etapa 2: la revisión se realiza después de tallado y pulido el mineral por el operario A. En esta etapa debe observarse el granate al microscopio o con la ayuda de una lupa de aumento, para verificar la ausencia de huellas o marcas dejadas por no pasar en una buena secuencia de granos la lija y no haber dado los tiempos de pulido adecuados respecto a la dureza y uniformidad del cristal.
- Etapa 3: se realiza después de lustrado y perforado el mineral. Debe observarse que el lustre del cristal sea uniforme, que no exista ninguna esquina sin pulir y lustrar, también es importante observar que el agujero, hecho con la fresa de punta de diamante o carburo de silicio, sea uniforme y que no haya provocado facturación en la pieza, ya que esto provocaría que en el transporte, montaje o al momento de la entrega la pieza se rompa.

- Etapa 4: en esta etapa es importante revisar el montaje y empaque de la pieza, es decir, revisar que el empaque sea tal que amortigüe cualquier golpe por descuido en el transporte.

#### **4.1.2.5. Transporte del producto final**

El taller iniciará su actividad a nivel artesanal, esperando que crezca y aumente su producción de la mano con la calidad y variedad de productos terminados. En el inicio, el producto se colocará en hilos de nylon o hilos de pescar con la finalidad de vender este producto en hilos de 20 o más piezas (hilos de mineral). Para el transporte, los hilos de mineral se colocarán en bolsas de nylon con tiras de papel o aserrín para amortiguar cualquier golpe.

Con respecto al transporte no existen mayores problemas, ya que el producto resulta ser tan pequeño que es fácil transportar varios cientos del producto en un vehículo pequeño, en el transporte urbano o extraurbano e inclusive en una motocicleta acondicionada para transportarlo. El medio de transporte lo definirá la cantidad y calidad del mineral; por ejemplo, un lote grande de mineral de alta calidad requerirá viajar en un medio de transporte seguro.

#### **4.2. Usos y aplicaciones industriales**

Dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas y cristalográficas el granate y en especial el almandino tiene dos tipos principales de aplicaciones:

- Usos industriales
- Usos en joyería fina y artesanal

#### **4.2.1. Aprovechamiento del granate como abrasivo**

Los principales usos que posee el granate, como material abrasivo, radican principalmente en su alta dureza (7.5 de la escala de Mohs) y en las afiladas aristas que forma el cristal al ser molido. Es ampliamente usado en infinidad de industrias como material abrasivo en diferentes formas.

Por más de un siglo, el granate ha sido utilizado principalmente para el pulido de lentes ópticos y placas de vidrio.

Los sectores industriales que usan el granate, incluyen a la industria petrolera (el más grande consumidor de granate de grado para explosivos), plantas de filtración, fabricantes de motores para vehículos y aviones; edificación y finos acabados en muebles de madera.

Es ampliamente usado como abrasivo en telas y papel, abrasivos encubridores; cortado hidráulico a alta presión y para trabajos de acabado en cuero, hule y plásticos. En el mercado de los polvos abrasivos, compite con el carburo de silicio, los diamantes industriales, y los óxidos de aluminio.

Las industrias de la edificación y de los aviones de aluminio usan el granate para la limpieza de toberas y el acabado de las superficies metálicas. Usos similares incluyen la limpieza y el acondicionamiento del aluminio y otros metales suaves.

El uso del granate para limpieza por chorro abrasivo (*blastcleaning*), ofrece excelentes resultados y bajos costos hasta el punto que ha sido un magnifico sustituto de la arena silíceo y escoria volcánica.

El mineral de granate almandino analizado proveniente de Pachalum y Joyabaj, resultó tener una dureza de 6,5 a 7,5; un peso específico promedio de 4,21; color rojo pardusco, translúcido en pequeñas secciones pulidas y en granulometrías finas menores a la malla 60, subtranslúcido u opaco y cristales rojizos traslucidos. Además de los resultados cuantitativos de la composición química que resultaron ser muy favorables, las aristas que formó el mineral al ser molido fueron filosas. Este mineral se recomienda para ser usado como material abrasivo, ya sea en polvo o montado sobre papel para lija.

#### **4.2.1.1. Propiedades**

Los productos abrasivos actúan arrancando material del sustrato por fricción. Se enfrenta un material duro (mineral abrasivo) a la superficie a tratar que debe presentar una menor dureza. Los diferentes tipos de movimientos que se le puede aplicar a un producto abrasivo unido a la velocidad de trabajo y la presión producirán un ataque sobre la superficie, dando la eliminación de material, su conformado y la formación de surcos y arañazos.

Figura 36. **Diversidad de materiales abrasivos**



Fuente: [www.elchapista.com/images](http://www.elchapista.com/images). Consulta: 15 de octubre de 2011.

Algunas de las propiedades de los materiales abrasivos son las siguientes:

- Dureza: marca la resistencia de un mineral a ser penetrado por otro material. Se suele medir en la escala de Mohs de 1 a 10 donde el valor más elevado corresponde al diamante. Los minerales que se usan en reparación suelen estar en 9,5.
- Friabilidad: una vez que el mineral se rompe, la friabilidad marca la tendencia a formar nuevas aristas.
- Tenacidad: mide la capacidad de los materiales para resistir a la rotura y la deformación. Indica cuanta energía puede absorber un mineral antes de romperse.
- Capacidad de corte: las rayas producidas por el mineral sobre la superficie dependen de lo afiladas que sean las aristas del mineral.

#### **4.2.1.2. Granulometría**

Un abrasivo se compone de granos de mineral que al tener unas propiedades de mayor dureza y tenacidad permiten un arranque de materia y un moldeo de la superficie. Sin embargo, el acabado que se logra en la superficie depende entre otros factores, el tamaño de grano que se esté utilizando en cada operación.

Para tratar de regular los procesos de lijado se han establecido diferentes escalas que indican el tamaño del grano de mineral que se emplea. La escala de los minerales que se usa es la siguiente:

16-18-24-30-36-40-50-60-80-100-120-150-180-200-220-240-280-320-360-400-500-600-800-1000-1200.

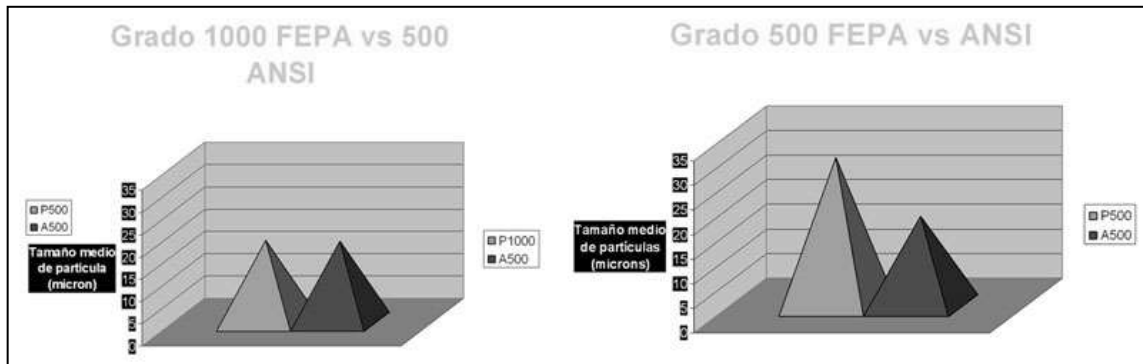
Esta numeración indica el tamaño de grano que se sitúa sobre el soporte siendo éste inversamente proporcional al valor numérico, así los granos de menor numeración son los de mayor tamaño.

La forma de establecer el tamaño de estos granos es una separación mediante un juego de tamices, estos filtros separan los diferentes tamaños, y a medida que un grano va pasando tamices su tamaño es menor. En los granos más finos la diferenciación se realiza por ensayos de sedimentación en un líquido que lleva a una diferenciación en función de su peso y tamaño.

Para asegurar la calidad de los abrasivos fabricados se han realizado sistemas de homologación que tratan de contrastar la calidad del material. La Federación Europea de Productos Abrasivos (FEPA) ha creado un código, por el que se marcan con una letra P delante del valor del grano los productos que cumplen con sus valores Standard.

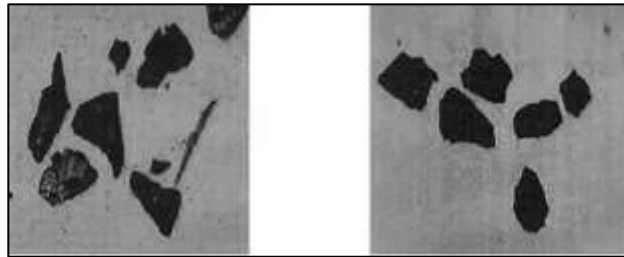
Existen otros sistemas de nombrar los materiales abrasivos, por ejemplo los fabricantes americanos se reúnen en otra asociación (ANSI) y en Japón se usa la nomenclatura J.I.S. que mantienen criterios menos estrictos, lo que lleva a que sus productos no consiguen la misma calidad que los marcados como P dado que incluyen una mayor variedad de tamaños de material abrasivo (figura 37). La figura 37 muestra un ejemplo de la equivalencia en el tamaño medio de partícula de granos que siguen el standard FEPA y los que siguen el standard ANSI.

Figura 37. **Comparativa entre abrasivos FEPA y ANSI**



Fuente: <http://www.elchapista.com/images/pintura>. Consulta: 13 de octubre de 2011.

Figura 38. **Granos de mineral de tamaños muy dispares (NO FEPA) vs Granos de mineral muy homogéneos (FEPA)**



Fuente: [http://www.elchapista.com/images/pintura/procesos\\_de\\_lija](http://www.elchapista.com/images/pintura/procesos_de_lija). Consulta 13 de octubre de 2011.

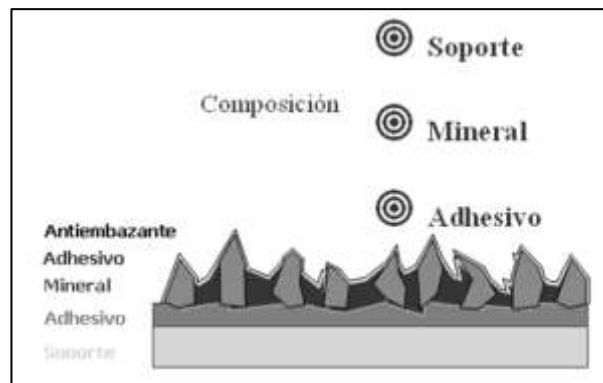
En definitiva es muy recomendable el uso de materiales abrasivos que cumplan estrictamente los patrones de la FEPA, ya que aportan mayor homogeneidad en el lijado permitiendo alcanzar una mayor calidad en el acabado.



#### 4.2.1.3. Fabricación

Los abrasivos convencionales se componen de una estructura en diferentes capas tal y como muestra la figura 35, no son materiales sencillos de fabricar ya que requieren una serie de materiales que les permitan cumplir con sus requisitos de trabajo.

Figura 39. **Esquema de la composición de un abrasivo**



Fuente: <http://2.bp.blogspot.com>. Consulta: 15 de octubre de 2011.

El soporte puede ser una superficie de papel, tela, film plástico, o fibras. En función de la aplicación para la que se quiera emplear se variará el tipo de soporte consiguiendo modificar la dureza del producto y por tanto la profundidad del arañazo que acabará produciendo en la superficie a tratar.

Los soportes más habituales son de papel, y se clasifican por letras desde la letra A hasta la E, dándose un incremento paulatino del gramaje del papel. Los papeles de tipo A se emplean en aplicaciones que requieran mayor flexibilidad y poca resistencia y los papeles de tipo E en operaciones de mayor desgaste.

También son muy frecuentes los soportes de fibra vulcanizada, compuestos de papel y plástico procesados químicamente.

El adhesivo: el mineral debe quedar sujeto al soporte y además se deben fijar los granos entre sí. Se usan dos capas de adhesivo para ello. El adhesivo depende de la aplicación para la que se oriente el producto. Así, adhesivos naturales (cola, derivada de cartílago y huesos de animales) no se empleará en el lijado en húmedo, mientras que para esos procesos se suele recomendar adhesivos formados a partir de resinas sintéticas de origen epoxídico o fenólico. Estas últimas se caracterizan por su gran resistencia al agua y su excelente poder de adhesión.

Los adhesivos sintéticos son menos flexibles que los naturales. Por eso en operaciones de acabado se suele recomendar abrasivos con este tipo de adhesivo.

El mineral es uno de los factores clave que definen el tipo de material que se emplea, las cualidades de los minerales más empleados se representan en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Cualidades de los minerales más utilizados**

Mineral	Dureza	Tenacidad	Fractura	Acabado	Aplicación preferida
<b>Oxido de Aluminio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	9,4	75	Aristas romas.	Rayas anchas y profundas.	Materiales blandos
<b>Carburo de Silicio. SiC</b>	9,4	55	Aristas muy vivas.	Rayas estrechas y profundas.	Materiales duros

Fuente: Dirección General de Minería, Ministerio de Energía y Minas.

El óxido de aluminio es el más extendido. Aún a una gran dureza (9,4 Escala Mohs), con una gran tenacidad y resistencia al choque. Tiene tendencia a arromarse formando perfiles redondeados que provocan rayas anchas y poco profundas y por eso se recomienda su uso con materiales blandos.

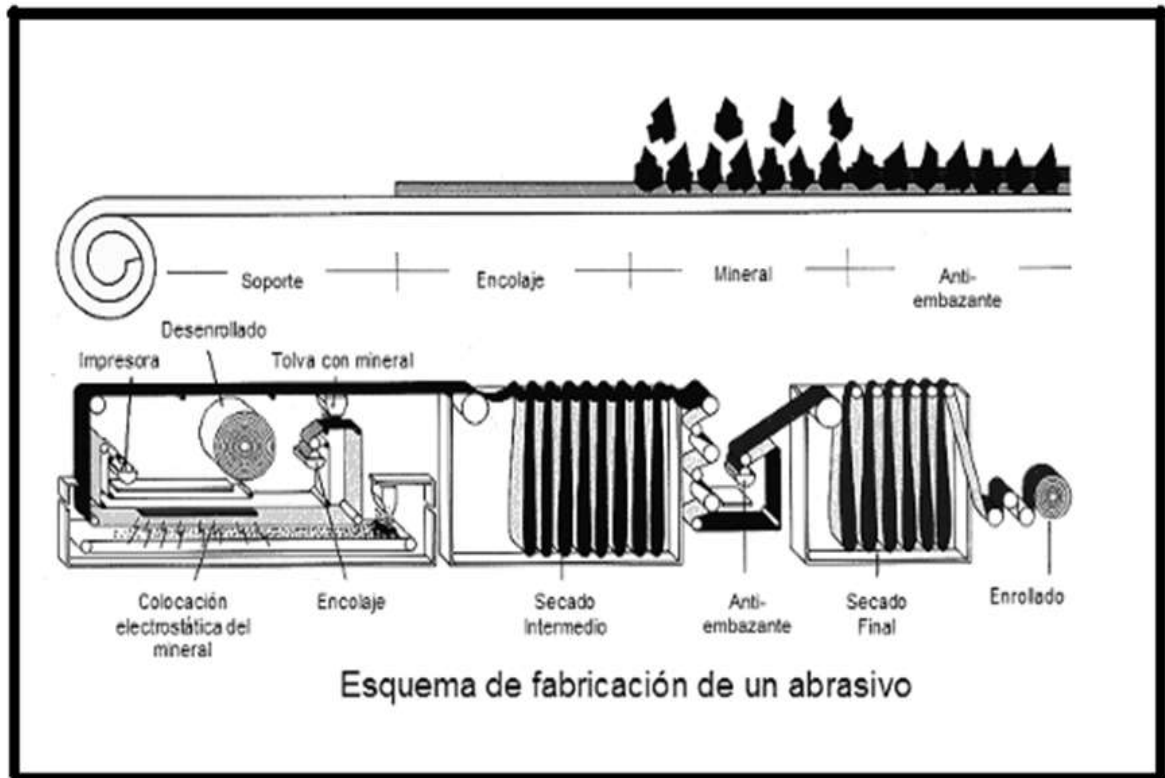
El carburo de silicio tiene una dureza de 9,4, pero a diferencia del óxido de aluminio su tenacidad es muy baja, rompiéndose fácilmente y dando la formación de nuevas aristas que dan rayas estrechas y profundas.

Existen otros minerales como el esmeril (que se usa cada vez menos), las mezclas de óxido de aluminio y zirconio o los nuevos materiales de origen cerámico desarrollados por 3M™ (Cubitron) que se emplean en procesos que requieran un gran arranque de materia. En función de la aplicación que se desee se puede elegir un mineral u otro.

La última capa en los productos abrasivos, la capa antiembazante ha supuesto en los últimos años un gran avance. Se trata de una fina capa de una sal organometálica de zinc (estereato de zinc). Este recubrimiento actúa como un lubricante sólido que minimiza el embazamiento del disco. En definitiva, la misión principal de la capa de estereato de zinc es evitar el embazamiento alargando la vida útil del disco.

La figura 40 muestra un esquema de fabricación de materiales abrasivos convencionales. A la hora de fabricar un producto abrasivo se debe seleccionar de forma adecuada el soporte, el mineral, el tamaño y la colocación de granos sobre el soporte.

Figura 40. Esquema típico para la fabricación de abrasivos



Fuente: [http://www.elchapista.com/constitucion\\_y\\_fabricacion\\_de\\_abrasivos](http://www.elchapista.com/constitucion_y_fabricacion_de_abrasivos). Consulta: 12 de febrero de 2012.

#### **4.2.2. Aprovechamiento del granate en joyería y artesanía**

El granate almandino se forma en la naturaleza dando lugar a un rombododecaedro o a un trapezoedro con tonalidades que van del vino tinto hasta un rojo intenso, además posee cierta facilidad para ser tallado, pulido y lustrado, obteniéndose con estos procesos piezas de finos acabados y lustrosas superficies listas para ser montadas en oro o plata.

Este mineral es utilizado en Guatemala por empresas que trabajan la jadeíta, como un complemento en collares y pulseras; algunas de las empresas que se dedican al tallado y venta de gemas lo utilizan para elaborar aretes, anillos y collares. Existe una joyería en la Antigua Guatemala que vende únicamente diseños exclusivos, en lo que a joyas se refiere, en esta empresa se venden diseños exclusivos hechos solamente de granate, los cuales pueden llegar a valer hasta Q. 5000,00

En el mercado de artesanías de Antigua Guatemala se encuentran collares, aretes, pulseras, etc. elaboradas con cristales de granate de una alta pureza aunque el tipo de tallado y pulido varía de tal manera que puede clasificarse como granate trabajado de mediano costo y granate quebrado de bajo costo, y éste es utilizado en la joyería artesanal de la región.

Según lo observado en los resultados fisicoquímicos y mineralógicos, el mineral de granate almandino de la zona de Pachalum y Joyabaj, puede ser utilizado como gema semipreciosa, ya que se analizaron de colores que varían de rojo oscuro y vino tinto hasta rojo intenso traslúcido en secciones pequeñas, algunas piezas debido a las fracturas expuestas presentaron tonalidades únicas y muy atractivas. Las piezas se tallan, pulen y lustran muy bien con un proceso relativamente sencillo y de bajo costo.

#### **4.2.2.1. Propiedades**

Al tratarse de un grupo con tantísimas variedades y subvariedades, los datos que aportan sus propiedades deben contrastarse con sumo cuidado para poder determinar a qué tipo pertenecen, aunque en todo caso determinados datos nos los clasificarán como granates para diferenciarlos de otras gemas.

La dureza es de 7,5 en el piropo y almandino, de 7,5 ó 7 en el espesartina, de 7 en las grosularias, de 7 a 6,5 el andradita y 6,5 la uvarovita. No presentan exfoliación y la fractura es astillosa o en las grosularias astillosa. El peso específico es muy variable debido a las mezclas que presenta, siendo el más bajo 3,3 y 4,15 el más alto. Son fusibles el piropo, almandino y andradita.

Presentan brillo vítreo el piropo, la grosularia y la andradita, y adamantino el almandino la andradita y la uvarovita. La uvarovita es la única que es opaca, las demás deben ser transparentes. Debido a cristalizar en el sistema regular son isótropas con un índice de refracción también muy variable.

El piropo presenta los índices más bajos y menos oscilante, el almandino tiene un índice un poco más alto muy oscilante, la espesartina son altos y oscilantes, la andradita presenta un índice alto bastante constante, la grosularia son bajos pero oscilantes, y por último, la uvarovita oscila entre los más bajos y más altos. La dispersión no es muy notable, a excepción del demantoide que tiene una dispersión mayor que el diamante.

El espectro que presentan es el típico de sus elementos colorantes, y sólo presentan fluorescencia el piropo y la grosularia.

#### **4.2.2.2. Proceso de transformación**

Una vez que el diseño de la joya ha sido creado, se procede a realizar el maquetado del mismo. El maquetado es la reproducción a escala del producto utilizando las tres dimensiones, ya que por lo general, en el diseño de joyas que el artista o diseñador realiza en papel, sólo se utilizan dos dimensiones.

Luego del maquetado, la joya será representada y se procederá luego a la realización de un prototipo de la misma. El prototipo es el primer molde con el que se elaborarán las joyas subsiguientes. Se puede proceder a la fabricación de la joya si se saltea alguno de estos pasos, en donde se pasa de la creación a la fabricación directa. El diseñador deberá pensar junto a su diseño el material que constituirá su diseño. Una vez seleccionado el mismo, se podrá proceder a la fabricación sin necesidad de armar el prototipo, con sólo poseer los materiales necesarios.

El proceso de fabricación y elaboración de la joya puede ser manual o industrial. El proceso industrial se realiza con maquinaria y herramientas de fabricación. Este proceso puede realizarse en serie o por pieza individual.

#### **4.3. Comercialización**

Inicialmente, la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de la Facultad de Ingeniería y el Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección General de Minería y el Departamento de Desarrollo Minero, promoverían y difundirían la importancia que representa para las comunidades identificadas el aprovechamiento de este recurso minero. Posteriormente, vendrían acuerdos de comercialización de las comunidades con las joyerías y/o mercados artesanales, o simplemente se ofertarían al turista extranjero y/o

nacional. Será de suma importancia también, que se involucren otras instituciones o entidades gubernamentales y no gubernamentales o privadas como Agexpront, Inguat, Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Economía.

Un aspecto fundamental de la comercialización es que debe inicialmente crearse la oferta para obtener demanda. En este sentido, para el mercadeo se espera que mediante la línea de producción que pretende examinar el proyecto de granate, sea necesario determinar la movilidad de sustitución del producto en el mercado competitivo.

#### **4.3.1. Análisis de la oferta**

Actualmente, no existe un mercado guatemalteco oferente en artículos de joyería y/o productos artesanales elaborados con granate, el cual precisamente, es nuestro principal objetivo de estudio. Entre los resultados alcanzados previo a algunas visitas a talleres artesanales en Antigua Guatemala, se obtuvieron algunos precios de referencia para varios artículos elaborados, básicamente en cuanto a joyería, el cual refleja sólo costos de producción (el costo de producción de prototipos de estos artículos es bastante elevado y no refleja necesariamente el costo de producción real), que no precisamente son los precios que se fijarían al consumidor final.

Estos resultados son apenas una visión aproximada de lo que podría ser mas adelante el comportamiento de la oferta y sus posibles precios, a través del concepto elasticidad del precio respecto a la demanda.



#### **4.3.2. Análisis de la demanda**

El comportamiento de la demanda de granate en Guatemala iría asociada a la capacidad de pago del consumidor extranjero, que por naturaleza pueden ser alterable o inalterable en el consumo hasta un 90%. Por su parte, el mercado local toma una mínima parte en la demanda 10%, sólo aquellos considerados de nivel medio con capacidad de pago y aunado a preferencias y gustos de los consumidores.

#### **4.3.3. Análisis de oferta y demanda**

Del estudio de campo realizado, se estableció que existe una demanda general por joyería, donde los gustos pueden variar de acuerdo a lo que la oferta les presente, de tal manera que en nuestro país es posible encontrar joyería con piedras tales como: diamantes, perlas, jade, ojo de tigre, jaspe, amatista, granate y otras. Por los resultados de la encuesta, se pudo establecer que dentro de los gustos de los consumidores está la joyería con piedras de granate, principalmente por su color vino tinto y en sus variaciones, más claras o más oscuras. Entre los productos que usualmente se consumen están:

- Collares
- Pulseras
- Aretes
- Prendedores

Se debe considerar que la demanda actual de joyería basada en piedras de granate está limitada, por lo que el mercado ofrece, ya que se pudo establecer que sólo diez de las joyerías en Guatemala, ofrecen a sus clientes joyería de este tipo. Esto quiere decir que existe la posibilidad de que al tener

mayor oferta, la demanda también se incrementa. Además, debe considerarse que actualmente todo el granate ofrecido en el mercado es importado.

Como parte de la oferta, del trabajo de encuesta realizado, se estableció que existen siete empresas que ofrecen productos de joyería que utilizan granate dentro de su diseño y dos vendedores informales. La mayor parte de empresas importan los productos ya terminados de países como: Estados Unidos (Miami, Nueva York, Arizona); India; Mozambique; Perú; México; España e Italia, entre otros. Algunas empresas como las establecidas en Antigua Guatemala y que desarrolla su propia joyería, importan solamente las piezas de granate y crean sus propios diseños de joyería.

Actualmente, el mercado ofrece una variedad de piezas de joyería elaboradas con granate, las que varían en diseño como en precio. Entre las piezas que se ofrecen y los rangos de precios, se describen en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Rangos de precio en los que varían varias piezas de joyería**

Producto	Rango de valores en (Q)	
	DE	A
Aretes	Q. 264,00	Q.1 760,00
Collares	Q. 660,00	Q.13 200,00
Anillos	Q. 660,00	Q.2 200,00
Pulseras	Q. 264,00	Q.2 640,00

Fuente: Joyerías, Antigua Guatemala.

Los precios varían en función de la calidad de la piedra, que ésta sea perfectamente sana (sin fracturas), la calidad en el pulido y lustrado, así como del diseño y la calidad del metal en que haya sido trabajado.

Finalmente, en lo que se refiere a joyería basada en rocas semipreciosas, el jade es un mercado aun en crecimiento, ofreciendo una variada de colores, como se puede observar en la siguiente figura. (Ver figura 41).

Figura 41. **Variación que ofrece el jade**



Fuente: variedades de jade encontradas en locales de Antigua Guatemala.

Como puede verse, no existe una variedad de jade que pueda ofrecerse en la tonalidad que tiene el granate. Además a lo anterior, debe considerarse que el granate es reconocido mundialmente como una piedra semipreciosa, gozando de prestigio y un alto valor comercial.

Un aspecto importante a considerar, es que si bien las proyecciones de la oferta están sujetas a un juicio subjetivo del inversor, ya que dependen de la disponibilidad del producto, el cual puede variar con los aumentos o disminuciones de la producción nacional o las importaciones.

#### 4.3.4. Análisis de precios

De acuerdo a precios internacionales de piezas de joyería de piedras de granate consultados por Internet, se tienen los valores en la tabla XV.

Tabla XV. Precios internacionales del granate tipo gema según variedad, dimensión y peso

<b>VARIEDAD DIMENSIONES</b>	<b>PESO EN (KILATES)</b>	<b>COLOR DEL GRANATE</b>	<b>PRECIO APROXIMADO (Q)</b>
<b>ALMANDINO</b>			
8.0 x 8.0 mm	3,79	Rojo oscuro	505,30
11.0 x 9.0 mm	3,68	Rojo oscuro	505,30
15.7 x 12.0 mm	10,39	Rojo marrón	388,70
10.0 x 8.0 mm	3,44	Rojo marrón	324,70
<b>ANDRADITA</b>			
16.0 x 10.0 mm	9,59	Verde esmeralda	8 408,30
4.4 x 4.2 mm	14	Verde turquesa	5 259,50
19.0 x 14.0 mm	16	Verde turquesa	2 979,90
6.7 x 5.3 mm	0,98	Verde turquesa	1 062,70
<b>GROSULARITA</b>			
2.5 x 2.5 mm	0,59	Amarillo verdoso	168,40
5.0 x 4.0 mm	1,57	Amarillo verdoso	246,20
4.0 x 3.0 mm	1,34	Amarillo verdoso	233,20
14.0 x 11.6 mm	10,7	Verde transparente	6 855,20
<b>ESPEARTINA</b>			
9.6 x 6.9 mm	2,74	Amarillo intenso	2 979,90
7.7 x 6.3 mm	2,07	Amarillo intenso	2 060,00
8.1 x 6.1 mm	1,98	Amarillo intenso	1 982,30
6.0 x 5.0 mm	2,72	Amarillo intenso	1 179,20
<b>UVAROVITA</b>			
8.5 x 6.1 mm	1,41	Verde esmeralda	6 855,20
4.4 x 3.8 mm	0,35	Verde negruzco	634,80
3.5 x 2.5 mm	0,22	Verde negruzco	182,00
3.5 x 2.5 mm	0,16	Verde negruzco	142,70

Fuente: Dirección General de Minería.

Sin embargo, los precios presentados en la tabla XV son para piedras cortadas y debidamente facetadas para joyería fina internacional.

Inicialmente, el precio se define como el valor de un bien expresado en unidades monetarias. En otras palabras, se entiende como la cantidad que los demandantes están dispuestos a aceptar por la propiedad de un determinado bien. En este sentido es difícil considerar la fijación de precios y posibles variaciones de los precios del granate en sus diversas dimensiones.

#### 4.3.5. Análisis de costos de producción

Se establecieron los materiales, herramientas, insumos y recurso humano a considerar, tanto en el proceso de extracción de granate como en su procesamiento. Se muestra tanto la opción A, como una opción B, la cual se diferencia por el involucramiento del costo de alquiler.

Tabla XVI. **Costos variables de fabricación**

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	Costo unitario	Cantidad	Unidad de medida	Total	Vida útil mensual	Costo mensual
Lijas de carburo de silicio	Q. 41,00	6	bandas	Q. 246,00	1	<b>Q.246,00</b>
Polvo de Oxido de Cromo para lustrar	Q. 131,20	1	libras	Q. 131,20	2	<b>Q.65,60</b>
Fresas con punta de diamante	Q. 16,40	2	piezas	Q. 32,80	1	<b>Q.32,80</b>
Empaque (bolsas de plástico)	Q. 0,07	500	1 bolsa	Q. 32,80	25	<b>Q.1,31</b>
Energía eléctrica	Q. 1,40	223.8	kW-h	Q. 313,32	1	<b>Q.313,32</b>
Sueldo Operario A	Q. 2 100,00	1	Q/mes	Q. 2 100,00	1	<b>Q.2 100,00</b>
Sueldo Operario B	Q. 2 100,00	1	Q/mes	Q. 2 100,00	1	<b>Q.2 100,00</b>
<b>COSTO TOTAL MENSUAL</b>						<b>Q.4 859,03</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL PRODUCIENDO 25,020 PIEZAS</b>						<b>Q.58 308,38</b>

Capacidad Instalada mensual      2,085 Piezas  
 Costo Variable Unitario              Q. 2,33 /pieza

Fuente: Dirección General de Minería.

Tabla XVII. **Costos variables del proceso de extracción**

Descripción del equipo	Costo unitario	Cantidad	Unidad de medida	Total	Vida útil mensual	Costo mensual
Almádana	Q. 328,00	1	pieza	Q. 328,00	60	Q. 5,47
Punta	Q. 2 460,00	3	pieza	Q. 7 380,00	60	Q. 123,00
Macho	Q. 82,00	2	pieza	Q. 164,00	60	Q. 273,00
Barreta	Q. 164,00	1	pieza	Q. 164,00	24	Q. 6,83
Taladro	Q. 15 990,00	1	máquina	Q. 15 990,00	60	Q. 266,50
Cinzel	Q. 82,00	4	pieza	Q. 328,00	12	Q. 27,33
Broca	Q. 656,00	2	pieza	Q. 1 312,00	6	Q. 218,67
Bolsas	Q. 49,20	1	paquete	Q. 49,20	12	Q. 4,10
Generador	Q. 4 920,00	1	máquina	Q. 4 920,00	60	Q. 82,00
Gasolina	Q. 22,96	20	galones	Q. 459,20	3	Q. 153,07
Transporte	Q. 82,00	2	fletes	Q. 164,00	1	Q. 164,00
Sueldo obreros	Q. 2100,00	2	Sueldo/mes	Q. 4 200,00	1	Q. 4 200,00
<b>COSTO TOTAL MENSUAL</b>						Q. 5 253,70
<b>COSTO TOTAL ANUAL DE EXTRACCIÓN 30 000 PIEZAS</b>						Q. 63 044,40

Extracción mensual 2 500 piezas

Extracción anual 30 000 piezas

Costo variable unitario Q. 2,10

Fuente: Dirección General de Minería.

Tabla XVIII. **Costos Administrativos anuales, opción A**

Servicio de agua	1er año	2do año	3er año	4to año	5to año
Sueldo administrativos	Q.25 200	Q.26460	Q.27783	Q.29172	Q.30 631
Sueldo contador	Q.21 600	Q.21816	Q.22034	Q.22255	Q.22477
Servicio de agua	Q.100,00	Q.105,00	Q.110,25	Q.115,76	Q.121,55
Energía eléctrica	Q.907,20	Q.925,34	Q.943,85	Q.962,73	Q.981,98
Materiales de oficina	Q.1640,00	Q.1656,40	Q.1672,96	Q.1689,69	Q.1706,59
Teléfono	Q.2400,00	Q.1800,00	Q.1800,00	Q.1800,00	Q.1800,00
<b>Total anual</b>	<b>Q.51847,20</b>	<b>Q.52762,74</b>	<b>Q.54344,22</b>	<b>Q.55994,84</b>	<b>Q.57717,93</b>

Servicio de agua	1er año	2do año	3er año	4to año	5to año
Volumen de Producción	20000	21800	22800	23800	24800
Gastos de Extracción	Q.42029,60	Q.45812,26	Q.47,913,74	Q.50015,22	Q.52116,70
Gastos de Procesamiento	Q.46609,42	Q.50804,27	Q.53,134,74	Q.55465,21	Q.57795,68
Costos Administrativos	Q.51847,20	Q.52762,74	Q.54,344,22	Q.55994,84	Q.57717,93
<b>TOTAL</b>	<b>Q.140486,22</b>	<b>Q.149379,28</b>	<b>Q.155,392,71</b>	<b>Q.161475,27</b>	<b>Q.167630,31</b>

Fuente: Dirección General de Minería.

Tabla XIX. **Costos administrativos anuales, opción B**

Servicio	1er año	2do año	3er año	4to año	5to año
Sueldo administrativos	Q.25200,00	Q.26460,00	Q.27783,00	Q.29172,15	Q.30630,76
Sueldo contador	Q.25200,00	Q.25452,00	Q.25706,52	Q.25963,59	Q.26223,22
Servicio de agua	Q.100,00	Q.105,00	Q.110,25	Q.115,76	Q.121,55
Energía eléctrica	Q.907,20	Q.925,34	Q.943,85	Q.962,73	Q.981,98
Materiales de oficina	Q.1000,00	Q.1010,00	Q.1020,10	Q.1030,30	Q.1040,60
Teléfono	Q.2400,00	Q.1800,00	Q.1800,00	Q.1800,00	Q.1800,00
Alquiler	Q.8400,00	Q.8400,00	Q.8400,00	Q.8400,00	Q.8400,00
<b>Total anual</b>	<b>Q.63207,20</b>	<b>Q.64152,34</b>	<b>Q.65763,72</b>	<b>Q.67444,53</b>	<b>Q.69198,12</b>

Servicio	1er año	2do año	3er año	4to año	5to año
Volumen de Producción	20000,00	21800,00	22800,00	23800,00	24800,00
Gastos de Extracción	Q.42029,60	Q.45812,26	Q.47913,74	Q.50015,22	Q.52116,70
Gastos de Procesamiento	Q.46609,42	Q.50804,27	Q.53134,74	Q.55465,21	Q.57795,68
Costos Administrativos	Q.63207,20	Q.64152,34	Q.65763,72	Q.67444,53	Q.69198,12
<b>TOTAL</b>	<b>Q.151846,22</b>	<b>Q.160768,88</b>	<b>Q.166812,20</b>	<b>Q.172924,96</b>	<b>Q.179110,50</b>

Fuente: Dirección General de Minería.

#### 4.3.6. Plan de inversiones

En las tablas XX y XXI, se muestran los costos de la inversión para la instalación del taller artesanal.

Tabla XX. Costos de inversión, opción A

PROYECTO: PRODUCCIÓN DE GRANATE TIPO GEMA	
Plan de inversiones e instalaciones	
(Quetzales)	
	ALTERNATIVA "A"
<b>A. Inversiones fijas</b>	Moneda nacional
<u>Terreno y urbanización</u>	
Terreno	Q.32 200,00
<u>Edificios y construcciones</u>	
Edificios	Q.33600,00
Electricidad	Q.601,07
Supervisión	Q.2300,00
Imprevistos (10% electricidad. - supervisión)	Q.2901,07
<b>Maquinaria y equipo instalado</b>	
Maquinaria	Q.29764,00
Instalación y transporte	Q.700,00
Herramientas	Q.2446,22
Imprevistos (10% electricidad.- equipo instalado)	Q.700,00
<b>Mobiliario y equipo de oficina</b>	
Mobiliario y equipo	Q.2450,00
Imprevistos	Q.700,00
<b>TOTAL INVERSIÓN FIJA</b>	Q.108362,36
<b>B. Inversiones en activos circulantes</b>	
<b>(Capital de trabajo considerado durante los dos primeros meses de operación )</b>	
Materia prima y otros materiales	Q.840,00
Mano de obra directa	Q.15400,00
Lubricantes, energía eléctrica y agua	Q.658,00
Sueldos administrativos	Q.4200,00
Materiales de oficina	Q.280,00
<b>TOTAL INVERSIONES ACTIVO CIRCULANTE</b>	Q.21378,00
<b>TOTAL INVERSIONES (A+B)</b>	Q.129740,36

Fuente: Dirección General de Minería.



Tabla XXI. Costos de inversión, opción B

PROYECTO: PRODUCCIÓN DE GRANATE TIPO GEMA	
Plan de inversiones e instalaciones	
(Quetzales)	
	ALTERNATIVA "B"
<b>A. Inversiones fijas</b>	Moneda nacional
<u>Terreno y urbanización</u>	
Terreno	
<u>Edificios y construcciones</u>	
Edificios	
Electricidad	
Supervisión	
Imprevistos (10% electricidad - supervisión)	
<b>Maquinaria y equipo Instalado</b>	
Maquinaria	Q.29 764,00
Instalación y transporte	Q.700,00
Herramientas	Q.2 446,22
Imprevistos (10% electricidad.- equipo instalado)	Q.700,00
<b>Mobiliario y equipo de oficina</b>	
Mobiliario y equipo	Q.2 450,00
Imprevistos	Q.700,00
<b>TOTAL INVERSIÓN FIJA</b>	Q. 36 760,22
<b>B. Inversiones en activos circulantes</b>	
<b>(Capital de trabajo considerado durante los dos primeros meses de operación )</b>	
Materia prima y otros materiales	Q.840,00
Mano de obra directa	Q.15 400,00
Lubricantes, energía eléctrica y agua	Q.658,00
Sueldos administrativos	Q.4 200,00
Materiales de oficina	Q.280,00
Alquiler	Q.1 960,00
<b>TOTAL INVERSIONES ACTIVO CIRCULANTE</b>	Q.23 338,00
<b>TOTAL INVERSIONES (A+B)</b>	Q.60 098,22

Fuente: Dirección General de Minería.

#### 4.3.7. Resultados

Luego de realizadas las evaluaciones de inversión, se muestra el resumen con los resultados en la tabla XXII.

Tabla XXII. **Resultados obtenidos para inversión tipo A y tipo B**

Tipo inversión	Total de la inversión (Q)	Tabla Fuente	No. Página
OPCION A	Q.129 740,36	XX	118
OPCION B	Q.60 098,22	XXI	119

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXII se observa una diferencia en la inversión de 46,32% menos de la opción B, en relación a la opción A, por lo que resulta más factible tomar la opción B si no se tiene un lugar fijo propio de producción. Añadido a esto, se puede valorar el alquiler como una ventaja competitiva, ya que dependiendo el lugar de donde provenga la materia prima, se pueden minimizar costos. Por ejemplo, el costo de mano de obra, traslado y producto al consumidor final.

## **5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y MEJORA CONTINUA**

El estudio de impacto ambiental tiene la finalidad de determinar el tipo de alteraciones que causaría en el ambiente, el taller artesanal propuesto para trabajos de joyería en base al granate. Además proporciona la información necesaria para la elaboración de un plan de mitigación ambiental que ayude a contrarrestar cualquier incidente de dicha naturaleza.

### **5.1. Evaluación de impacto ambiental**

La explotación que se espera se ejecute en un momento dado en las áreas o depósitos seleccionados, como ya se mencionó con anterioridad, será de manera manual o artesanal, con instrumentos simples, por lo que el impacto al ambiente será mínimo. Al crear la explotación selectiva manual se evitaría algún daño que pudiera ocasionarse al entorno, y a cambio se estaría generando una muy buena fuente de trabajo para las comunidades en una actividad económica no convencional y contribuyendo también al incremento del mercado de artesanías en la localidad.

Cuando se habla del impacto ambiental, representa la alteración que se produce en el ambiente al ejecutar determinada actividad o proyecto; sin embargo, dicha alteración no siempre es negativa, por el contrario, en diversas situaciones favorece al medio.

En los impactos o efectos sobre el ambiente se debe de considerar:

- Si sirve para mejorar la zona, es positivo
- Si degrada la zona, es negativo
- Si causa destrucción, considerar su intensidad (total, baja.)
- Si es mitigable, reversible o irrecuperable
- Su periodicidad, si es continuo o de vez en cuando

### 5.1.1. Matriz de efectos ambientales

Dentro de la matriz de efectos negativos y positivos se procura establecer una valoración preliminar de los efectos que causaría al medio ambiente la instalación del taller artesanal, así como la extracción de la materia prima en el departamento de Quiché, la cual operará mediante las especificaciones descritas en el capítulo anterior. Ver figura 42.

Figura 42. Matriz de efectos ambientales

RECURSO	EFEECTO NEGATIVO	EFEECTO POSITIVO	EFEECTO INDEFINIDO
Agua: su uso no interviene directamente en la producción, por lo que no se requiere de grandes cantidades del mismo.		No es parte fundamental del proceso productivo, por lo que su uso no representará un efecto negativo.	El uso que se hará de este recurso es como el que se realiza en cualquier hogar.
Aire: no será afectado, ya que no existe maquinaria que emane gases tóxicos al ambiente.			No se tiene contemplado el uso de maquinaria que emane gases.
Suelo: parte fundamental para la instalación del taller y de la extracción de la materia prima.	Existe modificación del suelo en el área de extracción, aunque con un impacto leve.		La construcción de la planta se encuentra clasificado como una nave industrial de tipo artesanal.

Fuente: Dirección General de Minería.

## **5.2. Plan de mitigación ambiental**

Un plan de mitigación ambiental son las medidas descriptivas a tomarse en situaciones de emergencia, el cual es un acto, condición o situación imprevista e inesperada ambiental, que de no atenderse de inmediato podría ocasionar daños a la salud, seguridad o bienestar de los organismos, incluyendo al ser humano o a la calidad del medio ambiente.

El plan de mitigación ambiental es una herramienta necesaria para este tipo de proyectos debido a la naturaleza del mismo. Dentro del plan se toman en cuenta los desechos sólidos y el plan de acción ante este caso.

Los desechos sólidos que pueden existir, se derivan del procesamiento de pulido, corte y lustrado de las rocas. Al realizar estas actividades se acumula moscovita (material desechable), el cual deberá ser desechado, por lo tanto es necesario contar con un sistema de evacuación para este sólido.

### **5.2.1. Manejo de desechos sólidos**

El manejo de los desechos sólidos, producto de la actividad minera debe garantizar el menor daño posible a la salud humana o de otros organismos, para ello hay que definir lo que significa residuos peligrosos: son los desechos que requieren precauciones especiales para su almacenamiento, recolección, transporte y eliminación.

En este caso se enfoca a desechos minerales, los cuales se deben de almacenar en recipientes metálicos encubiertos evitando su expansión tanto en el área interna como externa del taller.

### **5.2.2. Estrategias de protección ambiental**

Como se estableció anteriormente, es necesario prevenir, controlar, mitigar y rehabilitar los efectos de los impactos ocasionados por el simple hecho de existir una intervención del hombre, para lo cual se dan las siguientes recomendaciones:

- Almacenamiento de los químicos y líquidos inflamables en un área segura y protegida, para evitar derrames nocivos al ambiente. Dichas sustancias deben estar bien identificadas para evitar algún accidente.
- Aplicar el reciclaje de los desechos sólidos, los cuales deben de identificarse previo al desecho.
- Implementar un sitio adecuado de almacenamiento temporal de los desechos para evitar algún esparcimiento.
- Utilizar a determinadas horas maquinaria y equipo que provoque más de 100 decibeles.

### **5.3. Auditorías**

La auditoría interna es un control de dirección que tiene por objetivo la medida y evaluación de la eficacia de otros controles. Surge con posterioridad a la auditoría externa, ante la necesidad de mantener un control permanente y más eficaz dentro de la empresa y la necesidad de hacer más rápida y efectivo la función del auditor externo.

### **5.3.1. Guía procedimental de auditorías mineras**

- Objetivo: establecer las actividades normales para realizar las auditorías mineras externas.
- Alcance: este procedimiento es de carácter normativo para aquellas personas u organizaciones que realicen auditorías a la ejecución de títulos mineros.

#### **5.3.1.1. Definiciones**

- Cliente: organización o persona que solicita una auditoría.
- Partes interesadas: organizaciones o personas interesadas en el desempeño de un proceso, sistema o auditoría.
- No conformidad: incumplimiento de un requisito de ley o establecido por el cliente.
- Traslado de hallazgo: información de carácter oficial que el auditor minero externo realiza a la autoridad minera sobre un incumplimiento o irregularidad ambiental o de seguridad e higiene mineras.
- Titular minero: persona natural o jurídica con derecho a explorar y explotar minas de propiedad estatal mediante título minero.
- Auditor minero externo: profesionales y firmas de reconocida y comprobada idoneidad autorizados por la autoridad minera.

- Auditor líder: persona representante del auditor minero externo autorizado que coordina el equipo de auditores y realiza la gestión de la auditoría ante el titular minero.
- Equipo auditor: grupo de personas con la competencia de auditor que realizan las auditorías en cada una de las actividades del título minero.
- Plan de mejora: acciones planteadas, con responsables y plazos, por el titular minero, para eliminar las causas de las no conformidades encontradas por el auditor en la auditoría minera externa.

#### **5.3.1.2. Procedimiento**

- Elaborar el programa de auditorías: incluir cronograma de planeación, teniendo en cuenta los factores asociados con los riesgos, las variables de una auditoría minera (técnicos, operativos, ambientales, uso de los recursos naturales renovables y no renovables, normas de seguridad e higiene minera) disponibilidad de auditores y auditados, tiempo, periodos de cierres o picos de operación, así como el presupuesto requerido y los recursos para la planificación de la auditoría. El responsable será el auditor líder y equipo de auditores mineros externos autorizados.
- Elaborar el plan de auditoría y hoja de verificación: realizar con previa revisión del respectivo expediente minero, la auditoría minera anterior, el plan de mejoramiento, la documentación técnica aplicable, (criterios de auditoría), la labor a auditar (manual de auditorías mineras externas). Los responsables serán los auditores asignados por actividad por parte de la empresa autorizada.



- Realizar reunión preliminar con auditados: para presentar los miembros del equipo auditor, revisar el alcance y los objetivos de la auditoría, presentar el método y procedimientos que utilizarán para realizar la auditoría. Confirmar los recursos, las instalaciones y la fecha y hora de la reunión de cierre, y aclarar cualquier detalle de la auditoría. Quien interviene en este procedimiento es el auditor líder con su equipo de auditores, así como los funcionarios del titular minero.
- Ejecutar la auditoría en campo: siguiendo el plan de trabajo y recolectando evidencias con base en la hoja de verificación. En este punto intervienen los auditores directamente con los auditados del titular minero.
- Redactar las no conformidades: analizar en reuniones mesa de trabajo, según frecuencia establecida en cronograma de auditorías, los incumplimientos con las respectivas pruebas y si da a lugar, redactar las no conformidades y consignar en el informe preliminar. Esto será realizado por el auditor líder y su equipo de auditores.
- Trasladar a la autoridad minera incumplimientos ambientales o de seguridad e higiene mineras: analizarlos en mesa de trabajo, en el momento que se evidencien, recolectar las pruebas, dar traslado a la autoridad minera, para que se informe a la autoridad que corresponda y consignar en el informe preliminar. Esto lo llevará a cabo el auditor líder, junto con su equipo de auditores.
- Realizar el informe preliminar: consolidando las no conformidades, traslados de incumplimientos ambientales y seguridad e higiene minera. Esto lo llevará a cabo el auditor líder, junto con su equipo de auditores.

- Presentar el informe preliminar al auditado: con las no conformidades y correspondientes pruebas. Presentar los informes de traslado de incumplimientos ambientales, seguridad e higiene minera y revisar que se hayan planteado los planes de acción correspondientes. Presentar las y las conclusiones correspondientes. Determinar las fechas para entrega del informe final por el auditor minero, entregar el plan de mejoramiento por los auditados a la autoridad minera. En este punto intervienen el auditor líder con su equipo, y los funcionarios del titular minero.
- Realizar el informe final y entregar a autoridad minera: el cual se compone de los aspectos favorables y por mejorar, observaciones y no conformidades, requisitos de la ejecución del título minero que incumple, evidencia objetiva que la soporta y los posibles riesgos que esto trae para el desempeño, el logro de los objetivos. Punto a cargo del auditor líder y su equipo de trabajo.
- Realizar plan mejoramiento y entregar a autoridad minera: describir las acciones para eliminar las causas encontradas con respecto a los compromisos de norma y contractuales del título minero.
- Entregar plan de mejoramiento a la autoridad minera en el plazo establecido con el auditor minero externo: efectuar el seguimiento al plan de mejora, verificar que las no conformidades no se vuelvan a presentar, de lo contrario, reformular el plan de mejoramiento.

## CONCLUSIONES

1. Guatemala es un país, no solamente rico en flora y fauna, sino también se considera de gran potencial en el desarrollo de la minería, debido a ello, y al alto contenido de granate localizado en las distintas rocas ubicadas en varias regiones del país, se debe promover mediante métodos de extracción de mínimo impacto ambiental la utilización del mismo en los distintos procesos industriales debido a las características mecánicas del mineral mencionado.
2. Luego de los distintos ensayos realizados en laboratorio, se determinaron las características mineralógicas del granate, en las cuales se determinó, que por su dureza y apariencia, puede ser utilizado, tanto para aplicaciones en abrasivos, como en la joyería y artesanía.
3. Mediante el uso de herramientas como los diagramas de flujo de operaciones y cursogramas del proceso enfocados al proceso de minado y pulido de granate, se muestra una forma efectiva de aprovechamiento del mineral para utilización industrial, minimizando tiempos (costos) y optimizando materia prima.
4. El granate brinda una alternativa para la creación de nuevas fuentes de trabajo, y no solamente eso, sino que diversifica la actividad artesanal en Guatemala. Con la información obtenida en los capítulos anteriormente descritos, se puede visualizar las regiones de más presencia de este mineral, el cual, por ser en el interior de la república, contribuye al desarrollo rural. Cabe destacar la importancia de dar a conocer esta

materia prima, para que personas inversionistas y con visión, puedan llevar a cabo la propuesta sugerida en el presente informe.

5. El proceso de minado y extracción, el cual fue abarcado en el capítulo 3, se muestra con detalle, brindando los pasos y materiales necesarios, para que se pueda llevar a cabo dicha práctica, de una manera ordenada y efectiva. Cabe resaltar que este proceso debe ser realizado con todas las indicaciones del caso y el debido cuidado, para el manejo de los residuos sólidos, y cuidado del ambiente.
6. En Guatemala, no se cuenta con un sistema de auditorías en minería, debido a ello, se propone una guía (ver guía procedimental de auditorías mineras), la cual consta de pasos ordenados, los cuales, pueden aplicarse tanto de forma interna como externa, para la supervisión de las operaciones, formas de ejecución y cuidados necesarios para el cuidado del medio ambiente, esto debe ir acompañado de un estudio de impacto ambiental previo a la realización del mismo. La forma propuesta de minado, contribuye al mínimo impacto ambiental, sin embargo, son necesarias las auditorías, para el constante mejoramiento del procedimiento actual.
7. Es fundamental para la realización de la práctica minera, el conocimiento de la ley de minería, ya que ésta dictamina legalmente, las formas correctas de explotación minera en el país, brindando información de los derechos y obligaciones que se tienen al momento de llevarlo a cabo.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario el apoyo tanto de instituciones gubernamentales, como el apoyo nacional e internacional, para llevar a cabo el desarrollo de la minería en el país, ya que con este recurso se puede diversificar no sólo la actividad minera, sino la actividad artesanal, generando nuevas formas de empleo, aprovechando los recursos naturales.
2. Implementar programa de auditorías a futuras y actuales prácticas mineras en el país, no solamente supervisando la manera de cómo se ejecutan, sino considerando también, el cuidado del medio ambiente, mediante controles de desechos y de ruido, con la finalidad de poder llevar a cabo esta práctica sin tener consecuencias.
3. Deberá buscarse el apoyo financiero para la implementación del taller artesanal propuesto, para poder continuar la siguiente fase del proyecto, la cual consiste en la puesta en marcha de los talleres artesanales.
4. Posterior a la implementación de los talleres artesanales, es importante evaluar, dependiendo el volumen de producción, la manera de tecnificar estas prácticas, a manera de aumentar la oferta, y por ende, ampliar el mercado.

5. Impulsar el desarrollo de la actividad minera en Guatemala, a través de fomentar la protección al medio ambiente, para lograr el porvenir del país de forma integral.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO CARÍAS, Carlos H. *Aprovechamiento del granate en joyería*, Guatemala: MEM, 2002. 80 p.
2. ALVARADO CHAVARRIA, Carlos A. *Estudio de factibilidad para el aprovechamiento y procesamiento de caliza fosilífera en el departamento de Huehuetenango*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 88 p.
3. Dirección General de Minería. *Caracterización de la minería en Guatemala*. Guatemala: MEM, 2004. 75 p.
4. Guatemala. Congreso de la República. *Decreto 1441, Artículo 199-200 Código de trabajo*. Guatemala, 1971. 182 p.
5. -----. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Acuerdo gubernativo número 431-2007*. Guatemala: MARN, 2004. 13 p.
6. -----. Ministerio de Energía y Minas. *Acuerdo Legislativo número 48-97. Ley de minería*. Acuerdo ministerial número 176-2001. 2001. 39 p.





## ANEXOS

### 2.1. Anexo Principios de seguridad minera y primeros auxilios

- Reglas básicas de seguridad

Las diez reglas básicas de seguridad definen los principios básicos que anteceden a todas las reglas especiales que se puedan dar y son las siguientes:

1. Reciba órdenes de su jefe y siga las instrucciones de seguridad. No corra riesgos, si no sabe pregunte.
2. Corrija o reporte todas las condiciones inseguras o sub estándares.
3. Mantenga limpio y ordenado su lugar de trabajo.
4. Use el equipo o herramienta apropiado para cada trabajo, dentro del límite de seguridad diseñado.
5. Informe todo incidente y accidente por leve que fuere y reciba pronto los primeros auxilios.
6. Use, ajuste y repare los equipos solamente cuando esté autorizado.
7. Use su equipo de protección personal en todo momento.
8. No juegue, ni haga bromas. Evite distraer a sus compañeros.
9. Cuando levante objetos, doble las rodillas y levante con las piernas, consiga ayuda para cargas pesadas.
10. Cumpla con todas las reglas y avisos de seguridad y sobre todo use su sentido común.

Continuación del anexo.

- Inspecciones de seguridad

La inspección es uno de los mejores instrumentos disponibles para descubrir los problemas y evaluar sus riesgos antes que ocurran los accidentes y otras pérdidas. Un programa de inspecciones bien dirigido, puede llegar a cumplir metas como las siguientes:

- Identificar los problemas potenciales que no se previeron durante el diseño o análisis de tareas.
  - Identificar las deficiencias de los equipos.
  - Identificar acciones inapropiadas de los trabajadores.
  - Identificar las deficiencias de las acciones correctivas.
  - Demostrar el compromiso asumido por la administración a través de una actividad visible para la seguridad y la salud.
- Necesidades de inspección

En cualquier tipo de organización, las exposiciones a pérdidas se crean como resultado del trabajo diario. Los equipos y las instalaciones realmente se desgastan. En determinado momento, el uso y el desgaste aumentan demasiado el riesgo de accidentes. Las inspecciones son necesarias para detectar oportunamente dichas exposiciones. También proporcionan una retroalimentación que permite establecer si la adquisición de equipos y entrenamiento de los trabajadores son adecuados. También las condiciones cambian. La gente, los equipos, los materiales y el medio ambiente están cambiando constantemente. Algunos cambios disminuyen los peligros

Continuación del anexo.

anteriores y otros, crean nuevos peligros. Una importante filosofía administrativa dice que “todos los problemas son el resultado de los cambios”. Las inspecciones se centran en estos cambios y ayudan a identificar y resolver los problemas.

- Inspecciones planificadas

La experiencia y el criterio personal han identificado claramente la necesidad de efectuar dos clases de inspecciones planeadas:

- La Inspección General. Incluye caminar a través de una sección completa, mirando todo y cada caso que pueda causar daño potencialmente en la operación. La frecuencia de las inspecciones deberá dar un tiempo razonable al personal responsable para hacer el trabajo de reparación de los objetos o partes informados, aunque es suficiente para mantener a los accidentes potenciales alejados en porcentaje significativo.
- Inspección de la Partes Críticas. El tener conciencia de las partes críticas de cualquier equipo, maquinaria, aparato o facilidad, es una preocupación lógica de cualquier buen administrador / supervisor. El mantener todas las cosas funcionando a un nivel de eficiencia deseado, es una de las responsabilidades básicas del supervisor que debería dejarse libradas al azar.

Continuación del anexo.

- Evaluaciones de orden y limpieza

Las evaluaciones de “orden y limpieza” son una parte vital de una efectiva inspección planificada de carácter general. Esto incluye tanto limpieza como orden.

La suciedad y el desorden son enemigos de la seguridad, calidad, productividad y la efectividad de costos. Las inspecciones proporcionan excelentes oportunidades para buscar signos de desorden como algunos de los siguientes:

- Elementos que se encuentran obsoletos y no necesarios.
- Pasillos obstruidos
- Equipos dejados fuera de su lugar
- Materiales que acumulan polvo y óxido debido al desuso
- Derrame, filtraciones y materiales que crean peligros a la salud y a la seguridad.

El orden y limpieza significa que las cosas se encuentran dónde deben estar, para una máxima productividad, calidad-seguridad y control de costos. Ello produce beneficios como los siguientes:

- Elimina causa de lesiones accidentales e incendios.
- Evita el desperdicio de energía.
- Logra un mayor provecho del espacio.
- Ayuda a controlar el daño a la propiedad y el derroche.
- Estimula mejores hábitos de trabajo.

Continuación del anexo.

- Refleja un lugar bien administrado.
- Elementos de Protección Personal (EPP)

El equipo de protección personal debe verse siempre como la última línea débil de defensa. Tanto el empresario como el trabajador deben percatarse de que la falta del dispositivo o el dejar de usarlo expone de inmediato a la persona al riesgo inminente.

Las protecciones personales se deben utilizar cuando se verifica la insuficiencia de los sistemas de prevención y tras agotar la posibilidad de implantación de los sistemas de protección colectiva o como complemento de este; por ello son la última barrera entre el individuo y el riesgo.

Estas deben ser adecuadas al riesgo que protegen, no generar nuevos riesgos, no dificultar el trabajo, ser cómodas, adaptadas a cada persona, y que se puedan quitar y poner fácilmente.

### **¿Qué deben hacer los trabajadores, con respecto al EPP?**

Todos los trabajadores deben usar el EPP en forma correcta. El hacer caso omiso de esto puede llevar a la toma de medidas disciplinarias. Sin embargo los trabajadores deben ser alentados y motivados para que se hagan responsables por su propia salud y seguridad. Esto se puede lograr a través de la toma de conciencia y comprensión de los principios, objetivos y beneficios del uso del EPP en forma correcta en todo momento.

Continuación del anexo.

### **¿Cómo sabremos qué tipo de equipo usar?**

Hay una amplia variedad de equipo en el mercado. Una vez que conoce el tipo de riesgo y peligro, se debe designar a alguien para que se haga responsable de asegurarse que se tenga en stock el equipo que se requiere y para que este se use correctamente.

### **¿Quién es responsable por capacitar a los trabajadores sobre el uso del EPP?**

La empresa a través de su Departamento de Prevención de Riesgos debe preocuparse que los trabajadores reciban la capacitación adecuada. Hay muchos proveedores de este tipo de equipo que cuentan con excelentes programas al respecto.

### **¿Es una garantía de seguridad que el usar el EPP evitará la exposición a algún riesgo o peligro?**

No. Todos los EPP tienen sus limitaciones.

Cada tipo de EPP está diseñado con un propósito muy específico. Sin embargo, existen muchos factores que tienen un efecto respecto de su eficiencia. Entre ellos podemos incluir el de la limpieza y almacenamiento; los niveles de humedad, la exposición a los solventes que provocan algún tipo de daño en algunos materiales, también se debe tomar en cuenta la susceptibilidad propia del trabajador. Además, la manera como hagamos uso del EPP también es un elemento de juicio que se deberá considerar para ver cuán efectivo es este.

Continuación del anexo.

### ¿Qué tipos de equipos de protección existen en el mercado?

- *Para la cabeza:* cascos, gorros, mallas capilares.
- *Para los ojos:* anteojos, gafas o antiparras, visores faciales protectores y lentes ópticos reforzados.
- *Para los oídos:* tapones (de diversos tipos) y orejeras.
- *Para pulmones:* máscaras (su uso va desde las molestias causadas por el polvo hasta la protección contra ciertas sustancias. La elección depende de la toxicidad de estas y de qué tipo de sustancias se trata). Los respiradores (cartuchos), tubos de aire (trajes equipados) y los aparatos de respiración (en extinción de incendios).
- *Para el cuerpo:* delantales, trajes, casacas, batas.
- *Para piernas:* delantales y polainas.
- Para manos: guantes, mitones y manoplas.
- Para pies: botas, zapatos y protectores.

### Implementos básicos de seguridad en minería



Fuente: Proyecto Gama, principios de seguridad minera. Página 35.

