



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
ÁREA ACADÉMICA DE MATERIALES Y METALURGIA**

***“CARACTERIZACIÓN Y ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA  
EL REAPROVECHAMIENTO DE LA CANTERA DE  
TEZOANTLA, ESTADO DE HIDALGO”***

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MINERO - METALÚRGICO**

**PRESENTA:**

**ERICA ISLAS MARTÍNEZ**

**DIRECTORES: M en C. JUAN HERNÁNDEZ ÁVILA  
Dr. ELEAZAR SALINAS RODRÍGUEZ**

**PACHUCA DE SOTO, HGO.**

**FEBRERO 2007**

No tenía miedo a las dificultades;  
lo que me asustaba, era la obligación  
de tener que elegir un camino,  
porque esto significaría,  
tener que abandonar otros...

Paulo Coelho

# **AGRADECIMIENTOS**

A dios por todas la bendiciones que me da todos los días.

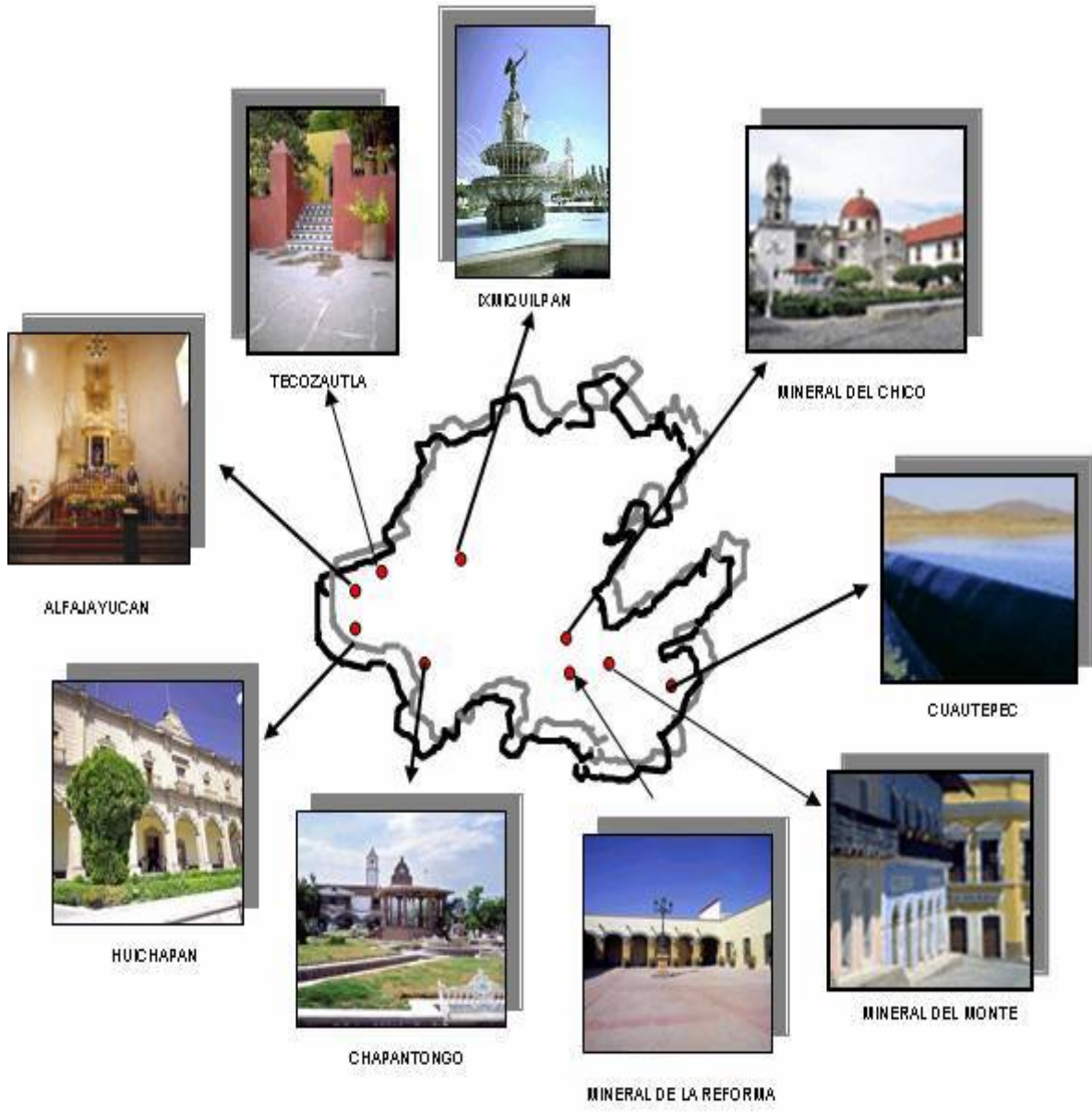
A mi familia por su apoyo incondicional, su gran amor, sus buenos deseos y su fe en mi, para enfrentar la dura tarea en la vida, seguir adelante. Los Amo!!!

Por la motivación, consejos, paciencia y por enseñarme cosas nuevas, pero sobre todo por guiarme en la realización de este trabajo, muchas gracias; M. en C. Juan Hernández Ávila y Dr. Eleazar Salinas Rodríguez.

A mis grandes amigos por su tiempo y comprensión en los momentos más duros de este camino.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera me han ayudado para lograr esta meta.

**GRACIAS**



# ÍNDICE

	PÁG.
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi
OBJETIVO.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
<b>CAPÍTULO 1</b>	
ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA CANTERERA.....	4
1.1 Definición.....	5
1.2 Localización y acceso al área de estudio.....	5
1.3 Geología simplificada.....	7
1.4 Tecnología aplicada a la explotación de una cantera.....	9
1.5 Métodos de extracción.....	11
1.6 Tecnologías para la extracción de cantera.....	11
1.6.1 Hilo helicoidal.....	12
1.6.2 Hilo diamantado.....	12
1.6.3 Corte al chorro de agua a alta presión.....	14
1.6.4 Cortadoras y rozadoras.....	14
1.6.5 Extracción manual.....	15
1.6.6 Cemento expansivo.....	17
1.7 Disposiciones ambientales.....	21
1.8 Producción del depósito de cantera.....	21
1.9 Potencial del material.....	22
1.10 Usos.....	22

	PÁG.
<b>CAPÍTULO 2</b>	
MATERIAL Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	26
2.1 Material.....	27
2.2 Caracterización mineralógica.....	28
2.3.1 Difracción de Rayos X (DRX).....	28
2.3.2 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).....	29
2.3 Caracterización química.....	30
2.4 Caracterización física.....	30
2.4.1 Pruebas de gravedad específica y porcentaje de absorción.....	31
2.4.2 Granulometría.....	32
2.4.3 Análisis termogravimetrico.....	33
2.5 Caracterización mecánica.....	34
2.5.1 Equivalente de arena.....	35
2.5.2 Arcillas.....	37
2.5.3 Resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados..	39
2.6 Prueba de calcinación.....	40
<b>CAPÍTULO 3</b>	
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
3.1 Difracción de rayos - X.....	42
3.2 Microscopía electrónica de barrido.....	43
3.3 Caracterización química.....	45
3.4 Caracterización física.....	47
3.4.1 Granulometría.....	49
3.4.2 Análisis termogravimetrico.....	50
3.5 Caracterización mecánica.....	53
3.6 Resultados de calcinación.....	62
CONCLUSIONES.....	64

	PÁG.
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	67
LISTA DE FIGURAS.....	71
LISTA DE TABLAS.....	73
GLOSARIO.....	74
ANEXOS.....	79

## RESUMEN

El estado de Hidalgo se ha caracterizado como uno de los principales productores de cantera a nivel nacional. Por consiguiente, la explotación, laminado y labrado de este material ha sido una actividad que ha propiciado el desarrollo de diversas regiones del estado desde hace más de 50 años.

Esta actividad ha producido miles de toneladas de residuos, que se han venido acumulando en tiraderos expuestos al medio ambiente, ocasionando con ello diversas alteraciones y problemas al mismo, esto se debe a las deficiencias de las técnicas utilizadas y a los problemas específicos de cada proceso.

Por otro lado, los residuos así generados han conservado sus características físicas y químicas originales, lo cual los coloca como residuos potencialmente aprovechables, o bien, proponerlos como materia prima en procesos industriales alternos.

Es por ello, que el presente trabajo está relacionado con la caracterización física, química y mineralógica de la roca extraída, con la finalidad de establecer sus principales características y analizar otras que le puedan dar un valor agregado, para ser reutilizados y reaprovechar los polvos, lodos y pedacería, producto de las actividades citadas; de los cuales el 60 % es considerado como desperdicio del material. De ésta manera se contribuiría con la posibilidad de remediar el medio ambiente en los lugares donde son depositados, además se constituiría una fuente atractiva de recuperación económica para los productores de piezas de cantera.

Los resultados más importantes obtenidos reflejan que este tipo de residuos por sus características mineralógicas, físicas, químicas y granulométricas, pueden ser utilizados como sustituto de feldespato en la producción de piezas y muebles



cerámicos para baños así como para la elaboración de esmaltes en las mismas piezas cerámicas, de acuerdo a las combinaciones que puedan hacerse al variar la concentración de  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ .

Debido a las pruebas de humedad y gravedad específica realizadas se propone el uso de este material como un mejorador de suelos, así como también en sistemas de hidroponía, siendo una alternativa para la producción de alimentos en zonas de escasez de agua.

De igual forma, las pruebas físicas realizadas, revelan la posibilidad de utilizar este material como sello 3A en procesos de pavimentación y asfaltado de calles y carreteras.

Con los resultados preliminares, obtenidos en éste trabajo de tesis, se pone de manifiesto la posibilidad de reutilizar y reaprovechar este tipo de residuos, logrando así una posible remediación medioambiental y darle a la vez, un valor agregado que mejorará la actividad económica de las empresas dedicadas a la explotación, laminado y labrado de canteras en el estado de Hidalgo.

## ABSTRACT

Hidalgo State has been characterized as one of the principal producers of cantera stone in Mexico. As a consequence of exploitation, laminated and hand carved of this material has been an activity that has lead development in some regions of the state during more than 50 years.

This economical activity has produced, due the used techniques and the problematic of each process employed, thousands of tons of wastes that have been accumulated in ponds exposed to environmental leading so alterations and troubles to the ecosystems.

By the other hand, these kind of wastes, have conserved its original physics and chemical characteristics, which put them as wastes potentially reusable, or at least, as raw materials for optional industrial processes.

For these reasons, the present work is related with physic, chemical and mineralogical characterization of mined cantera stone, with the target to establish its principal characteristics and analyzes others that can give it and additional value, for its reuse and the reutilization of dusts, slurries and small pieces of stone, product of the unit operations; from where 60 % is considered as waste. With this we are thinking in the possibility of solve many of the problems with environment in that places where these wastes has been stored, besides this material will turn into an attractive source for the producers of cantera pieces.

The most important results obtained reflect that this kind of waste for its physics, chemical and mineralogical characteristics, can be used as substitute of feldspars in the production of pieces and ceramic furnitures for bathrooms, and also for the elaboration of paints for the same ceramic pieces according to the

mixes that can be made with the variation of concentration of  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  and  $\text{K}_2\text{O}$ .

According to the humidity proofs and specific gravity done, this material of proposed as soils improver, so as in hydroponics systems too, leading so an alternative for the production of foods in zones leaking of water.

In the same way, the physical proofs done, relief the possibility of use this material as seal 3A in process of asphaltting of roads, highways and streets.

Whit the preliminary results obtained in this work of thesis, we are in the possibility of suggest the reuse and reutilization of these kind of residues, getting so the partial solve of environmental problems and giving to the waste and additional value that will improve the economical activity to the enterprises dedicated to the exploitation, laminated and hand carved of the cantera stone in Hidalgo State, Mexico.

## **OBJETIVO**

El objetivo principal de éste trabajo, es caracterizar química, mineralógica y granulométricamente las canteras de los bancos de Tezoantla, Hidalgo. Así como evaluar sus principales propiedades físicas y mecánicas; con la finalidad de proponer usos alternos para los residuos generados durante su explotación, labrado y laminado.

## JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la industria canterera en el estado de Hidalgo, contempla más de 50 años de explotación, laminado y labrado de este material; debido a estas actividades se han producido enormes cantidades de desechos en estos procesos, los cuales han sido acumulados en vertederos y tiraderos expuestos a la intemperie dando como consecuencia un foco importante de alteración hacia el medio ambiente y los hábitat que lo constituyen. Al mismo tiempo, representa toneladas de material que conserva sus propiedades originales y que puede ser reutilizado en otras industrias alternas como materia prima. En la actualidad no han sido caracterizados ni estudiados, para conocer su naturaleza mineralógica, química y granulométrica, lo que representa una tarea importante de realizar para evaluar la viabilidad de su reutilización como material industrial alternativo.

Desde el punto de vista ecológico y/o económico, el reciclado y reutilización de residuos tanto sólidos como líquidos que han sido vertidos al medio ambiente, siempre manifiestan un proyecto de gran trascendencia. Es por ello, que es fundamental llevar a cabo un completo estudio de caracterización para poder establecer los parámetros que permitan sustentar viabilidad de la reutilización de los residuos de la explotación de cantera en el estado de Hidalgo.

De esta manera, este trabajo se suma a muchos más relacionados con el estudio del reaprovechamiento, inertización y reutilización de residuos tóxicos y no-tóxicos procedentes de procesos minero metalúrgicos, de minerales metálicos y/o no metálicos.

Es así como se propone el presente trabajo, que pretende dar a conocer las características químicas, mineralógicas, granulométricas y algunas propiedades físicas, del material de explotación de las canteras de la región de Tezoantla, Hidalgo; con el propósito de proponer usos alternos y con esto, el

reaprovechamiento de tales residuos, lo cual representará ganancias tanto económicas como de remediación del medio ambiente a la región donde se procesa dicho material. Algunas posibles aplicaciones de este material pueden ser; como sustituto de feldespatos mixtos, así como también se podría utilizar como mejorador de suelos, entre otros. Este material solo puede ser utilizado como material pétreo con especificaciones de sello 3A establecidas para agregados pétreos bajo la norma NMX C-111 <sup>(22)</sup>, no obstante; cabe mencionar que no cubre las especificaciones para grava y arena.

---

# **CAPÍTULO**



**1**

**ANTECEDENTES DE  
LA INDUSTRIA  
CANTERERA**

---

## 1.1. DEFINICIÓN

Las canteras (en éste trabajo); son rocas ígneas extrusivas llamadas tobas volcánicas, las cuales están constituidas principalmente por cenizas volcánicas, clastos, piroclastos y lapilli depositadas a diferentes distancias del cráter emisor, por lo general a una distancia mayor que los fragmentos de mayor tamaño como bombas, bloques y aglomerados los cuales yacen como pseudoestratos, debido a que forman diferentes niveles de depósito que se consolidan con el tiempo, llamadas ignimbritas (*ash flow*) y tobas de caída (*ash fall*) <sup>(1)</sup>.

## 1.2. LOCALIZACIÓN Y ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el poblado de Tezoantla, municipio de Mineral del Monte; Hidalgo, al S 30° E y a 5.5 Km. del poblado del Real del Monte. Queda comprendida dentro de las coordenadas geográficas 20° 07' de latitud norte y de 98° 41' longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 30 km<sup>2</sup> con una altitud sobre el nivel del mar de 2914 msnm.

El acceso se logra por medio de un trayecto de aproximadamente 12 Km. (medido desde el centro de la cd. de Pachuca) por la carretera federal No. 105 México-Tampico, hasta el poblado de Real del Monte, desviándose en éste último punto por un camino empedrado, de 1 km. aproximado a recorrer, después de esa distancia continua la carretera pavimentada hasta llegar al poblado de Santa Rosalía, a 500 m de ese lugar aproximadamente, se encuentran los talleres de labrado de cantera de la localidad de Tezoantla y un camino de terracería que se observa hacia la derecha, que permite el acceso a los bancos del material. En la figura 1 se muestra el mapa de localización del área de estudio para este trabajo de tesis.



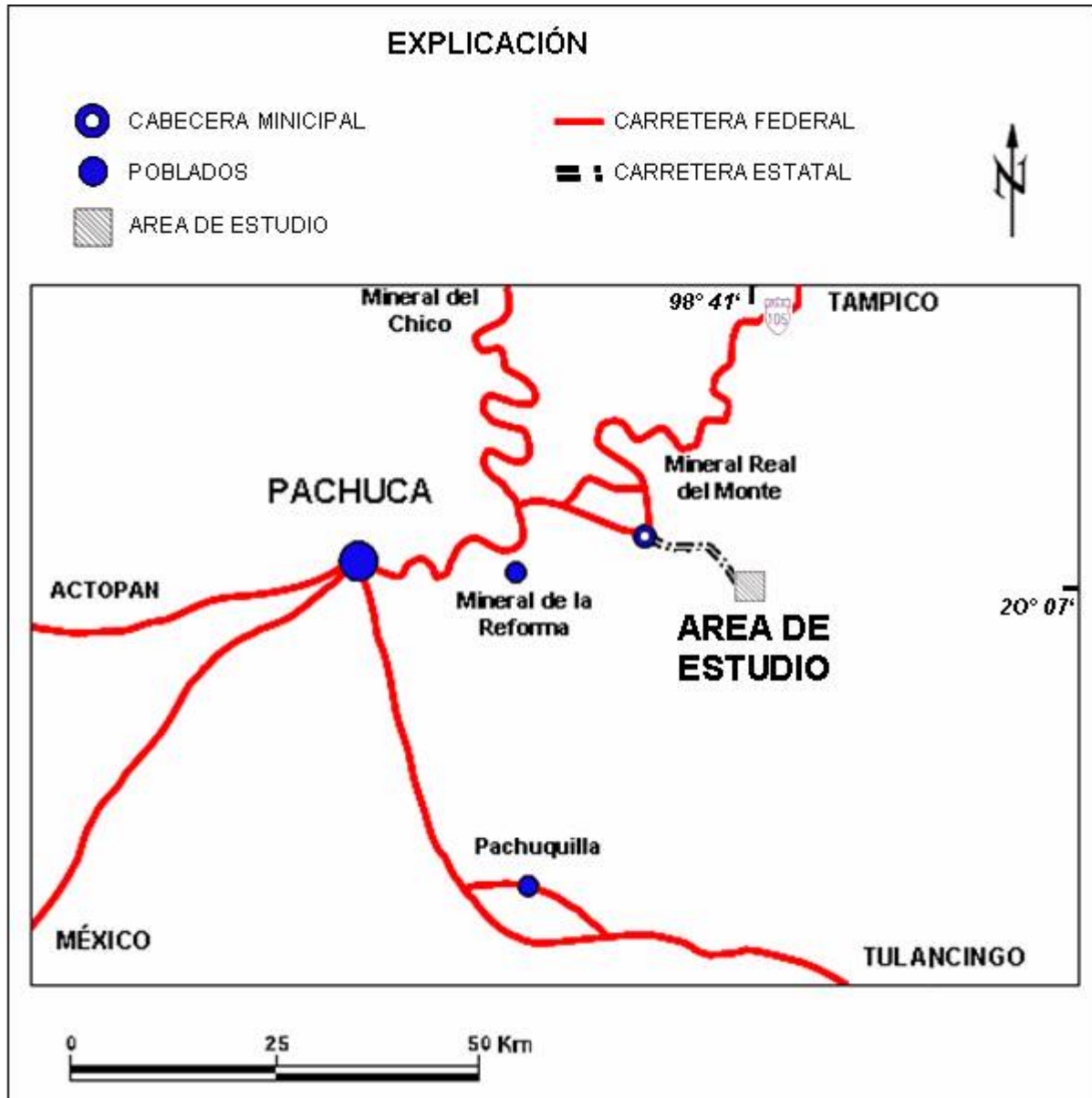


Figura 1. Plano de localización, prospecto de cantera ubicado en Tezoantla, municipio Mineral del Monte, estado de Hidalgo.

### 1.3. GEOLOGÍA SIMPLIFICADA

El depósito de cantera de la localidad de Tezoantla, situado en el municipio de Mineral del Monte, está constituido por roca volcánica de composición intermedia por su contenido de sílice (52 a 65%), de color blanco y en partes tenuemente verdosas; tales como andesita y riolita de origen ígneo y geometría lenticular; que por la ocurrencia y génesis se trata de tobas ignimbríticas (*ash fall*)<sup>(2)</sup>. El tamaño de grano es en su mayoría grueso e irregular.

Las rocas más antiguas que afloran en la región (figura 2), se ubican en la porción septentrional del área, mismas que se emplazan en fragmentos de cenizas volcánicas. Dentro de las formaciones presentes en el área encontramos el Grupo Pachuca (4.4 ± 0.1 M. A.)<sup>(3)</sup>, observando que la toba de andesita se encuentra encajonada por riolita, la cual sobreyace a la roca basáltica. En Atotonilco el Grande (23.7 a los 4.8 M. A.), se encuentran rocas como arenisca, conglomerado y basalto en menor proporción. Por último se observa el aluvión que pertenece al Cuaternario<sup>(3)</sup>.

Cabe mencionar que las edades señaladas son relativas, solo para dar idea de la antigüedad de las rocas de origen continental, algunas edades para las correlaciones fueron tomadas de Eicher, (1986)<sup>(4)</sup>. La correlación del área Tezoantla comprende rocas de edad Terciario al reciente.

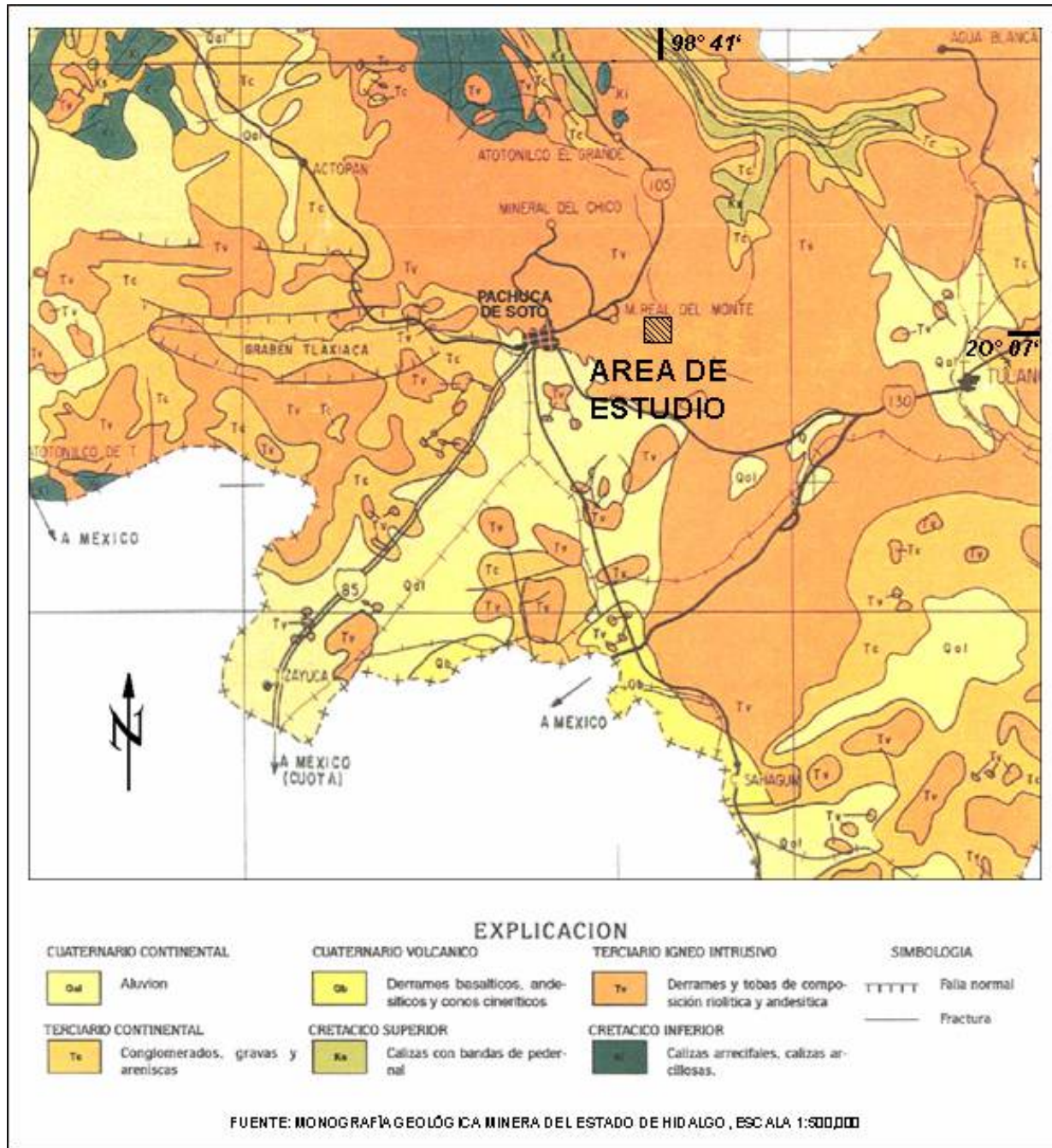


Figura 2. Plano geológico regional, prospecto de cantera ubicado en Tezoantla, municipio Mineral del Monte, estado de Hidalgo.

#### **1.4. TECNOLOGÍA APLICADA A LA EXPLOTACIÓN DE UNA CANTERA**

En México existe una tradición en la explotación y beneficio de rocas dimensionables, desafortunadamente la mayor parte de las explotaciones utilizan técnicas de extracción rudimentarias o semimecanizadas, lo cual causa pérdidas económicas considerables, aunque existen otras técnicas más sofisticadas que se mencionan más adelante <sup>(5, 6, 7)</sup>.

La explotación de las canteras generalmente se realiza a cielo abierto utilizando barrenas con punta de diamante, cinceles, marros, cuñas, sierras y discos con diamante o pólvora de forma adecuada que permite obtener bloques sin dañar o fracturar la roca.

Para llevar a cabo la extracción de bloques de cantera, es necesario evaluar el depósito en función de la calidad y el volumen de la roca, sus características físicas, homogeneidad y las condiciones estructurales del mismo, y así obtener una idea del sistema de explotación adecuado para extraer bloques con dimensiones específicas evitando grandes volúmenes de desechos y en su caso el aprovechamiento de ellos.

En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo del procesamiento de la cantera en general, el cual comienza con la explotación del material en forma rústica o bien utilizando equipo sofisticado el cual tiene como objetivo el lograr un mejor minado, un mayor volumen de producción y un mayor valor agregado del mismo; posteriormente el material es acarreado a los talleres y plantas de laminación en donde se les da un procesamiento adecuado para obtener el producto con las especificaciones solicitadas por los clientes, por medio del proceso de labrado o laminado. Una vez obtenido el producto es distribuido en los diferentes mercados de la construcción así también como piezas de ornato, destacando que durante el procesamiento de este material el aprovechamiento real es de un 40 %, obteniendo un gran volumen de desperdicio que corresponde al 60 % del material explotado, del cual hasta la fecha no se le ha dado un uso alternativo.

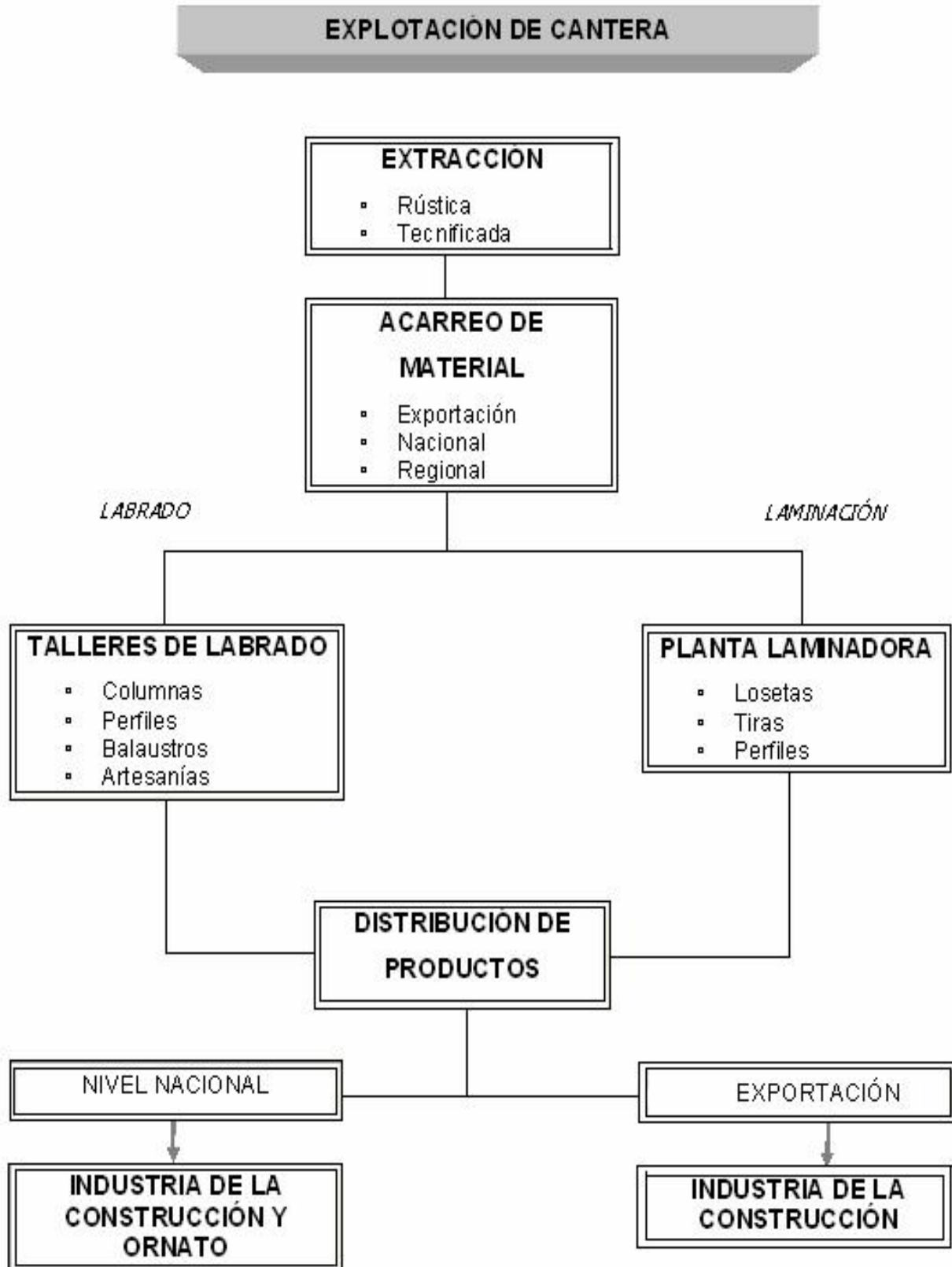


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de explotación de cantera.

## 1.5. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Para realizar una extracción en un frente de cantera es necesario llevar a cabo una serie de pasos, cuyas características se describen a continuación. Esto servirá para preparar el área de trabajo de manera idónea, siempre y cuando en las minas existan recursos para la maquinaria necesaria <sup>(8)</sup>.

*Abertura del canal.* Es la primera fase de un ciclo en un frente de cantera y puede ser realizada con hilo diamantado, corta - bloques neumáticas, lanza térmica y cortadoras de cadena o bien una combinación de las diferentes tecnologías.

*Corte al cerro.* Se realiza empleando alguna de las opciones de hilo diamantado, cortadoras de cadena o maquinas de aire comprimido.

*Volteo.* El volteo de los bloques se realiza sobre una capa de desperdicios, para evitar el impacto violento y limitar las posibles rupturas. Las técnicas usadas son a través de órganos, pistones oleodinámicos o globos de aire y de agua de alta presión.

*Cuadratura.* Se divide el bloque desprendido del cerro en bloques de dimensiones comerciales, utilizando corta - bloque neumático, hilo diamantado o monocuchilla.

*Manejo de materiales.* Depende del método de explotación. En general, en las canteras se utilizan trascabos con ruedas de hule u orugas, con extensión horizontal, tanto para el manejo de los bloques como para el de los desechos.

## 1.6. TECNOLOGÍAS PARA LA EXTRACCIÓN DE CANTERA

Existen diferentes técnicas para llevar a cabo la extracción de cantera en los bancos, más adelante se describen de forma general, aunque cabe mencionar que en

el área de estudio, donde se llevó a cabo el presente trabajo, se utiliza el más sencillo y económico de ellos, que es la extracción manual.

### **1.6.1. Hilo helicoidal**

Esta técnica consiste en utilizar un hilo trenzado con abrasivo, que puede ser doble o triple, montado sobre poleas para que se realice el corte de la roca en forma adecuada; los abrasivos más utilizados son arena sílica, óxido de aluminio y carburo de silicio.

Las poleas se montan sobre una pista o carril, de modo que puedan ser movidas y penetrar en el plano de corte para que el hilo pueda ser instalado en la roca. Las poleas están diseñadas de tal forma que puedan cortar su propio camino al estar presionadas en la roca <sup>(6)</sup>.

### **1.6.2. Hilo diamantado**

Esta técnica actualmente es utilizada en un 90 % en la extracción de canteras, su inconveniente principal es el costo del hilo diamantado, por lo que el valor de los bloques de cantera tienen que justificarlo económicamente.

Las máquinas utilizadas, funcionan con motor diesel o motor eléctrico, cuentan con un tablero de control remoto y avanzan automáticamente. Estos equipos pueden cortar con un cable (llamados policable), como se muestra en la figura 4, y hasta con doce cables <sup>(7)</sup>.



Figura 4. Rozadora de cable (hilo diamantado).

Asimismo este tipo de cortadoras pueden ser utilizadas en las plantas de laminación, como se muestra en la figura 5. Donde se observa una cortadora, la cual se utiliza para dimensionar los bloques de cantera obtenidos en mina.



Figura 5. Cortadora de bloques de cantera, con hilo diamantado.



### 1.6.3. Corte al chorro de agua a alta presión

El método se basa en la disgregación de la roca por la acción de un chorro de agua a alta presión, por tanto es un procedimiento de corte muy adecuado para las rocas de alta porosidad. Además esta técnica resulta ser un buen complemento del corte por hilo diamantado; en general, ésta última para el corte primario y el chorro de agua para el corte secundario y el escuadrado de bloques <sup>(9)</sup>.

Cabe mencionar que no se utiliza en México, por ser de reciente aplicación en otros países.

### 1.6.4. Cortadoras y rozadoras

Estas herramientas permiten realizar cortes paralelos (verticales y horizontales), con la ayuda de un brazo (de 1 a 4 m); este método permite lograr superficies de corte de alta calidad. Sin embargo, su utilización se limita a canteras explotadas por bancos descendentes que cuentan con plataformas de trabajo suficientemente anchas, debido a las dimensiones del equipo (ver figura 6). En la actualidad se utilizan cadenas provistas de plaquetas de tungsteno, el cual sustituye al diamante debido a sus propiedades similares, por lo que el costo del método disminuye <sup>(6)</sup>.



Figura 6. Rozadora de brazo.

### 1.6.5. Extracción manual

Esta técnica representa la manera más básica y más utilizada de extracción de bloques de cantera, la cual es empleada desde la antigüedad, debido a las ventajas que representa para los pequeños mineros, dueños de una mina de este material. Consiste en aprovechar las discontinuidades estructurales naturales del yacimiento, separando sus bordes hasta provocar el desprendimiento del bloque, como se muestra en la figura 7., la liberación de bloques se lleva a cabo por dos métodos:

- *Método de las rozas*; consiste en introducir cuñas de hierro, cuya distancia varía de acuerdo a la dureza de la roca (5 a 15 cm), para que al golpear con uno de los mazos, la roca se parta de acuerdo a la hilera de cuñas o rozas.

En otros casos se reemplaza la cuña de hierro por una de madera; esta se introduce cuando se encuentra seca, de manera que al mojarla se aproveche la hinchadura de la madera para hendir la roca.

En lugares de bajas temperaturas se utiliza agua, la cual es introducida en temperatura normal y al congelarse hace las veces de cuña para hendir la roca. Este método es casi perfecto, permite conocer previamente el tamaño de los bloques y produce menos pérdida de material.

- *Método de barrenos*; con este procedimiento se obtiene una pérdida considerable de material. Consiste en efectuar agujeros cilíndricos cuyo diámetro y profundidad va de acuerdo a la cantidad de piedra que se desea remover, en la figura 8 se observa como se hacen dichos agujeros únicamente con la ayuda de barrenas y de la fuerza de los trabajadores. En el fondo de los barrenos se coloca explosivo, posteriormente se unen mediante una mecha.

La mecha utilizada es la llamada de seguridad, consta de un cordón de algodón recubierto por alquitrán que lleva en su interior pólvora negra. Esta mecha arde a una velocidad de 1 cm/seg.

Una vez liberado el bloque, se separa con palancas de hierro que se introducen en el plano de corte comunicándoles un movimiento de vaivén; utilizando cabestres u otros medios mecánicos si se dispone de ellos. Antes de la separación del bloque, se recomienda preparar el terreno, allanándolo y colocando material de corte.

En la figura 8 se observan las marcas que quedaron de los barrenos, o también conocidas como medias cañas.

Cabe mencionar que este tipo de método fue y sigue siendo el más utilizado en el estado de Hidalgo, principalmente en la región de Tezoantla, y es por ello que se ha generado un importante volumen de desechos de este material.



Figura 7. Sistema de explotación manual de cantera.



Figura 8. Bloques extraídos por el método de barrenos, donde se observan las marcas de los mismos.

#### 1.6.6. Cemento expansivo

El cemento expansivo es un polvo químico que mezclado con agua, origina una malta, la cual reacciona expandiéndose después de cierto tiempo, provocando la fractura del material donde fue depositada <sup>(7)</sup>. En la figura 9 se observa la dirección que toma la expansión del cemento, una vez introducida la mezcla en el barreno.

Preparación de la mezcla.

- El polvo se mezcla con 30% de agua limpia por 1 o 2 minutos y cuya temperatura debe ser similar a la del interior de los orificios, donde será vertido el cemento expansivo.
- Se agrega el polvo al agua lentamente agitando con una espátula hasta obtener una mezcla fluida y sin grumos, para verterla inmediatamente en los barrenos en la roca o en la estructura a fracturar.
- La malta se debe utilizar dentro de los 5 a 10 minutos de iniciada la preparación.

### Manejo de la mezcla.

- Los barrenos deben ser llenados completamente con la malta.
- En caso de lluvia cubrir los barrenos con material impermeable.
- En las aplicaciones en roca con fisuras es aconsejable predisponer en los barrenos la adecuada vaina tubular en polietileno, provista sobre pedido.
- El tiempo de reacción de la malta para este tipo de cantera (material de estudio) es entre 10 y 12 minutos.

En la figura 10 se muestra como los barrenos son llenados con la mezcla y cubiertos con un impermeable para protegerlo de la lluvia, y así asegurar que la reacción se lleve a cabo adecuadamente.

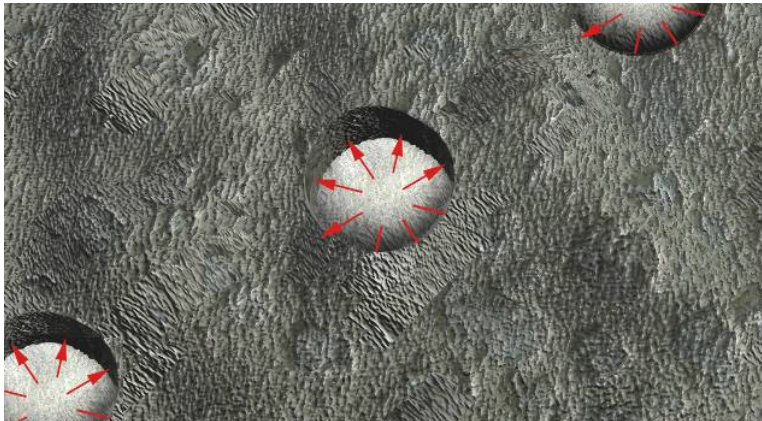


Figura 9. Efecto del cemento expansivo dentro del barreno.



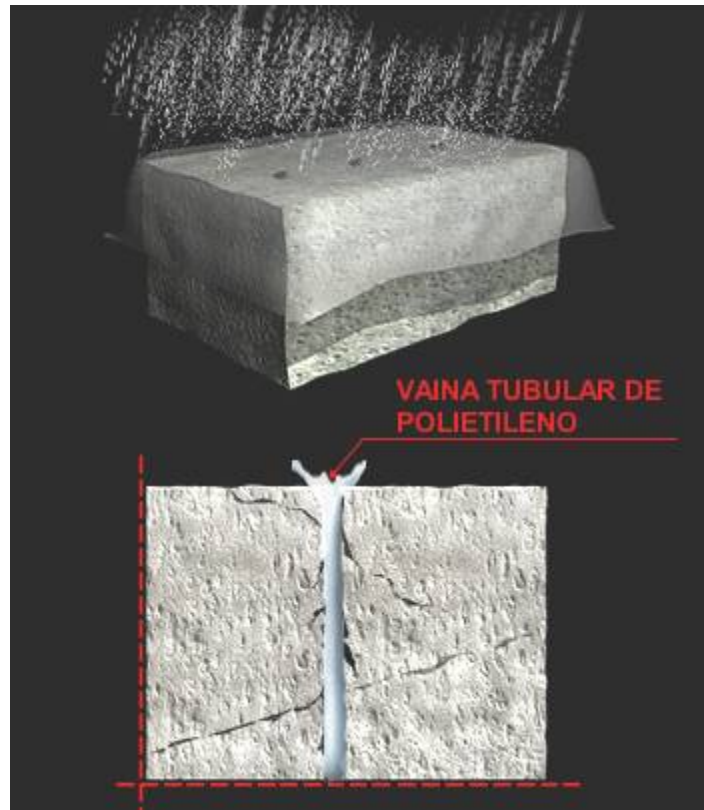


Figura 10. Modalidad de uso del cemento expansivo.

Cabe mencionar que aunque el mayor problema que tienen en estas minas de extracción de cantera, es la situación económica y es por ello que utilizan el método mas barato; es recomendable que sustituyan su técnica por otra que les sea más redituable, y en donde el desgaste no sea excesivo, como lo es, en la extracción manual.

A continuación en la tabla 1, se muestra un resumen de las principales ventajas y desventajas de los métodos de extracción más comunes, utilizados en los depósitos de cantera. Por otra parte en el presente trabajo de tesis, se recomienda la utilización del cemento expansivo, debido a que no es muy costoso; en cuanto al producto les ofrece buena calidad, además no se necesita de un equipo sofisticado, ni aparatoso. Sin embargo, si requiere de un manejo adecuado y detallado de la sustancia con el fin de evitar accidentes innecesarios.

Tabla 1. Ventajas y desventajas, de los métodos más utilizados en la extracción de cantera <sup>(5 10, 11)</sup>.

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Hilo helicoidal	Cortes precisos. Poco desecho. Longitud y profundidad de corte de hasta 4 m. Alta productividad.	Previa preparación de mina. Es un método antiguo.
Hilo diamantado	Cortes precisos y exactos. Rapidez. Alta productividad. Poco desecho. Longitud y profundidad de corte de hasta 6 m. Manejo sencillo. Es un método moderno.	Es costoso. Previa preparación de mina.
Corte al chorro de agua a alta presión	Menos emisiones de polvo y ruido. No genera vibraciones. Alta velocidad del corte. Bloques más perfectos. Poco desecho.	Almacenamiento y recirculación de agua. Bombas de alto caballaje. Mayor consumo de energía.
Cortadoras y rozadoras	Mejor utilización en túneles o canteras a cielo abierto con gran extensión horizontal. Excelente rendimiento en unión con hilo diamantado.	Desgaste en el equipo. Tiene poca profundidad de corte. Emisiones fuertes de ruido. Se necesitan frentes anchas.
Extracción manual	No requieren de equipos sofisticados.	Baja productividad. Alto porcentaje de desechos. Bloques irregulares. Castigo en la comercialización de bloques (de 2 a 3%, costo del bloque).
Cemento expansivo	Cortes precisos. Poco desecho. No emana gas. No produce residuos nocivos. Alta productividad. Es silencioso. No es explosivo, la fractura se realiza por simple expansión.	Tiempo de suministro. Si no se realiza adecuadamente la preparación puede ocasionar accidentes.

## **1.7. DISPOSICIONES AMBIENTALES**

La Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) dictamina en algunos artículos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus últimas modificaciones <sup>(12)</sup>, la preservación del medio ambiente mediante la regulación de las actividades de exploración y explotación de los recursos naturales; entre ellas el área de la minería.

En particular, el artículo 28 menciona que todas aquellas actividades que se enlistan (párrafo III, exploración, explotación y beneficio de minerales) requerirán previa autorización en materia de impacto ambiental por parte de la Secretaría.

Posteriormente, el Artículo 30 de la misma Ley menciona que los interesados en obtener un estudio de impacto ambiental (Art. 28), deberán de presentar una manifestación de impacto ambiental elaborada por la empresa o la persona autorizada para tal efecto, en donde deberán de describirse cuando menos; los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la actividad y/u obras a realizar, las medidas preventivas de mitigación y las demás necesarias para evitar o reducir al mínimo los efectos negativos al ambiente.

La Norma Técnica Ecológica Estatal <sup>(13)</sup> (ver anexo 1), menciona que por tratarse de un mineral no concesible como lo marca la ley minera en sus artículos 4º y 5º, todos los tramites de carácter ambiental sobre dicho material serán solamente de carácter estatal.

## **1.8. PRODUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE CANTERA**

Considerando que la cantera es un material no concesible, el aprovechamiento y usufructo de éste, es directamente adjudicado al dueño del predio, por lo tanto dicha persona no está obligada a dar información sobre la producción de sus bancos, debido a ello no se tiene información sobre la producción nacional de las canteras y en las



contadas ocasiones que si han colectado esos datos a nivel estatal, las gráficas se disparan notoriamente ya que no es constante la manipulación de la información antes mencionada.

La producción del banco de donde se recolectó el material para realizar este trabajo se obtuvo de investigación directa, es decir; con datos descritos por el propietario del banco, el cual mencionó que su producción total por semana es de 455 toneladas de las cuales 420 toneladas, corresponden a piedra para construcción y 35 toneladas, son vendidas a la empresa Mineral de Rodríguez para su molienda, asimismo venden 20 m<sup>3</sup> como bloques y 10 m<sup>3</sup> como lajas, aunque cabe mencionar que su producción es mínima debido a que la mayoría de su material es considerado como desperdicio, ya que su explotación no es buena y aproximadamente el 60% de dicho material no es vendido, si no más bien acarreado a sus tiraderos, por lo que se considera un problema ecológico, tanto en el aire como en la superficie de los lugares en los que se vierten los desechos, por lo que a simple vista se observan los vertederos de sólidos a gran escala. Por otra parte, también representa un problema económico para los mineros, porque no aprovechan al 100% su material.

## **1.9. POTENCIAL DEL MATERIAL**

El potencial del depósito de cantera de la región de Tezoantla es de un volumen de roca disponible de 292,500 m<sup>3</sup> <sup>(14)</sup>, de los cuales 75,000 m<sup>3</sup> corresponden al banco muestreado.

## **1.10. USOS**

En los bancos de cantera, la roca es extraída manual y masivamente, los bloques obtenidos en bruto son en la mayoría de los casos burdamente encuadrados para ser vendidos en dicha presentación y son trasladados a las área de procesamiento que pueden ser los talleres de labrado o bien a las plantas laminadoras. En el primer caso el material es labrado para fabricar piezas ornamentales y para la industria de la

construcción, entre las que podemos considerar; columnas, perfiles, escaleras, mesas, chimeneas, cocinas integrales, fuentes , lápidas para criptas, estatuas, pedestales de lámparas, monumentos, piedra para mampostería, entre otros, tal como se observa en la figura 11. Con los bloques laminados se fabrican placas delgadas, losetas, tiras, entre otros; para recubrir pisos y fachadas de casas y edificios, algunos ejemplos se pueden apreciar en la figura 12 <sup>(15)</sup>.



a)



b)



c)

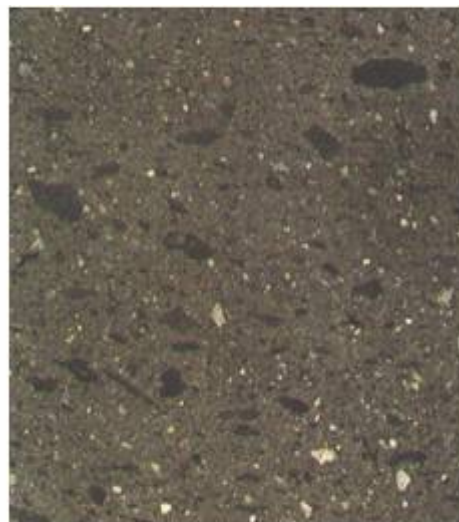
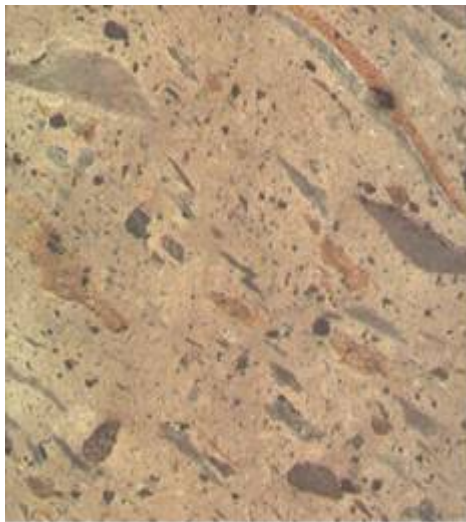
Figura 11. Productos ornamentales de cantera:  
a) Chimenea, b) cocina integral, c) columnas <sup>(16)</sup>.



a)



b)



c)

Figura 12. Productos ornamentales fabricados con cantera:  
a) Recubrimiento de pisos con losetas, b) fachadas con canteras,  
c) placas laminadas 30 \* 30 <sup>(16)</sup>.

El material restante que son los bloques más pequeños, son conocidos como pedacería y son vendidos directamente desde los bancos de explotación para ser utilizados en bardas y cimentaciones de obras civiles <sup>(14)</sup>.

La cantera también se comercializa en combinación con resina como material de construcción y decoración. Esta mezcla presenta cualidades superiores a las de la roca natural, permite disminuir costos, aporta mayor resistencia así como mejor vista y textura <sup>(6)</sup>. En la figura 13 se muestran algunas variedades de estos productos.



a)



b)

Figura 13. Cantera combinada con resina:

a) Cornisas multicolores, b) estampados de cantera combinada con resina <sup>(16)</sup>.

---

# CAPÍTULO



2

## MATERIAL Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

---

En el presente capítulo se describen las características generales del material utilizado, su muestreo y el procedimiento experimental realizado para caracterizarlo química, mineralógica y granulométricamente.

De igual modo se describen las pruebas físicas y mecánicas llevadas a cabo sobre el material para poder comprender su comportamiento, evaluar sus propiedades y proponer aplicaciones de acuerdo al análisis crítico de estos resultados, en su conjunto.

## **2.1. MATERIAL**

El material utilizado para el desarrollo de este trabajo fue obtenido de la S. S. S. de R. I. (Sociedad de Solidaridad Social de Recursos Ilimitados), Unión de Trabajadores de cantera, piedra blanca, Pachuca; Tezoantla y Santa Rosalía, ubicada en la comunidad de Tezoantla municipio de Mineral del Monte, Hidalgo.

Se realizó un muestreo en el banco (descrito en el capítulo 1), de forma selectiva considerando la tonalidad de los estratos así como su textura. Las muestras se tomaron directamente del banco de explotación, haciendo un total de 7 muestras de 1000 kg en promedio, de las cuales se realizó un composito para llevar a cabo el análisis experimental, éste se realizó moliendo la muestra a un tamaño de -100 mallas (149  $\mu\text{m}$ ), se homogenizó hasta obtener una muestra representativa y finalmente se fue pesando dependiendo del análisis al que iba a ser sometido. En la figura 14 se muestra el banco y por consiguiente los puntos en donde se llevo a cabo el muestreo.

Una vez obtenida la muestra representativa del material, se procedió a realizar la caracterización para conocer su composición química, mineralógica, estructural y su distribución de tamaños.

La muestra fue preparada de distinta manera para cada prueba de laboratorio, por lo que se describe a cada una de ellas.





Figura 14. Muestreo del depósito de cantera, en la región de Tezoantla.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

Para conocer las principales especies minerales presentes en la cantera se llevó a cabo un análisis mediante difracción de Rayos-X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB).

### 2.2.1. Difracción de Rayos X (DRX)

Una cantidad de 1 gramo de muestra en polvo con un tamaño de partícula promedio de -200 mallas ( $74\mu\text{m}$ ), fue compactada en un portamuestras para su análisis posterior por Difracción de Rayos - X, efectuado con un difractómetro PHILIPS, modelo X'PERT, el cual operó bajo las siguientes condiciones de trabajo:

---

Radiación	Cu K $\alpha_1$
Monocromador	Grafito
Voltaje	40 KV
Intensidad	30 mA
Velocidad de barrido	0.02 $\theta$ /min.

El espectro obtenido por DRX será evaluado con la ayuda del paquete Diffract-at, dicho programa cuenta con un banco de datos con fichas de la Joint Comitee on Powder Diffraction Standard (JCPDS). El análisis por DRX proporciona datos reales para la identificación cualitativa de especies minerales.

### **2.2.2. Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)**

El equipo usado para el análisis de microscopía electrónica de barrido fue un microscopio JEOL 6300, modelo JSM, con un alcance de 300 000 ampliaciones, spot size de  $10^{-2}$  a  $10^{-5}$  amp y una resolución de 20 KeV. Este equipo cuenta con un espectrómetro de Rayos - X por dispersión de energías, con el cual se determinan las intensidades relativas de los elementos presentes en el material dentro de un área de análisis de  $1 \mu\text{m}^2$ . Este microanálisis es semicuantitativo y permite conocer elementos presentes en la muestra y su concentración aproximada, para posteriormente efectuar el análisis químico cuantitativo utilizando otras técnicas analíticas<sup>(17)</sup>.

La finalidad de este análisis fue observar y medir a diferentes aumentos el tamaño de partícula del mineral y el tamaño de poro, la morfología y fases presentes, para lo cual se montaron las muestras en polvo con un tamaño de partícula de -200 mallas, sobre una cinta de grafito y se metalizaron con oro en una evaporadora marca DENTUM VACUUM, en un tiempo de recubrimiento de 2 minutos, a una presión de 20 millitorr. En tanto que para efectuar los microanálisis, las muestras montadas en adhesivo fueron recubiertas con una fina capa de Carbón.



### 2.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Se realizó la cuantificación de elementos contenidos en el material (cantera), mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, Perkin Elmer modelo 2100.

El espectrofotómetro es un equipo que sirve para descomponer luz visible en su espectro comparando con la longitud de onda del elemento a cuantificar, que por medio de señales eléctricas son registradas <sup>(18)</sup>.

Para llevar a cabo este análisis fue necesario calibrar el equipo, esto es para dar resultados reales. El equipo se calibra a cero con agua destilada; el capilar del equipo se introduce en un vaso de precipitado con agua destilada y en la pantalla de dicho equipo deben aparecer cero absorbancia y cero concentración, la calibración siempre se hace después de estandarizar el equipo, dichos estándares están preparados en HNO<sub>3</sub> al 5%, para eliminar el efecto de la matriz.

Una vez calibrado el equipo se preparó la muestra; se disolvió una muestra (composito) de 100 mg en un crisol de platino con HF y HNO<sub>3</sub>; con concentraciones 3 y 1 respectivamente, se utilizó una flama de óxido nitroso – acetileno, el flujo de gas (óxido nitroso), fue de 4.5 l/min., el flujo de acetileno fue de 7.5 l/min <sup>(19)</sup>.

Las especies minerales analizadas por este método fueron SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, principalmente, así como también Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, para poder realizar la caracterización química.

### 2.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Esta caracterización se realizó para identificar las principales propiedades físicas del material; como son densidad, dureza y gravedad específica, porcentaje de absorción, y tamaño de partículas. Para observar la estabilidad de las especies minerales presentes en dicho material se llevo a cabo un análisis termogravimétrico.

### 2.4.1. Pruebas de gravedad específica y porcentaje de absorción

Estas pruebas se realizaron en base a la normativa ASTM cuya designación es C97-02 <sup>(20)</sup> (ver anexo 2), en el cual los métodos cubren las pruebas para determinar la absorción y la gravedad específica a granel de todos los tipos de rocas dimensionables, excepto pizarra.

#### Preparación de la muestra

Se cortó la muestra en forma de prisma con las siguientes dimensiones; 0.76 x 7.62 x 12.70 cm, siendo todas las superficies razonablemente lisas, se prepararon dos muestras por prueba para corroborar los resultados.

#### Procedimiento

#### ***Absorción de agua.***

Se secaron las muestras durante 48 horas en una estufa marca LINDBERG SB, tipo 51894, a una temperatura de 60° C, buscando que el peso fuera constante. Una vez transcurrido el tiempo se dejó enfriar en un desecador y nuevamente se pesaron.

Posteriormente fueron sumergidas en agua destilada a temperatura ambiente durante 48 horas, transcurrido el tiempo se secaron con un paño húmedo para evitar escurrimiento y se volvieron a pesar para obtener el peso de agua absorbida por el material, de acuerdo a la fórmula siguiente.

$$\% \text{ Absorción en peso} = \{(B - A) / A\} * 100$$

Donde:

A = peso de la muestra seca

B = peso de la muestra húmeda

**Gravedad específica a granel.**

Esta prueba se realizó con el material utilizado para la prueba de absorción de agua; por lo que fueron sumergidas en agua destilada por una hora para eliminar las burbujas, posteriormente se pesaron empapados de agua, se secaron con aire y se pesaron.

$$\text{Gravedad específica a granel} = A / (C - B)$$

Donde:

A = peso de la muestra seca

B = peso de la muestra después de la inmersión (con la superficie seca)

C = peso de la muestra empapada con agua

**2.4.2. Granulometría**

El análisis granulométrico se realizó por vía húmeda, debido a que las partículas de los desechos del laminado de cantera son muy finas y se adhieren a los tamices o bien se pierden en el aire.

Dicho análisis se llevó a cabo en un juego de tamices U. S. Estándar Testing Sieve<sub>MR</sub>, No. 100, 170, 200, 270, 325, 400 y 500. Se tamizó una muestra de 50 g, las fracciones obtenidas se secaron en un horno mufla (LINDBERG SB) a 60° C durante 24 h, posteriormente se pesaron. Los pesos obtenidos se representan en porcentaje.

En la siguiente tabla se comparan las series estándar de cedazos US y Tyler U. S. de tamices de mallas escalonadas, utilizadas para realizar este análisis.

Tabla 2. Equivalencias de series de tamices US. Especificación ASTM E-11-61<sup>(21)</sup>.

U. S.		Tyler
Estándar	Alternativa	Designación de malla
149 micrones	100	100
88 micrones	170	170
74 micrones	200	200
53 micrones	270	270
44 micrones	325	325
37 micrones	400	400
32 micrones	500	500

### 2.4.3. Análisis Termogravimétrico

Este análisis se llevó a cabo con el fin de determinar la estabilidad calorimétrica del material y así observar los cambios de fase presentes en la muestra.

Para tal ensayo se preparó una pequeña muestra de 3.2 mg y se calentó a una temperatura de 50° C a 1400° C, en crisoles de alumina con una capacidad de 70 µl, en calentamiento dinámico con una velocidad de calentamiento de 10° C/min y utilizando Nitrógeno como gas de arrastre (gas de enfriamiento a un flujo de 40 ml/min). Este análisis se llevó a cabo en un analizador termogravimétrico (ATG), marca Metler Toledo, modelo TGA / SDTA851<sup>e</sup>, utilizando el software STAR<sup>e</sup> 7.1

## 2.5. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Estas pruebas se realizaron con la finalidad de determinar un posible uso del material mayor a  $\frac{3}{4}$  “, como agregado pétreo y fino utilizable en diferentes etapas de la construcción. El material se preparó para realizar estas pruebas como se describe a continuación.

Estas pruebas se llevaron a cabo con 1 kg de muestra del material con un tamaño de  $\frac{3}{4}$  “ a criba No. 4 y arena, el cual se introdujo en un molino de bolas, marca Avne, dicho molino contiene en su interior 10 bolas de hierro gris de 1” de diámetro.

De acuerdo a lo que más se usa en la elaboración de concreto hidráulico y asfalto se decidió llevar a cabo una granulometría para una grava de  $\frac{3}{4}$  “ a criba No. 8, y así se evaluaría la abrasión por desgaste de los ángeles, contenido de arena y de arcillas, las cuales se describen más adelante, entre otras; obteniendo así, las propiedades más importantes y más representativas del material. Cabe mencionar que estas pruebas se realizaron bajo las especificaciones que maneja la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), así como las especificaciones de materiales usados en la fabricación de concreto hidráulicos de acuerdo a las especificaciones de la Norma Mexicana NMX C-111 <sup>(22)</sup>. La tabla de comparación de series estándar de cedazos US y Tyler utilizadas para estas pruebas; se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Equivalencias de series de tamices US. Especificación ASTM E-11-61<sup>(21)</sup>.

U. S.		Tyler
Estándar	Alternativa # malla	Designación de malla
76.1 mm	3"	-
64.0 mm	2 ½"	-
53.8 mm	2.12 "	-
50.8 mm	2 "	-
45.3 mm	1 ¾ "	-
38.1 mm	1 ½ "	-
32.0 mm	1 ¼ "	-
25.4 mm	1 "	-
19.0 mm	¾ "	.742 "
12.7 mm	½ "	-
9.51 mm	3/8 "	.371 "
6.35 mm	¼ "	-
4.76 mm	No. 4	4
2.38 mm	No. 8	8

### 2.5.1. Equivalente de arena

#### ***Cono de arena.***

La calidad durante un proceso de compactación en campo se mide a partir de un parámetro conocido como grado de compactación, el cual representa un cierto porcentaje. Su evaluación involucra la determinación previa del peso específico y de la humedad óptima correspondiente a la capa de material ya compactado. Este método es para conocer el grado de compactación es un método destructivo ya que se basa en determinar el peso específico seco de campo a partir del material extraído de una cala, la cual se realiza sobre la capa de material ya compactada.

## Procedimiento

Se utilizó un cilindro con base (figura 15a), se calculó el volumen del cilindro; después se pesó el cilindro con todo y base, también se utilizó un equipo compuesto de un frasco y un cono metálico (figura 15b), se cerró la válvula del cono y se colocó éste sobre las mariposas del cilindro evitando que se moviera; posteriormente se abrió la válvula y se llenó el molde con arena hasta que éste se derramó; nuevamente se cerró la válvula una vez que cesó el movimiento en el interior del frasco y se enrazó el cilindro ayudado por un cordel para evitar ejercer presión, se limpió la base con la brocha y se pesó; por diferencia de pesos se obtuvo el peso de la arena que dividida entre el volumen del cilindro nos proporcionaría el peso volumétrico. Esta función se repitió 4 veces para compensar las variaciones en el peso de la arena.

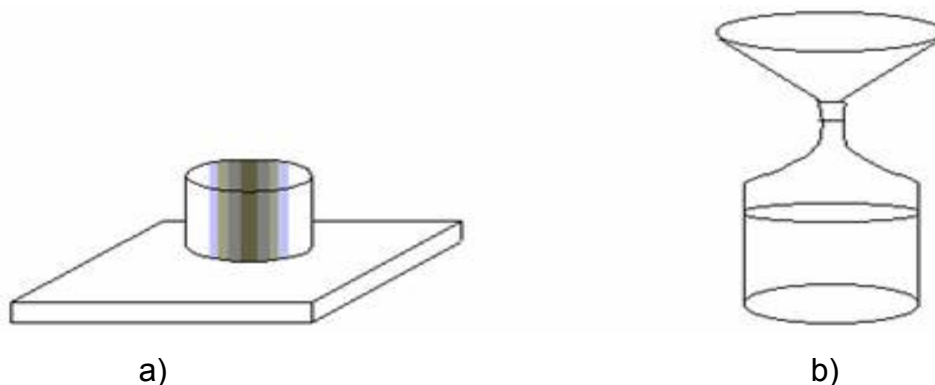


Figura 15. a) Cilindro y base, b) frasco con cono.

Para obtener el peso de la arena que llena el cono y la base, se procedió a hacer lo siguiente; se pesó el equipo con arena, se colocó la base en una superficie plana (en este caso la charola, ver figura 16), se cerró la válvula y se colocó el cono sobre la placa permitiendo la fluidez de la arena dentro del cono, cuando dejó de moverse la arena dentro del frasco se cerró la válvula y se pesó el equipo con la arena sobrante.

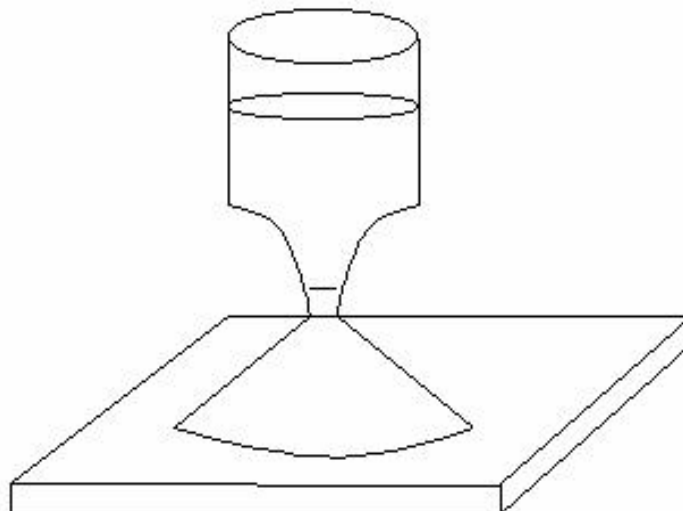


Figura 16. Cono sobre la placa; para obtener el peso de la arena retenida, entre el cono y la placa.

### 2.5.2. Arcillas

Debido a que una buena cimentación de un camino necesita la menor cantidad de finos posible, sobre todo de arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causan un gran daño al pavimento, pues es necesario saber si la cantidad de finos que contienen los materiales que serán utilizados en la estructura del pavimento es la adecuada. Por tal motivo se hizo necesario el plantear una manera fácil y rápida que nos arroje dichos resultados; sobre todo cuando se detectarán los bancos de materiales.

Se pretende que esta prueba sirva como una prueba rápida de campo para investigar la presencia de materiales finos o de apariencia arcillosa, que sean perjudiciales para los suelos y para los agregados pétreos.

#### Procedimiento

Se preparó la muestra cribando 500g de material por la malla # 4, se cuarteó y se tomaron 2 muestras representativas con un peso de 100 g cada una.



Una vez listo el material, se agregó en una probeta 10 cm. de solución compuesta por cloruro de calcio, glicerina, formaldehído y agua destilada, se colocó una de las muestras dentro de la probeta procurando que la solución llegara al fondo dándole unos golpes en la parte inferior de la probeta, se dejó reposar durante 10 minutos para que se homogenizara la muestra y se agitó durante 45 seg. Una vez pasado el tiempo se le agregó solución hasta la marca final (38 cm.), no dejando de agitar con una varilla de vidrio para que la solución continuara fluyendo y tendieran a subir las partículas finas sin quedar atrapadas debajo de la arena, después de esto se subió lentamente el tubo irrigador (figura 17), y se lavaron las paredes de la probeta bajándose nuevamente el tubo, provocándole a la muestra una turbulencia con el mismo; posteriormente se cerró la manguera del irrigador y la solución se dejó reposar 20 min.

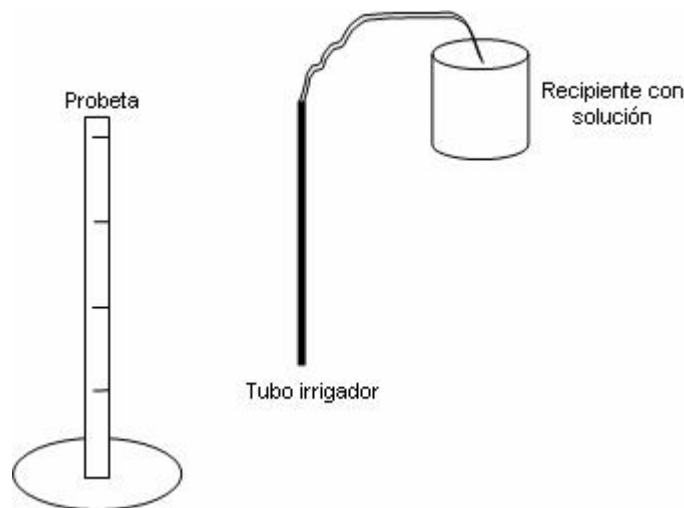


Figura 17. Equipo para llevar a cabo la lectura de arcillas.

Pasados los 20 min. de reposo se realizó la lectura de la altura, directamente en la probeta a la que se encuentran los finos, a este valor se le llamará “lectura de arcilla”, después se introdujo un pisón lentamente para evitar turbulencias, una vez que no bajó más se le dio un pequeño giro sin aplicar presión, con la ayuda de la marca del pisón se tomó la altura de la arena a lo que llamamos “lectura aparente de arena”. Para conocer

la lectura real se le restaron 25.4 cm, (esto para compensar el volumen del tubo irrigador en la probeta).

### **2.5.3. Resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados**

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas en las cuales su importancia y su conocimiento son indispensables en el diseño de mezclas, es la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados <sup>(23)</sup>.

Esta prueba es importante porque con ella conoceremos la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples o estructuras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ellas.

La resistencia a la abrasión, o desgaste de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben ser resistentes.

Para determinar la resistencia a la abrasión, se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento se encuentra descrito en la Norma Mexicana NMX C-111. Dicho método más conocido como el de la Máquina de los Ángeles, consiste básicamente en colocar una cantidad específica de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las bolas da como resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje de desgaste.

Porcentaje de desgaste =  $[ P_a - P_b ] / P_a$

Donde:

$P_a$  = es la masa de la muestra seca antes del ensayo (g)

$P_b$  = es la masa de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1.6 mm.

### Procedimiento

Se midieron 5000 g de muestra seca y se colocó junto con la carga abrasiva dentro del cilindro; este se hizo girar a una velocidad entre 30 y 33 rpm, girando hasta completar 500 vueltas teniendo en cuenta que la velocidad angular es constante.

Después se retiró el material del cilindro y luego se hizo pasar por el tamiz # 12 según lo establecido en la norma. El material retenido en el tamiz # 12 fue lavado y secado en el horno a una temperatura comprendida entre 105 y 110° C. Al día siguiente se cuantifico la muestra eliminando los finos y luego fue pesada.

## 2.6 PRUEBA DE CALCINACIÓN

Esta prueba se realizó en un horno marca LECO a una temperatura de 1150° C, con una velocidad de calentamiento de 20° C/min, una vez alcanzada la temperatura se mantuvo por un lapso de una hora, posteriormente la muestra se dejó enfriar dentro del horno, para dicho análisis se introdujeron 25 g de material a un tamaño de partícula de - 200 mallas (que equivale a 74  $\mu$ m), con el objetivo de verificar el color de quemado de dicho material y la existencia de sinterización en el mismo.

---

# CAPÍTULO



3

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

---

### 3.1. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La figura 18 muestra el difractograma de Rayos-X del material de cantera, recolectado en el banco anteriormente mencionado. En dicho difractograma se observa que ésta toba está compuesta principalmente por cuarzo;  $\text{SiO}_2$ , y que además contiene otras especies mineralógicas como son zeolita de tipo mordenita;  $(\text{Na}_2\text{CaK}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y albita;  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ . Debido a ésta composición se propone que éste material puede ser utilizado como sustituto de feldespato y de zeolita <sup>(23)</sup>. Es importante mencionar que en las canteras el contenido de cuarzo siempre será la especie mineralógica mayoritaria; y lo que variará serán las especies secundarias ya sea por el tipo de especie o bien por el contenido de ellas en el material.

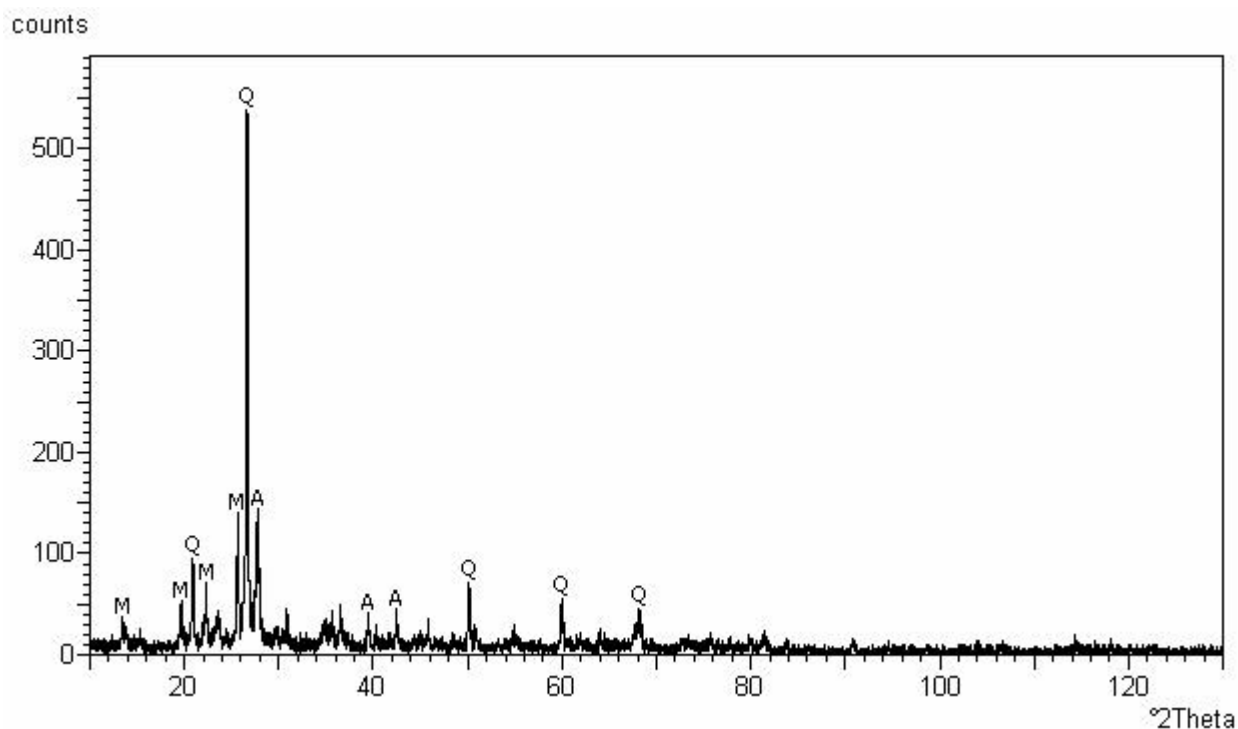


Figura 18. Difractograma de Rayos-X de cantera, cuyas especies minerales principales son: cuarzo cristalino (Q), mordenita (M) y albita (A). Se obtuvo en un difractómetro PHILIPS, con una radiación de  $\text{Cu K}\alpha_1$ , un voltaje de 40 kv, una intensidad de 30 mA y una velocidad de barrido de 0.20  $\theta$ /min.

Las líneas más importantes del difractograma observadas en la figura 18, así como sus intensidades y espaciamiento interplanar, se presentan en la tabla 4 y corresponden a las especies mineralógicas presentes en el material.

Tabla 4. Distancias interplanares características de las principales fases cristalinas presentes en el material de cantera.

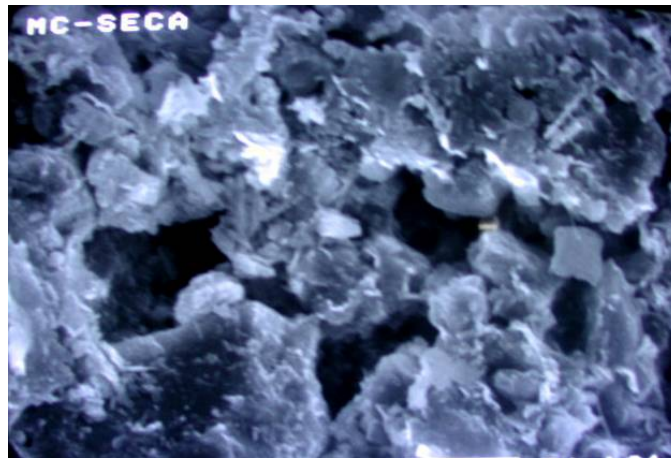
Ángulo $2\theta$	Distancia (d)	Intensidad (I)	Relación de Intensidad %
19.7	4.5175	3.13	7.6
21.0	4.2407	8.75	17.0
22.2	4.0141	5.00	10.8
25.7	3.4748	16.25	19.2
26.8	3.3347	100	100.0
27.9	3.2056	18.75	21.6
36.5	2.4677	4.25	7.4
50.1	1.8252	6.13	11.4
60.0	1.5456	4.00	8.9

### 3.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

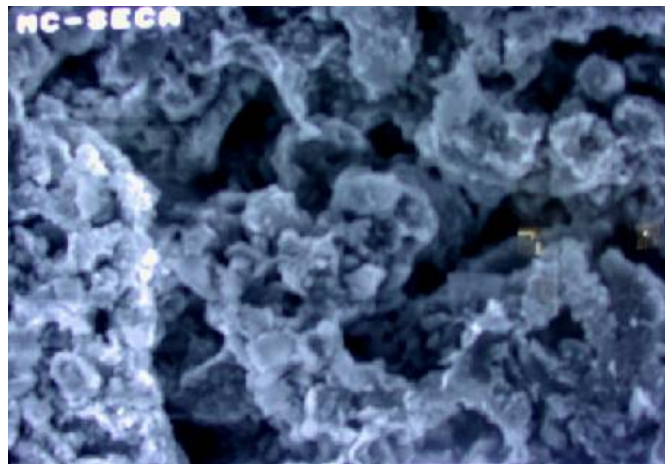
Mediante el uso de electrones secundarios se obtuvieron las imágenes de la figura 19 donde se observa el tamaño de partícula y el tamaño de poro.

Con el tamaño de partícula observado (2  $\mu\text{m}$  en promedio), se define que el material puede ser utilizado en la fabricación de piezas ornamentales, ya que este tamaño es idóneo para obtener un mejor acabado superficial en las piezas, así como un mejor fraguado <sup>(25)</sup>. En cuanto al tamaño de poro y el porcentaje de absorción de humedad gravimétrica se menciona que el material puede ser utilizado como mejorador de suelos en procesos de hidroponía e invernaderos, ya que el tamaño de poro varía de

1 a 3  $\mu\text{m}$  <sup>(26, 27)</sup>, además cabe mencionar que dicho material tiene un gran porcentaje de vesículas en su matriz por lo que la absorción y acumulación de humedad es mucho mayor. Las siguientes microfotografías fueron tomadas a diferentes aumentos, utilizando un potencial de trabajo de 20 keV.



a)



b)

Figura 19. Fotomicrografías donde se observa el tamaño de partícula y de poro en la muestra en condiciones normales; a) 2700 X, b) 1000 X. Obtenidas en un microscopio JEOL 6300, con un alcance de 300 000 ampliificaciones y una resolución de 20 KeV.

Además en el espectro de MEB-EDS, se observaron como elementos mayoritarios al Si, Al, y Na, junto con otros elementos como K, Fe, Ca, entre otros (figura 20).

Con relación a los resultados obtenidos por difracción de Rayos-X en comparación con los obtenidos por este método se concluye que el Si, es el elemento mayoritario que se tiene en este material, considerando que el oxígeno se encuentra presente en todos los elementos observados en la cantera, puesto que la especies minerales en el material se presentan como óxidos, por lo que se confirma lo observado en el análisis de difracción de Rayos-X y más adelante en el análisis químico.

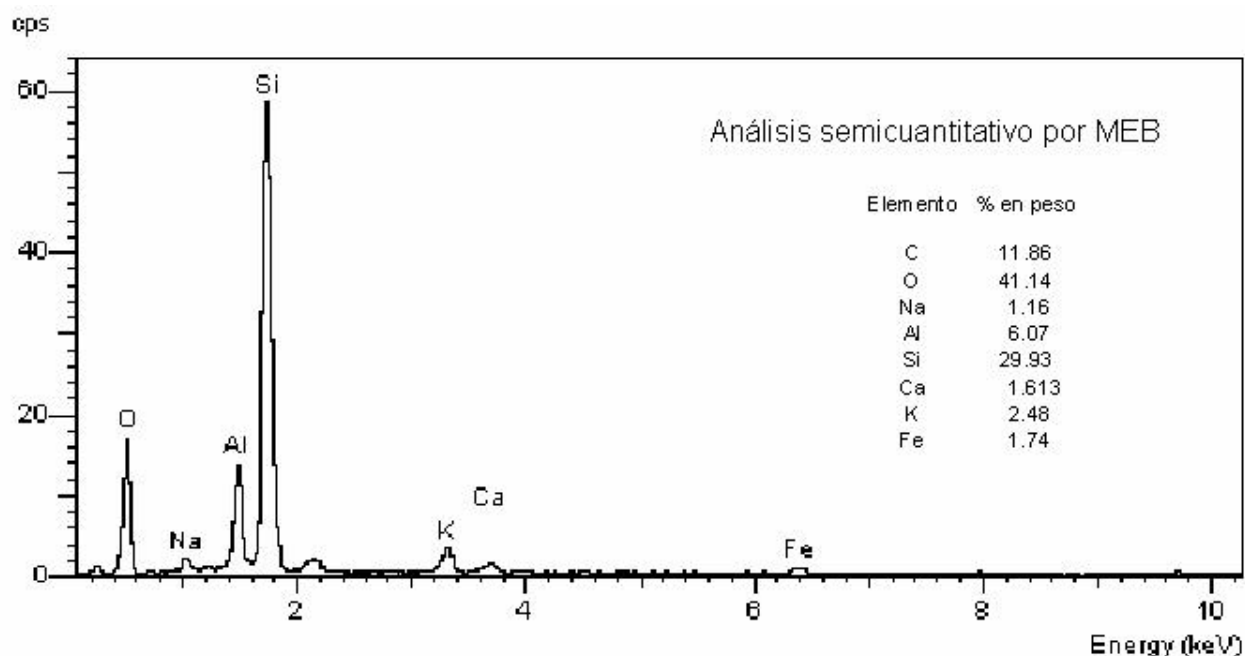


Figura 20. Espectro de Rayos - X por dispersión de energías del material de cantera.

### 3.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Las concentraciones obtenidas en ppm de la cantera, por medio del análisis químico fueron transformadas a óxidos de lo cual se obtiene la tabla 5. Como se puede



observar se encuentran los óxidos con mayor porcentaje tales como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ .

Tabla 5. Química de la cantera.

Elemento	%
$\text{SiO}_2$	58.000
$\text{Al}_2\text{O}_3$	29.000
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.731
$\text{CaO}$	1.624
$\text{MgO}$	2.948
$\text{Na}_2\text{O}$	5.338
$\text{K}_2\text{O}$	2.037

Observando que el contenido de  $\text{SiO}_2$  es el de mayor porcentaje, se puede apreciar que la matriz de este material es de cuarzo cristalino, y por su porcentaje de  $\text{SiO}_2$  (52 - 65%) se clasifica como roca volcánica de composición intermedia. En base a los contenidos de sílice y alcalinos, se desarrollo el siguiente diagrama TAS (Total Alkali-Silica), modificado por Cox, Bell and Pankhurst, 1979 <sup>(28)</sup>; clasificando así, a la cantera de la región de Tezoantla, como roca volcánica traquiandesita, ver figura 21.

Mediante los resultados obtenidos en este análisis químico se aprecia que efectivamente el  $\text{SiO}_2$  es la fase mineral primaria en la muestra estudiada, de acuerdo con lo observado en los análisis anteriores como es DRX y MEB.

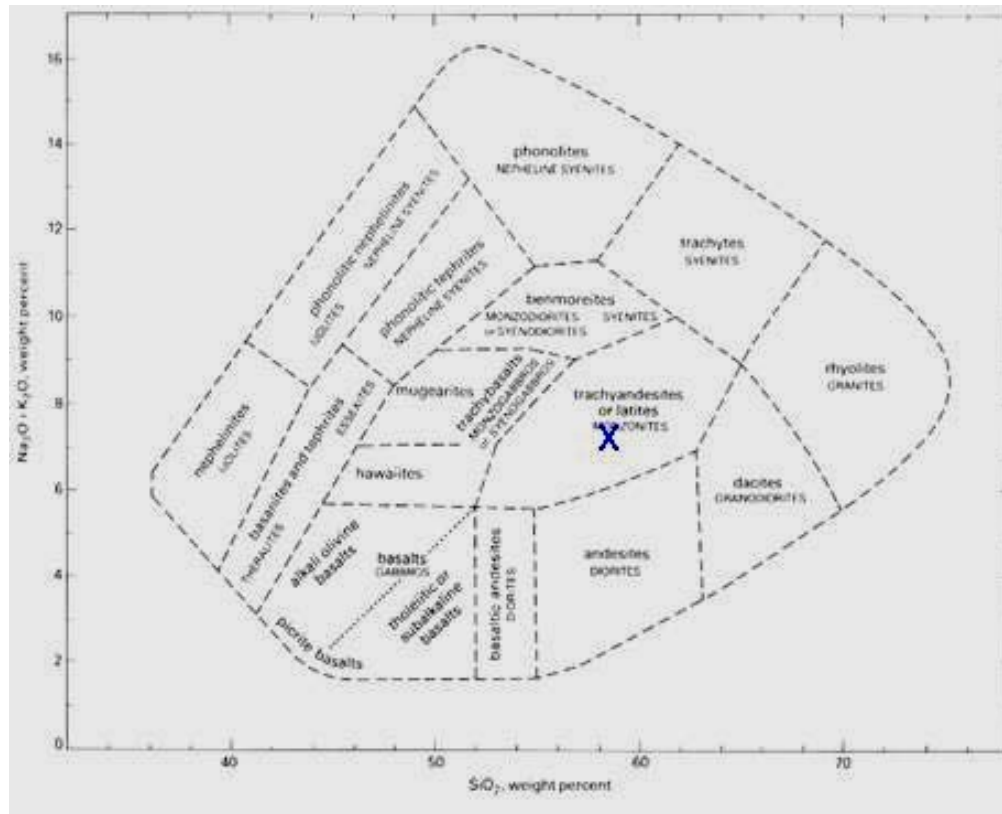


Figura 21. Clasificación de cantera de la región de Tezoantla considerando la nomenclatura de rocas ígneas comunes, con base a los contenidos de sílice y alcalinos (suma de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ )<sup>(28)</sup>.

Asimismo, en base a los resultados obtenidos se concluye que este tipo de material se puede utilizar como un sustituto de feldespatos (feldespatos mixtos)<sup>(29)</sup>, debido a que dichos feldespatos contienen principalmente  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{CaO}$  en diferente concentración, éstos ablandan y funden a temperaturas menores que los feldespatos puros, tal como se pudo comprobar también en la prueba TGA. Cabe mencionar que para esmaltes se prefiere utilizar feldespatos con bajo porcentaje de  $\text{CaO}$ .

### 3.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

En la tabla 6 se presentan las principales propiedades físicas del material estudiado.

Tabla 6. Propiedades físicas del material de cantera.

Áreas	Propiedades	Resultados
Banco de cantera blanca, en el área de Tezoantla.	Color	Blanca
	Dureza en escala de mohs	3
	Resistencia a la compresión	499.66 kg/cm <sup>2</sup>
	Corte y pulido	Buena respuesta Pulido opaco
	Recuperación al laminar	60 %
	Fracturamiento	Se produce a los 250 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia al intemperismo	Alta
	Densidad	1.90 g/cm <sup>3</sup>
	% de absorción	86.63
	Gravedad específica	4.29

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa un buen estado físico, sin embargo presenta una baja resistencia mecánica y una densidad mínima por lo que no cubre los requisitos para mampostería ni como acabado arquitectónico, debido a esto se recomienda el uso de este material para recubrimientos, andadores y ornato, principalmente <sup>(30)</sup>.

Asimismo en base a estos resultados y por el porcentaje de absorción se propone que este subproducto sea utilizado en el mejoramiento de suelos en tamaños de ¾" (19.0 mm), en horticultura e hidroponía como compuesto de mezclas de desarrollo con tezontle, donde provee aeración y retención óptima de humedad para un buen desarrollo de las plantas, y con esto disminuir la cantidad de riego en estos procesos, ya que el porcentaje mínimo de absorción de humedad requerida para estos tipos de materiales es del 65%, siendo así una alternativa para la producción de alimentos en zonas con escasez de agua <sup>(31)</sup>.

### 3.4.1. Granulometría

Los resultados obtenidos del análisis granulométrico se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis granulométrico del material estudiado <sup>(32)</sup>.

No. de Malla	Tamaño de partícula $\mu\text{m}$	Peso g	% Peso	Acumulativo (-)
-100 +170	149	8.3330	16.66	100.00
-170 +200	88	1.1328	2.27	83.34
-200 +270	74	1.5456	3.09	81.07
-270 +325	53	1.2190	2.44	77.98
-325 +400	44	0.8910	1.78	75.54
-400 +500	37	2.5676	5.14	73.76
-500	32	34.3110	68.62	68.62

En base a estos resultados el material puede ser usado para el colado de piezas ornamentales, aglutinado con alguna resina, debido a que el material utilizado para este proceso requiere un tamaño aproximado de -200 mallas, por tal motivo al emplear este material se disminuyen los costos de materia prima, por lo que los tamaños requeridos son obtenidos directamente después de la laminación de la cantera.

La figura 22 muestra el efecto de la distribución de tamaño de partícula, donde se señala la liberación de partículas en el 80%.

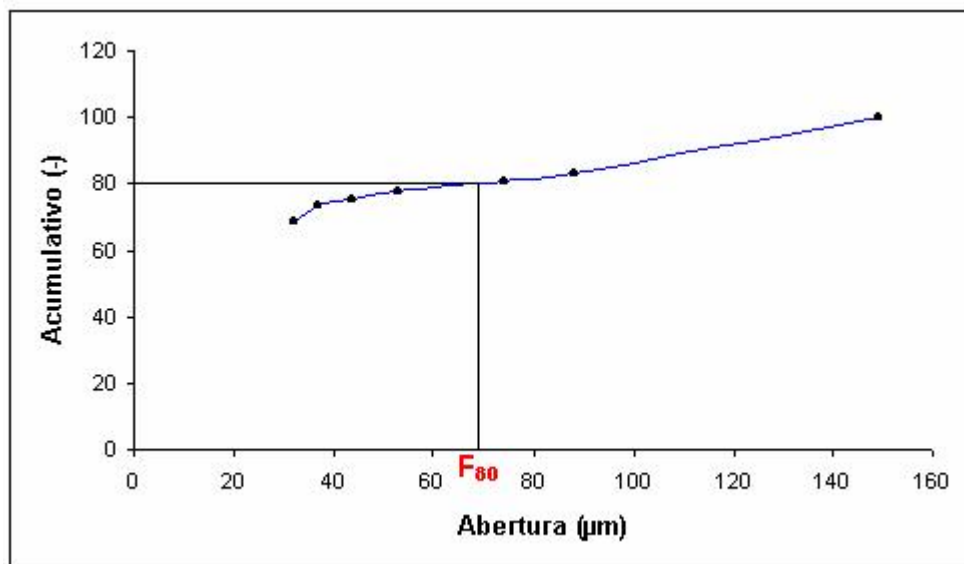


Figura 22. Gráfica de distribución de tamaños de partículas.

Debido a que la distribución de tamaño ( $F_{80}$ ), se encuentra en una abertura de 73  $\mu\text{m}$  aproximadamente, para realizar este estudio se utilizó material preparado a -200 mallas es decir 74 $\mu\text{m}$ .

### 3.4.2. Análisis Termogravimétrico (TGA)

Se observa en la gráfica de TGA (figura 23), una pequeña disminución en peso durante todo el análisis (1400° C), siendo más notoria en el rango de 100 a 200° C lo cual puede ser atribuible a una pérdida de humedad y agua cristalina contenida en la muestra, ya que de manera general no se perciben reacciones de transformación que indiquen formación o eliminación de alguna especie cristalina. Con ello se puede concluir que este material posee una estabilidad térmica hasta los 1300° C y después de esta temperatura sus granos comienzan un proceso de sinterización.

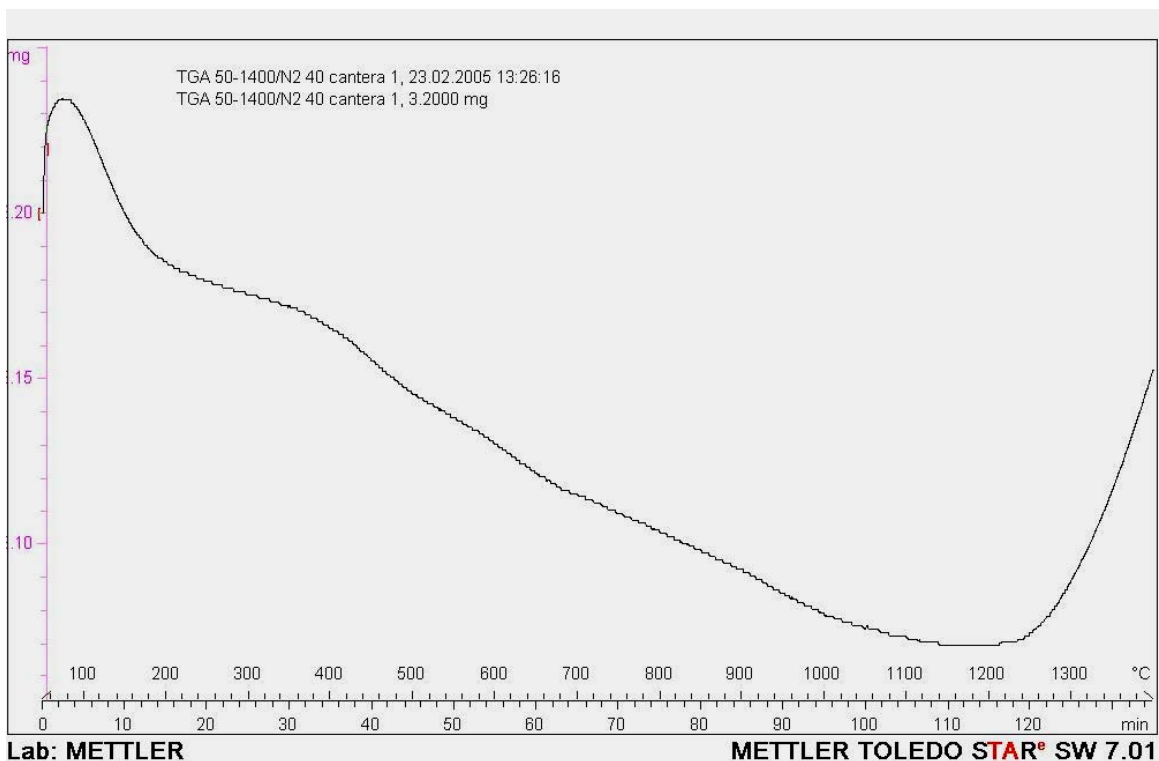


Figura 23. Termograma de cantera; obtenido en un analizador termogravimétrico (ATG), calentando la muestra a una temperatura de 50° a 1400° C, a una velocidad de calentamiento de 10° C/min.

Para comprobar lo anterior se llevaron a cabo análisis de difracción de Rayos-X de muestras calentadas a diferentes temperaturas (700, 1000 y 1300° C), comprendidas dentro del rango utilizado en el análisis TGA.

En la figura 24 se comprueba que no existe ningún cambio de fase cristalina así como tampoco hay alteraciones en las fases existentes en el material al incrementar la temperatura a 700, 1000 y 1300° C. Esto indica que el material es térmicamente estable hasta temperaturas cercanas a los 1400° C.

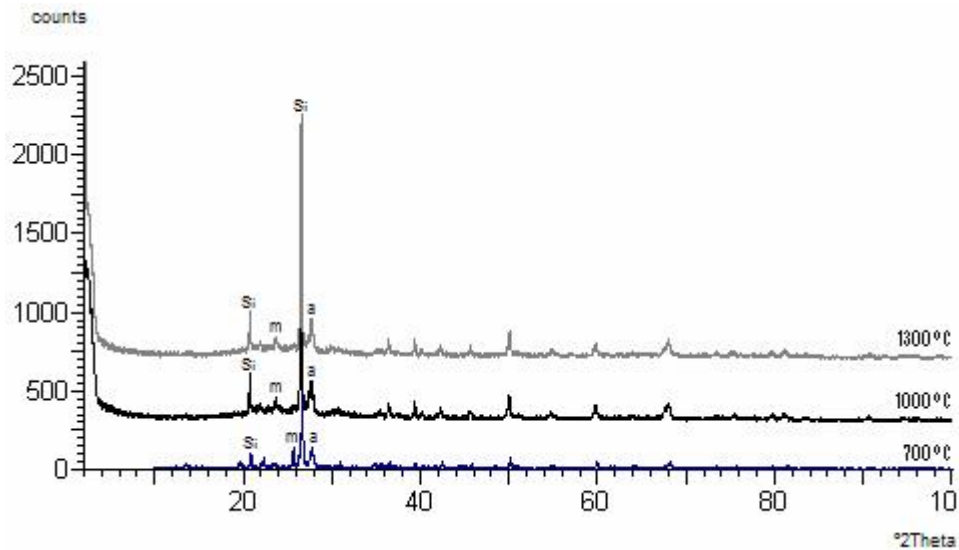
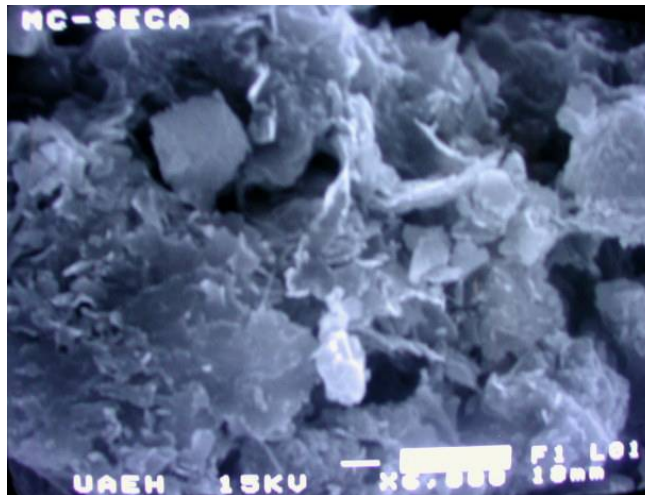
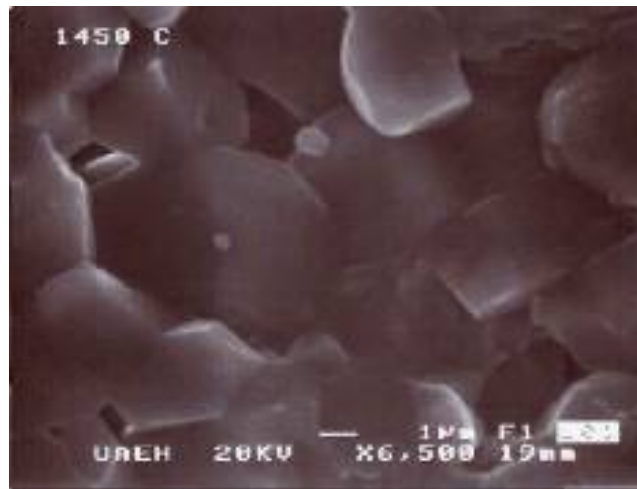


Figura 24. Difractogramas del material a diferentes temperaturas; 700, 1000 y 1300° C; observado en un difractómetro PHILIPS, bajo una radiación de  $\text{Cu K}\alpha_1$ , un voltaje de 40 kv, una intensidad de 30 mA y una velocidad de barrido de 0.20  $\theta/\text{min}$ .

Después de que la muestra fue sometida a análisis Termogravimétrico, se observó en el MEB, en donde se pudo concluir que se tuvo una contracción en el tamaño de partícula, reduciendo el tamaño de poro y disminuyendo la porosidad, esto se debió a la eliminación de agua cristalina, por lo que se concluye que el material presentó un inicio de sinterización, como se puede apreciar en la figura 25, debido a esta reacción, para el uso propuesto anteriormente no es conveniente someter el material a temperaturas elevadas.



a)



b)

Figura 25. Fotomicrografías donde se observa el tamaño de partícula y de poro en la muestra después del ATG; a 1400° C, a) 6000 X, b) 6500 X; obtenidas en un microscopio JEOL 6300, con un alcance de 300 000 ampliificaciones, y una resolución de 20 KeV.

### 3.5. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los resultados de las pruebas mecánicas llevadas a cabo se describen a continuación, de acuerdo a la calidad de los productos obtenidos como: grava, arena y agregado para concreto asfáltico.



- **Calidad de Grava**

En la tabla 8 se pueden observar los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas realizadas al material en calidad de grava, en la cual se observa que la resistencia a la abrasión se encuentra en el límite mínimo especificado en la norma, ya que el límite inferior especificado es del 15% y el máximo del 37 %, por lo que no es recomendable utilizarlo como agregado pétreo, ya que este es una de las especificaciones necesarias para su utilización del material como grava, mientras que en la tabla 9 y en la figura 26 se observan los datos obtenidos de la composición granulométrica de la muestra ensayada en donde se puede apreciar que se empieza a tener distribución de partícula en la malla de  $\frac{1}{2}$ " (12.7 mm), y no tenemos retenidos en la malla  $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm), que es la de mayor uso a nivel industrial.

Tabla 8. Resultados obtenidos de calidad de grava bajo norma.

PRUEBA MECÁNICAS	NORMA MEXICANA VIGENTE UTILIZADA	RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES ESPECIFICADOS
MASA ESPECIFICA (MES 55) (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-164	2.8	-
ABSORCIÓN (%)	NMX-C-164	1.55	-
MASA VOLUMETRICA SUELTA (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-073	1220	-
MASA VOLUMETRICA VARILLADA (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-073	1305	-
PÉRDIDA POR LAVADO CRIBA No. 200 (%)	NMX-C-084	4.9	3.0 % MAX.
ABRASIÓN LOS ÁNGELES (%)	NMX-C-196 ONNCCE	15.1	50.0 % MAX.
COEFICIENTE VOLÚMETRICO (%)	AFCR	0.17	0.15
SANIDAD POR SULFATO DE SODIO (%)	NMX-C-075 ONNCCE	3	12.0 % MIN.
PARTÍCULAS LIGERAS (%)	NMX-C-072 ONNCCE	0	3.0 % MAX.
PARTÍCULAS DEZLENABLES (%)	NMX-C-071 ONNCCE	1	3.0 % MAX.

Tabla 9. Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad de grava <sup>(25)</sup>.

Criba	Retenido:		
	Límites:		Material
	% Máximo	% Mínimo	% Peso
3	0	0	-
2	0	0	-
1 1/2	0	0	-
1	0	0	-
3/4	10	0	0
.12	-	-	36
.38	80	45	75
No. 4	100	90	99
No. 8	100	95	100
Ciaraola	100	100	-

La figura 26 explica gráficamente el funcionamiento de la granulometría de grava, como se observa en la malla  $\frac{3}{4}$  " no tenemos material retenido (el 80 %), por lo que este material no cumple como agregado para concreto hidráulico (grava), ya que se encuentra fuera de los límites permisibles, puesto que no se alcanza el porcentaje mínimo de retenido que es del 70 % ( $\frac{3}{4}$  "), como lo marca la norma NMX C-111 <sup>(22)</sup>, por lo cual no se recomienda sea utilizado como grava.

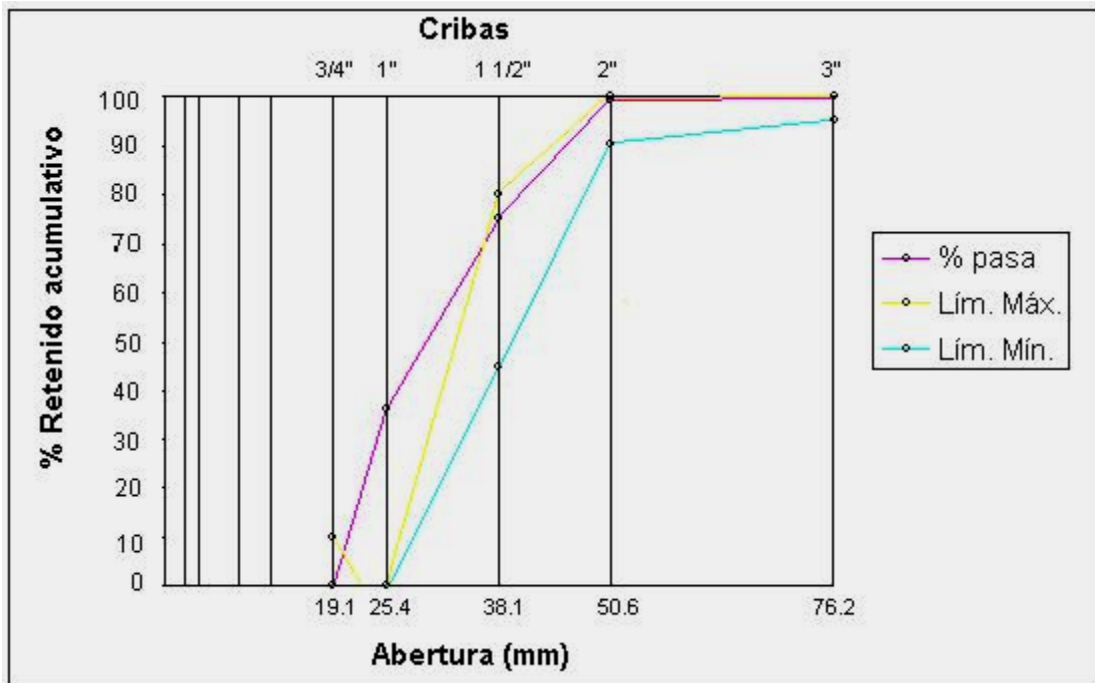


Figura 26. Curva granulométrica, agregado para concreto hidráulico.

#### • Calidad de Agregado para Concreto Asfáltico

En la tabla 10 se observan los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas realizadas al material en calidad de agregado pétreo para concreto asfáltico, la cual incluye pruebas para su utilización tanto para sello como para mezcla asfáltica. Determinando que este material no cumple las especificaciones para su utilización como agregado pétreo para concreto asfáltico, ya que presenta 17.52 % de abrasión encontrándose por debajo de lo requerido en la norma como se observa en la tabla. Así como el % de sanidad por sulfato de sodio se encuentra por debajo del límite especificado que es de 12 %.

Tabla 10. Especificaciones para que un material pueda ser utilizado como gregado pétreo para concreto asfáltico.

PRUEBAS MECÁNICAS	NORMA MEXICANA VIGENTE UTILIZADA	RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES ESPECIFICADOS
MASA ESPECIFICA SECA (MES 55) (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-164	2.3	2.4
ABSORCIÓN (%)	NMX-C-164	1.55	-
MASA VOLUMÉTRICA SUELTA (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-073	1320	-
PARTICULAS ALARGADAS (%)	ASTM -D-4791	12	35.0 % MAX.
PARTÍCULAS LAJEADAS (%)	ASTM -D-4791	12.5	35.0 % MAX.
ABRASIÓN LOS ÁNGELES (%)	NMX-C-196	17.52	40.0 % MAX.
EQUVALENTE DE ARENA (%)	AASHTO-T-175	-	-
SANIDAD POR SULFATO DE SODIO (%)	NMX-C-075 ONNCCE	11	12% MIN.
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	-	0	-
DESPRENDIMIENTO POR FICCIÓN (%)	-	4	25.0 % MAX.

A continuación se observa el comportamiento de la composición granulométrica de agregado pétreo para concreto asfáltico, tanto para sello 3A en la tabla 11 y figura 27, como para mezcla asfáltica en la tabla 12 y figura 28. Determinando que el material únicamente es factible su utilización como sello tipo 3A, debido a que en la malla 3/8" se encuentra el mayor porcentaje del material que pasa por ella.

Tabla 11. Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad deagregado pétreo para concreto asfáltico como sello 3A <sup>(25)</sup>.

Criba	% Mínimo	% Máximo	% Obtenido
1"	-	-	-
3/4"	-	-	-
1/2"	100	-	-
3/8"	95	100	100
1/4"	-	-	-
No. 4	-	-	-
No. 8	0	5	2

En la figura 27 se observa que el material si cumple con las especificaciones como sello 3A, debido a que los resultados obtenidos son del 100 % que pasan a través de la criba 3/8", por lo que el % de los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles, (95 – 100 %) <sup>(33)</sup>.

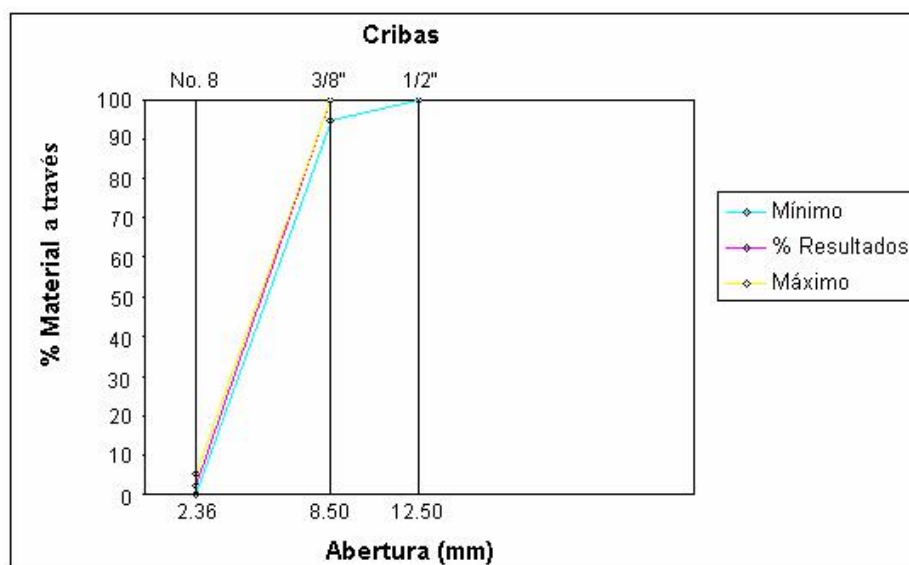


Figura 27. Curva granulométrica, sello 3A.

Tabla 12. Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad de agregado pétreo para concreto asfáltico como mezcla asfáltica <sup>(25)</sup>.

Criba	% Mínimo	% Máximo	% Obtenido
1"	100	100	-
3/4"	88	100	100
3/8"	73	100	90
3/16"	65	100	79
1/4"	55	80	68
No. 4	48	68	58
No. 8	-	-	-
No. 10	32.5	48	49
No. 16	-	-	-
No. 20	22	34	36
No. 40	14	23	27
No. 50	-	-	-
No. 60	10	18	18
No. 80	-	-	-
No. 100	7.0	13	-
No. 200	5	10	-

Este material no cumple con las especificaciones para ser utilizado en la elaboración de mezcla asfáltica, aunque de la malla No. 4 a 1" si se encuentra dentro de los límites; el resto de ellas (malla No. 8 a malla No. 200) están fuera de los rangos especificados, como se observa en la siguiente figura 28. Otra causa por la que este material no cumple como estos productos es debido a que en a la prueba de abrasión de los ángeles se encuentra en el límite mínimo inferior por lo que no es aceptable; (ver tabla 13).

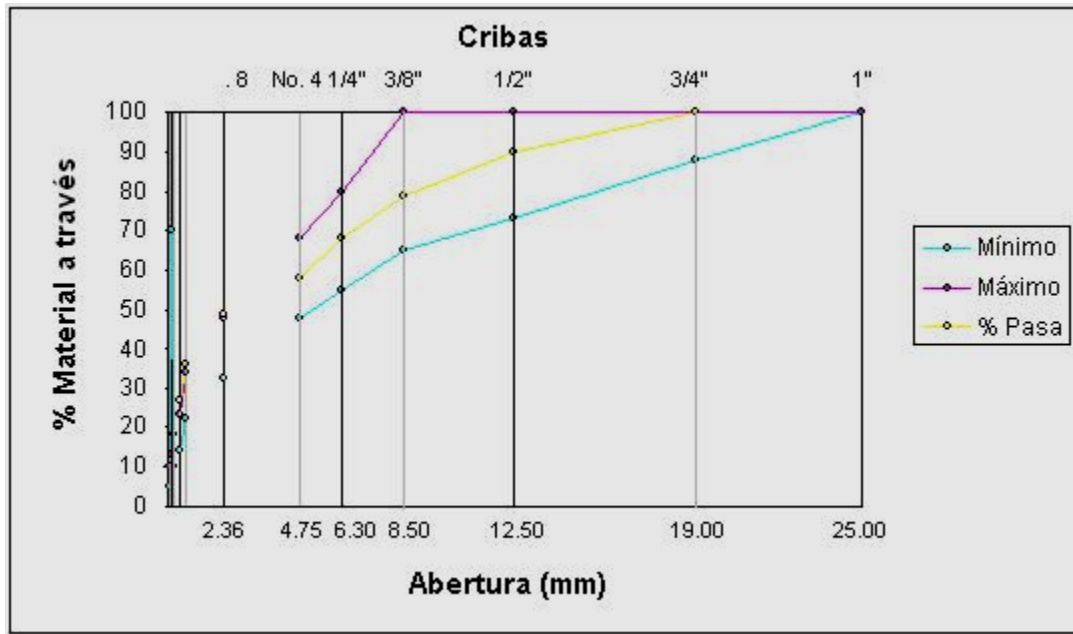


Figura 28. Curva granulométrica, mezcla asfáltica.

- **Calidad de Arena**

Las tablas 13 y 14 contienen resultados de las pruebas físicas realizadas al material en calidad de arena.

Tabla 13. Especificaciones para calidad de arena.

PRUEBAS MECÁNICAS	NORMA MEXICANA VIGENTE UTILIZADA	RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES ESPECIFICADOS
MASA ESPECÍFICA (MES 55) (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-164	2.6	-
ABSORCIÓN (%)	NMX-C-164	4	-
MASA VOLÚMETRICA SUELTA (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-073	1340	-
MASA VOLÚMETRICA VARILLADA (kg/m <sup>3</sup> )	NMX-C-073	1505	-
PERDIDA POR LAVADO CRIBA No. 200 (%)	NMX-C-084	4	15.0 % MAX.
ARCILLA POR SEDIMENTACIÓN (%)	SRH	0.2	3.0 % MAX.
PARTÍCULAS DEZLENABLES (%)	NMX-C-071 ONNCCE	0	3.0 % MAX.
PARTÍCULAS LIGERAS (%)	NMX-C-072 ONNCCE	0	3.0 % MAX.
ABRASIÓN LOS ÁNGELES (%)	NMX-C-196 ONNCCE	18.1	50.0 % MAX.

Tabla 14. Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad de arena <sup>(25)</sup>.

Criba	Retenido:			
	Límite:		Material	
	% Máximo	% Mínimo	% Retenido	% Acumulado
No. 4	5	0	0	9
No. 8	20	0	47.3	47.3
No. 16	50	15	25.9	73.2
No. 35	75	40	11.6	84.8
No. 50	90	70	3.3	88.1
No. 100	98	90	2.5	90.7
No. 200	-	-	5.9	96.6
Clasola	100	100	3.4	100
M.F.	-	-	-	-

Este material arroja resultados con modulo de finura fuera de los límites, debido al tipo de trituración en el laboratorio por lo que en la producción se obtendrá mejor curva granulométrica, en tanto que aquí, a nivel laboratorio se encuentra fuera de los límites, como se muestra en la siguiente figura 29.

Por tal motivo se concluye que el material si es apto para utilizarse como arena, ya que su abrasión de los Ángeles se encuentra en un 18.1 %, así mismo para la producción de este material se recomienda utilizar para la molienda molinos de impacto o de cono que nos disminuirá los límites de finura mucho menores en el material.



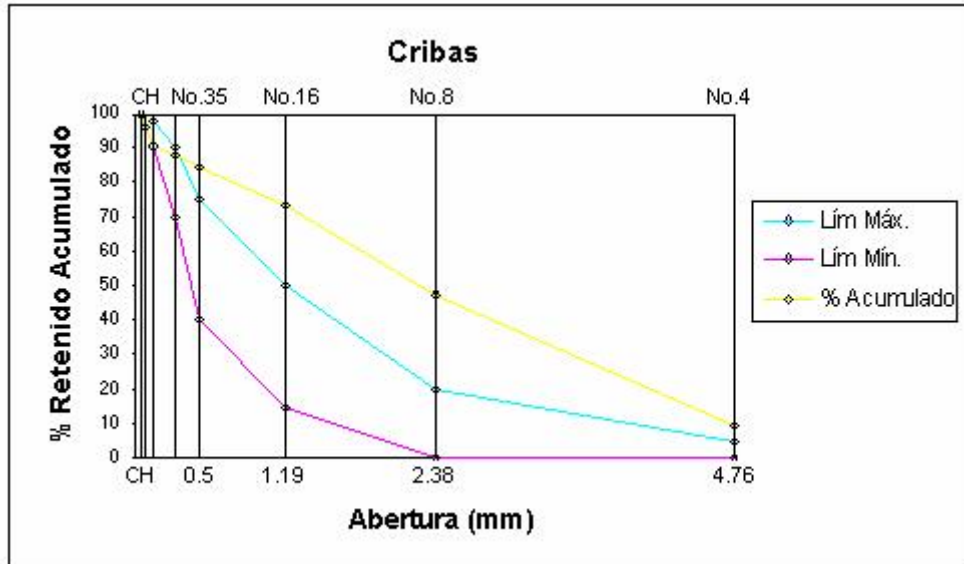


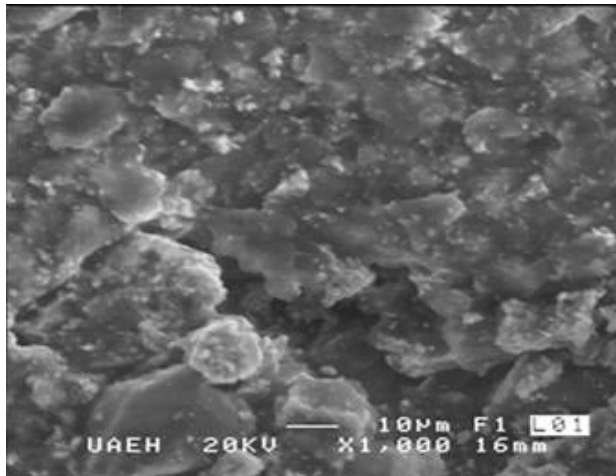
Figura 29. Curva granulométrica, arena.

### 3.6. RESULTADOS DE CALCINACIÓN

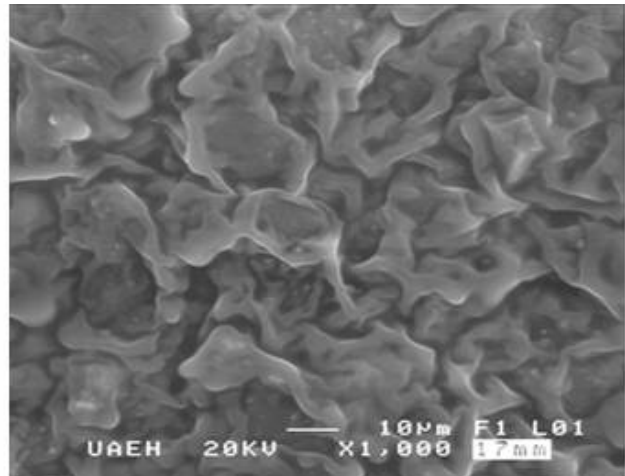
Una vez calcinado el material, se observó que el material se redujo de 25 g a 7.5914 g, esto debido a la pérdida de humedad natural y humedad cristalina del material, así como la pérdida de materia orgánica, el Ca presente en la muestra se eliminó. Asimismo se determinó que el material tiene un quemado de color café rojizo como se observa en la figura 30. Mediante el MEB se observa que ocurrió el fenómeno de sinterización (obsérvese la figura 31), lo cual ratifica que un uso posible para este material es como sustituto de feldespato <sup>(24)</sup>, debido a que se pudo incrementar la densidad del material, observando también que el material presenta excelentes propiedades de cocción sin la utilización de ligantes; cabe mencionar que ésta es una característica importante para la producción de cerámicos tradicionales, es decir; si se presentan buenas propiedades de cocción se incrementa la densidad del producto a fabricar.



Figura 30. Fotografía donde se observa el material después de ser calcinado, en un horno marca LECO, a una temperatura de  $1150^{\circ}\text{C}$ , con una velocidad de calentamiento de  $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .



a)



b)

Figura 31. Fotomicrografías del material calcinado a  $1150^{\circ}\text{C}$  y  $1000\times$ ;  
a) fotomicrografía donde se observa la formación de cuellos del proceso de sinterización, b) sinterización con presencia de fases líquidas.

---

---

# **CONCLUSIONES**

---

---

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye en forma evidente que la cantera está constituida por tres fases principales, cuyas estructuras son: cuarzo cristalino;  $\text{SiO}_2$ , mordenita;  $(\text{Na}_2\text{CaK}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y albita;  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ , mismas que fueron corroboradas por MEB, así como por el análisis químico realizado por absorción atómica.
2. De acuerdo a ésta investigación se concluye que éste material, si puede ser utilizado como material alterno para la industria, por sus propiedades físicas y químicas.
3. En base a los resultados de la composición química y mineralógica se propone que este material puede ser utilizado como un sustituto de feldespato mixto, ya que la suma de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  debe ser mayor a 7 %, en tanto que el porcentaje de  $\text{CaO}$  debe ser mayor a 1.1; por lo que el mineral utilizado en el presente trabajo de tesis si cumple con el contenido especificado. Éstos compuestos ablandan y funden a temperaturas menores que los feldespatos puros, y con la prueba del análisis termogravimétrico se ratifica este uso.
4. Con relación al porcentaje de absorción de humedad se concluye que este material puede ser utilizado como un mejorador de suelos en combinación con dolomita, debido a su alta retención de humedad y a que es un material inerte, dado que puede mostrar cierta retención de cationes.
5. Se puede utilizar en sistemas de hidroponía por su alta absorción y retención de humedad, en mezcla con tezontle cuyos tamaños de partícula deben ser entre 4 a 15 mm en promedio, esto nos permitirá una mayor retención de agua y una mejor oxigenación.
6. En base a las pruebas físicas este material puede ser utilizado como sello 3A, debido a que el tamaño requerido para este uso es de 9.51 mm ( $3/8''$ ), y en el se presenta el mayor % del material.

7. No es recomendable su utilización como grava, arena ni concreto asfáltico, debido a que se obtuvo un porcentaje de 15.1 para grava, 18.1 para arena y 17.52 para concreto asfáltico de abrasividad en el material, siendo que para éste uso, se requiere una abrasividad mínima del 25% y como máxima de 37 a 40% de acuerdo a la norma Mexicana NMX-C-111.
  
8. No es conveniente utilizar estas rocas como material para construcción y propósitos estructurales, porque no reúne las condiciones mínimas requeridas, como son la resistencia mecánica y densidad, principalmente; así como también el porcentaje de absorción de humedad que es muy alto. Por lo que se recomienda el uso de este material de cantera para recubrimientos, andadores y ornato, principalmente.
  
9. Se recomienda la utilización del cemento expansivo, como método de explotación, debido a que no es muy costoso; en cuanto al producto les ofrece buena calidad, además no se necesita de un equipo sofisticado, ni aparatoso. Con esto se tendrá un aprovechamiento racional y sustentable de éste material.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Huang, W. T., 1968. Ph. D. Petrología, editorial His, 1era. ed. 160 - 195 pp.
2. González, F. J., 2001. Reconocimiento geológico-minero de la cantera blanca “El Picacho” en Tezoantla, municipio de Mineral del Monte, Hidalgo. FIFOMI. 4 - 5 pp.
3. Demant, A. y Robin C., 1975. Las fases del vulcanismo en México: Una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, revista, n. 1. 70 - 82 pp.
4. Eicher, D. L., 1986. Geologic Time, Prentice-may Foundations of Earth Science Series.
5. FIFOMI, 1997. Estudio de mercado de rocas dimensionables. 12 - 30 pp.
6. Pellegrini, 2002. Manual de equipos y accesorios de laminado de cantera. Marmomachine Pellegrini. 4 - 25 pp.
7. Chimica edile s.r.l., 2002. Manual de propiedades y usos de cemento expansivo.
8. Damián, G., CEDOCYT - 1991. La Industria Pétrea - ICE/Región Toscana - México. 19, 20 pp.
9. CIMMGM (Colegio de Ingenieros Mineros, Metalurgistas y Geólogos de México), 2002. Curso - Taller, Técnicas de explotación de rocas dimensionables (cantera). 25 - 40 pp.
10. Instituto de Francia, 1992. Estudio de cantera del estado de Hidalgo. 11 - 25 pp.

11. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial), 1999. Estudio de mercado del granito. 2 - 10 pp.
12. DOF (Diario Oficial de la Federación), 1996. Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
13. COEDE (Consejo de Ecología Estatal), 2000. Norma Técnica Ecológica Estatal NTEE-COEDE-001/2000<sup>a</sup>. 8 -15 pp.
14. SEDECO (Secretaría de Desarrollo Económico), 2003. Banco de datos para la promoción de productos de cantera del estado de Hidalgo. 5 - 29, 32 - 35, 39 - 55, 72 - 84 pp.
15. FIFOMI (Fideicomiso de Fomento Minero), 1996. Estudio de mercado de rocas dimensionables, apartado 3. 15 - 30 pp.
16. Canteras arquitectónicas, S. A. de C. V., 2004. Catalog Materials Marketing's.
17. Instructions Jeol - 1991. JSM - 6300. Scanning microscope. Tokio Japan.
18. 1996. Manual de operación del espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer modelo 2100.
19. Cía. de Real del Monte y Pachuca, S. A. de C. V. 1996. Manual para analizar metales por espectroscopia de absorción atómica. 19 - 26 pp.
20. 2002. Norma ASTM con designación C97-02, cubre los métodos para realizar las pruebas para determinar la absorción y la gravedad específica a granel de todos los tipos de piedra de dimensión, excepto pizarra.

21. Saucedo, M. E., Giradles, A. y Gutiérrez, J. A., 1986. Manual de Productos Químicos para minería, edición revisada CYANAMID. 178 - 181 pp.
22. Norma Mexicana NMX C-111; especificaciones generales de agregados pétreos para elaborar concretos hidráulicos.
23. Universidad de Guadalajara, curso 29, 1997. Instructivo para efectuar pruebas en agregados y concreto hidráulico. Apoyo didáctico, 3: 45 – 50 pp.
24. García, E. y Suárez, M., 2001. Las arcillas, propiedades y usos. Universidad Complutense de Madrid. 10 - 58 pp.
25. FIFOMI (Fideicomiso de Fomento Minero), 2003. Cursos básicos de labrado de cantera y fabricación de piezas ornamentales.
26. Steiner, A. A., 1968. Soilles culture. Proccedings of the 6<sup>th</sup> colloquium of the International Potash Institute Florence, Italy. Published by: Int. Potash Inst., Berne Switzerland. 324 – 341 pp.
27. Luque, A., 1981. Retention of Ions by volcanics and used in hydroponic cultures. Acta Horticulturate 128:57 – 64 pp.
28. Cox, K. G., Bell, J. D. y Pankhurst, R. J., 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. Allen and Unwin, London.
29. Harben, M. W., 2002. The Industrial Minerals HandyBook, 4th edition. 127 pp.
30. FIFOMI (Fideicomiso de Fomento Minero), 2002. Caracterización del banco de cantera del señor Nicolás Vargas. 5 - 15 pp.
31. Baca y C. G. A., 1983. Efecto de la solución nutritiva, la frecuencia de los riegos, el substrato y la densidad de siembra en cultivos hidropónicos al aire libre de



pepino, melón y jitomate. Tesis Doctoral. Colegio de postgraduados. Montecillo, México.

32. Norma Mexicana NMX C-077 ONNCCE. Composición granulométrica.
33. Norma Mexicana NMX C-414-ONNCCE-1999. "Industria de la construcción - cementos hidráulicos - especificaciones y métodos de prueba", misma que entró en vigor a partir del 19 de octubre de 1999.

# LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁG.
1	Plano de localización, prospecto de cantera ubicado en Tezoantla, municipio Mineral del Monte, estado de Hidalgo.....	6
2	Plano geológico regional, prospecto de cantera ubicado en Tezoantla, municipio Mineral del Monte, estado de Hidalgo.....	8
3	Diagrama de flujo del proceso de explotación de cantera.....	10
4	Rozadora de cable (hilo diamantado).....	13
5	Cortadora de bloques de cantera, con hilo diamantado.....	13
6	Rozadora de brazo.....	14
7	Sistema de explotación manual de cantera.....	16
8	Bloques extraídos por el método de barrenos, donde se observan las marcas de los mismos.....	17
9	Efecto del cemento expansivo dentro del barreno.....	18
10	Modalidad de uso del cemento expansivo.....	19
11	Productos ornamentales de cantera; a) chimenea, b) cocina integral, c) columnas.....	23
12	a) Recubrimiento de pisos con losetas, b) fachadas con canteras, c) placas laminadas 30 * 30.....	24
13	Cantera combinada con resina; a) cornisas multicolores, b) estampadas de cantera combinada con resina.....	25
14	Muestreo del depósito de cantera, en la región de Tezoantla.....	28
15	a) Cilindro y base, b) frasco con cono.....	36
16	Cono sobre la placa; para obtener el peso de la arena retenida entre el cono y la placa.....	37

<b>FIGURA</b>		<b>PÁG.</b>
17	Equipo para llevar a cabo la lectura de arcillas.....	38
18	Difractograma de Rayos-X de cantera, cuyas especies minerales principales son: cuarzo cristalino (Q), mordenita (M) y albita (A)...	42
19	Fotomicrografías donde se observa el tamaño de partícula y de poro en la muestra en condiciones normales; a) 2700 X, b) 1000 X. ....	44
20	Espectro de Rayos - X por dispersión de energías del material de cantera.....	45
21	Clasificación de cantera de la región de Tezoantla considerando la nomenclatura de rocas ígneas comunes, con base a los contenidos de sílice y alcalinos (suma de Na <sub>2</sub> O y K <sub>2</sub> O) .....	47
22	Gráfica de distribución de tamaños de partículas.....	50
23	Termograma de cantera; obtenido en un analizador termogravimetrico (ATG).....	51
24	Difractogramas del material a diferentes temperaturas; 700, 1000 y 1300° C.....	52
25	Fotomicrografías donde se observa el tamaño de partícula y de poro en la muestra después del ATG; a 1400° C, a) 6000 X, b) 6500 X.....	53
26	Curva granulométrica, agregado para concreto hidráulico.....	56
27	Curva granulométrica, sello 3A.....	58
28	Curva granulométrica, mezcla asfáltica.....	60
29	Curva granulométrica, arena.....	62
30	Fotografía donde se observa el material después de ser calcinado.....	63
31	Fotomicrografía del material calcinado a 1150° C y 1000 X; a) fotomicrografía donde se observa la formación de cuellos del proceso de sinterización, b) sinterización con presencia de fases líquidas.....	63

## LISTA DE TABLAS

TABLA		PÁG.
1	Ventajas y desventajas de los métodos más utilizados en la extracción de cantera.....	20
2	Series de tamices US. Especificación ASTM E-11-61.....	33
3	Equivalencias de series de tamices US. Especificación ASTM E-11-61.....	35
4	Distancias interplanares características de las principales fases cristalinas presentes en el material de cantera.....	43
5	Química de la cantera.....	46
6	Propiedades físicas del material de cantera.....	48
7	Análisis granulométrico del material estudiado.....	49
8	Resultados obtenidos de calidad de grava bajo norma.....	54
9	Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad de grava.....	55
10	Especificaciones para que un material pueda ser utilizado como agregado pétreo para concreto asfáltico.....	57
11	Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad de agregado pétreo para concreto asfáltico como sello 3A.....	58
12	Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad de agregado pétreo para concreto asfáltico como mezcla asfáltica.....	59
13	Especificaciones para calidad de arena.....	60
14	Composición granulométrica de la muestra ensayada en calidad de arena.....	61

## GLOSARIO

**Abrasión por desgaste de los Ángeles.** Resistencia que presenta un material al desgaste, bajo fuertes condiciones de fricción.

**Aeración.** Se refiere a la circulación de oxígeno en el material (cantera), debido a la porosidad que presenta.

**Agregados pétreo.** Producto obtenido de un proceso de trituración, molienda y clasificación de una roca, los cuales son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

**Albita.** La albita es el término más sódico de las plagioclasas, siendo frecuente la mezcla de albita y anortita llamada pertitización. Normalmente se presenta en cristales bien conformados, implantados o maclados de hábito tabular o alargado. Es utilizada en cerámica muy fina.

**Arcilla.** Es un agregado de minerales y de sustancias coloidales. Se aplica a las sustancias terrosas formadas principalmente por silicatos alumínicos hidratados con materia coloidal y trozos de fragmentos de roca, que generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas, y pétreas por la acción del fuego.

**Balaustros.** Pieza ornamental, producto de un proceso de labrado de un tipo de roca dimensionable.

**Barrenos.** Barrena, por lo general de mayor tamaño. Agujero que se hace con la barrena.

**Bloques.** Fragmentos de roca de gran tamaño, (superior a 200 mm), que se encuentran comúnmente presentes en depósitos de tipo aluvial, coluvial, etc.

**Bombas.** Las bombas volcánicas son masa en estado líquido o plástico arrojada por un volcán, que se solidifica en el aire antes de alcanzar la superficie. Su tamaño varía desde los 4 mm hasta 1 m.

**Cabestre.** Placa de de hierro que sirve para separar la roca.

**Cala.** Sinónimo de pozo.

**Cenizas o polvos volcánicos.** La ceniza volcánica (o ash), es material sin consolidar, de grano fino menor a 4 mm.

**Clastos.** Son partículas de diversos tamaños, provenientes de una roca atacada por la meteorización física o química.

**Composito.** Mezcla u homogenización de dos o mas materiales, la cual da origen a un nuevo compuesto.

**Criba.** Malla rígida ondulada, se fabrica a diferentes diámetros, aberturas y calibres.

**Densidad específica.** La densidad relativa, también denominada gravedad específica, es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua:

$$d_r = \frac{d_s}{d_a}$$

**Escorias volcánicas (o cinder).** Son bombas de diversos tamaños y de aspecto esponjoso a causa de las burbujas de gases que contenía en el momento de la solidificación. Las escorias se depositan ya consolidadas.

**Espectrofotómetro.** Es un instrumento usado en la física óptica que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones. También es utilizado en los laboratorios de química para la cuantificación de sustancias y microorganismos. Hay varios tipos de espectrofotómetros, puede ser de absorción atómica o espectrofotómetro de masa.

**Feldespatos.** Los feldespatos constituyen el 60% de las rocas ígneas, son silicoaluminatos de sodio (Albita), potasio (Ortioso) y calcio (Anortita).

**Ígneas extrusivas.** Las rocas ígneas extrusivas, o volcánicas, se forman cuando el magma fluye hacia la superficie de la Tierra y hace erupción, éste material fluye en forma de lava; y luego se enfría y forma las rocas.

**Ignimbrita.** Una ignimbrita es un cuerpo rocoso constituido principalmente por material piroclástico (fragmentos incandescentes) generados por un tipo de erupción volcánica muy energética y violenta que expulsa el material hasta lugares muy lejanos a través del aire y que sucesivamente se depositan en tierra firme consolidándose con formas y estructuras muy heterogéneas.

**Labrado.** Es el proceso de esculpimiento de una roca dimensionable.

**Laminado.** Proceso de corte y encuadramiento que se le da a una roca dimensionable.

**Lapilli.** Roca piroclástica constituida por pequeños fragmentos de lava sueltos, en general menores de 3 cm.

**Malta.** Este nombre se le da a la pasta que se forma con la mezcla de agua y cemento expansivo.

**Mezcla asfáltica.** Combinación de asfalto con agregado pétreo (grava) de diferente dimensión.

**Mineral no concesible.** Se le llama así a las rocas o a los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen a este fin, asó también a los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación se realice por medio de trabajos a cielo abierto.

**Mordenita.** Es una especie mineral de zeolita.

**Oladinámicos.** Es una herramienta que se utiliza para separar la roca una vez cortada.

**Plagioclasa.** En griego la palabra pagiocla significa; el que se deshace oblicuamente. A diferencia de otros feldespatos, donde el ángulo comprendido entre los planos de crucero 001 y 010 es igual a  $90^\circ$  o se aproxima a ello, en las plagioclasas no llega a  $87^\circ$ .

**Policable.** Quiere decir más de dos cables.

**Porosidad.** Se refiere a la medida del espacio intersticial entre grano y grano, la cual representa la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca. La porosidad es el volumen de huecos de la roca, y define la posibilidad de ésta de almacenar más o menos cantidad de fluido. Se expresa por el porcentaje de volumen de poros respecto al volumen total de la roca (porosidad total o bruta).

**Rocas dimensionables.** Son aquellas rocas que por sus características de resistencia al corte se les da una forma definida.

**Rozadoras.** Son máquinas que se usan para hacer cortes en las rocas dimensionables, cuentan con una cabeza que es por donde pasa el hilo diamantado.



**Rozas.** Se les conocen también como cuñas, su tamaño es de 5 a 15 cm en promedio.

**Sello 3A.** Material utilizado para revestimiento de caminos obtenido del procesamiento de agregados pétreos, el cual contiene del 1 al 3 % de arcilla.

**Sinterización.** Es definida como la remoción de poros entre partículas precursoras, acompañadas de un encogimiento y formación de fuertes enlaces entre partículas.

**Tezontle.** Roca ígnea extrusiva, algunos de los usos que se le da a esta roca son: arreglos florales; gracias a que retiene el calor se usa en la construcción de baños de temascal, para la construcción de hornos de barbacoa y de pan (en especial el pan tradicional de día de muertos), para la elaboración del tabicón ligero. Molido se utiliza para relleno de calles de terracería y como fachada de algunas casas.

**Tobas volcánicas.** Son las rocas formadas por los productos de la explosión de un volcán; tales como cenizas, puzdanas, bloques, clastos, etc.

**Vaina tubular.** Se le conoce así al barreno donde es introducido el cemento expansivo.

**Volcanismo fisural.** Son las erupciones que se localizan a lo largo de accidentes tectónicos importantes tales como fallas.

**Zeolita.** Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal una estructura porosa con diámetros de poros mínimos de 3 a 10 angstroms. Sus principales propiedades permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible.

---

# **ANEXOS**

---

## **Anexo 1**

**DESIGNACIÓN C97-02  
METODOS DE PRUEBA ESTANDAR<sup>1</sup>**

**ABSORCIÓN Y GRAVEDAD ESPECÍFICA A GRANEL DE LA DIMENSIÓN DE PIEDRA**

Este estándar se publica bajo designación fija C 97, el número inmediatamente después de la designación indica el año de la adopción original o, en el caso de la revisión, el año de la revisión pasada. Un número en paréntesis indica el año de revisión pasada. Una epón de exponente (e) indica un cambio retaccional desde la revisión pasada o revisada. Este estándar ha sido aprobado para el uso por las agencias del departamento de la defensa

### **1. Alcance**

1.1 Estos métodos de la prueba cubren las pruebas para determinar la absorción y la gravedad específica a granel de todos los tipos de piedra de dimensión, excepto pizarra

1.2 **Unidades.** Los valores indicados en unidades del SI o unidades de la libra-pulgada deben ser mirados por separado como estándar. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser equivalentes exactos; por lo tanto cada sistema será utilizado independientemente del otro. Combinar valores de los dos sistemas puede dar lugar a inconformidad con el estándar.

1.3 Este estándar no pretende tratar las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas apropiadas de seguridad y de la salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes del uso.

### **2. Documentos de referencia**

2.1 Estándar ASTM

C119 Terminología relativa de la dimensión de la piedra

### **3. Terminología**

3.1 Definiciones - Todas las definiciones son acordes con la terminología C119<sup>2</sup>

### **4. Significado y usos**

Estos métodos de la prueba son útiles en indicar las diferencias en la absorción entre las varias dimensiones de piedras. Estos métodos de la prueba también proporcionan un elemento en comparar piedras del mismo tipo.

### **5. Muestreo**

5.1 La muestra será seleccionada para representar un promedio verdadero del tipo o del grado de la piedra bajo consideración y estará de la calidad provista al mercado bajo designación del tipo que se probará. La muestra se puede seleccionar por el comprador o el suyo representante autorizado del de piedra sacada o tomar de la repisa natural y estará del tamaño adecuado para permitir la preparación por lo menos de cinco especímenes de la prueba. Cuando ocurren las variaciones perceptibles, el comprador puede seleccionar tantas muestras como son necesarios para determinar la gama en características.

### **6. Pruebas de espécimen**

6.1 Los especímenes pueden ser cubos, prismas, cilindros, o cualquier forma regular con menos dimensión no bajo 50 milímetros (2 pulgadas.) y la dimensión más grande no sobre 75 milímetros (3 pulgadas.) pero el cociente del volumen al área superficial no será menos de 8 ni mayor de 12.5 al medir en milímetros (0.3 y 0.5 al medir en pulgadas). Todas las superficies serán razonablemente lisas. Las superficies de la sierra o del taladro de la base se consideran

<sup>1</sup> Estos métodos de la prueba son bajo jurisdicción del comité C18 de ASTM sobre la piedra de dimensión y son la responsabilidad directa del subcomité C18.01 en métodos de la prueba. Edición actual de abril aprobado el 10 de 2002. Publicado Julio De 2002. Publicado originalmente como C 97- 30, Edición anterior pasada C 97- 96.

<sup>2</sup> Libro anual de los estándares de ASTM vol. 04.07

satisfactorias, pero superficies más ásperas serán acabadas con abrasivo del No. 80. No se utilizará ningunos cinceles o herramientas similares en ninguna etapa de preparar los especímenes.

6.2. Prepare por lo menos cinco especímenes de cada muestra.

6.3. Los mismos especímenes se pueden utilizar para determinar la absorción del agua y la gravedad específica a granel. En este caso, siga los procedimientos en 7,1-7,3 y 10,1, y publique un solo informe que contiene toda la información requerida en 9 y 13. Alternativamente, los especímenes separados se pueden preparar del mismo o de las diversas muestras. En este caso, siga el procedimiento aplicable para la determinación y la divulgación separadas de la absorción del agua o de la gravedad específica a granel, o ambos.

## 7. Procedimiento

7.1. Seque los especímenes para 48 h en un horno ventilado en una temperatura de 50 ± 2°C (140 ± 4°F). En el 46.º, la 47.ª, y 48.ª hora, pesa los especímenes para asegurarse de que el peso es igual. Si el peso continúa cayendo, continúe secando los especímenes hasta que hay tres lecturas cada hora sucesivas con el mismo peso.

7.2. Después de secarse, refresque los especímenes en el cuarto por 30 minutos y pese. Cuando los especímenes no pueden ser pesados inmediatamente después de refrescarse, almacénelos en un desecador. Determine los pesos a los 0,01 g más cercano (0,0005 onzas).

7.3. Sumerja los especímenes totalmente en filtrado o el agua destilada en 22 ± 2°C (72 ± 4°F) para 48 h. en el final de este período los quita del baño de agua uno a la vez, emerge seco con un paño húmedo, y pesa a los 0,01 g más cercano (0,0005 onzas).

## 8. Cálculo y reporte

Calcule la absorción del porcentaje del peso (nota 1) para cada espécimen como sigue

$$\text{Absorción, peso \%} = (B - A)/A \times 100 \quad (1)$$

Donde:

A = peso del espécimen secado, y

B = peso del espécimen después de la inmersión

**NOTA 1:** Si el porcentaje de la absorción por el volumen que se desea será necesario determinar la gravedad específica a granel y multiplicar cada valor de la absorción del porcentaje por el peso por el valor correspondiente de la gravedad específica a granel.

8.2. Calcule la absorción mala del agua de la muestra como el promedio de la absorción del porcentaje del peso para todos los especímenes.

## 9. Reporte

9.1. El informe contendrá la información siguiente

9.1.1. Identidad del partido que proporciona la muestra

9.1.2. Nombre de la piedra

9.1.3. Identidad de la muestra

9.1.4. Absorción mala del agua de la muestra

9.1.5. Algunas variaciones al procedimiento, incluyendo las dimensiones del espécimen, dadas en este estándar

9.2. El informe también contendrá la información siguiente para cada espécimen

9.2.1. Peso del espécimen secado

9.2.2. Peso del espécimen empapado y superficie-secado en aire

### 9.2.3. Absorción del agua del porcentaje en peso de espécimen

## GRAVEDAD ESPECÍFICA A GRANULOS

### 10. Procediendo

10.1. Cuando la absorción y la gravedad específica a granel deben ser determinadas en los mismos especímenes, pese los especímenes saturados suspendidos en agua filtrada o destilada en  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $72 \pm 4^\circ\text{F}$ ) inmediatamente después que se terminan las pruebas de la absorción. Determine los pesos suspendidos a los 0,01 g más cercano (0,0005 onzas).

10.2. Los medios satisfactorios de pesar especímenes en agua son utilizar una cesta del alambre similar a ésta ilustrada en fig. 1 para suspender el espécimen en un recipiente del agua. El recipiente del agua será bastante grande de modo que solamente el cable que suspende de la cesta pase a través de la superficie del agua. Asegure las burbujas de aire se quitan de la cesta y del espécimen antes de registrar el peso.

10.2.1. El recipiente del agua se puede apoyar en la cacerola del balance con la cesta suspendida de un marco también apoyado en una cacerola del balance, según lo ilustrado en fig. 1. Determine el peso de la cesta cuando está suspendido en agua a la misma profundidad que al pesar especímenes en esto. Reste el peso de la cesta a los 0,01 g más cercano del peso combinado del espécimen y de la cesta.

10.2.2. La cesta se puede suspender debajo de un equilibrio electrónico con el recipiente del agua apoyado independientemente, según lo ilustrado en fig. 2. Ponga a cero el equilibrio con la cesta suspendida en agua a la misma profundidad que al pesar especímenes.

10.3. Cuando la prueba de la gravedad específica a granel se hace en especímenes con excepción de éstos usadas para la absorción, determine los pesos secos como en 7.1 y 7.2. Sumerja los especímenes en filtrado o el agua destilada en  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $72 \pm 4^\circ\text{F}$ ) para por lo menos las burbujas de 1 h. aire del oruntil no forma en los especímenes en el plazo de 5 minutos. Superficial seque los especímenes como en 7.3, pesen a los 0,01 g más cercano (0,0005 onzas), y vuelven al baño de agua. Determine a pesos de los especímenes suspendidos en agua de acuerdo con 10.2 antes de que los especímenes hayan estado parados en el agua más de 5 minutos.

FIGURA 1. Asamblea de la prueba de la gravedad Especifica a granel: recipiente del agua debajo de la cacerola del balance

A.- Especimen	G.- Lazo para el accesorio al estribo del balance de la
B.- Suspensión de canasta	H.- Sección recortada de la cesta
C.- Anillo de cobre amarillo	I.- Tarro del agua
D.- Fondo de la cesta de 1,83 milímetros (No. 13 B & S galga) anillo de cobre amarillo (todos los empalmes soldados)	J.- nivel del agua
E.- Fianza de la cesta de 1,83 milímetros (No. 13 B & S galaga) anillo de cobre amarillo	K.- Soporte del tarro del agua
F.- Alambre de la suspensión de 0,812 milímetros (No. 20 B & S galga) anillo de cobre amarillo	L.- Barra de la suspensión de la cacerola del balance
	M.- Balance
	N.- Viga del balance

## 11. Cálculo

11.1. Calcule la gravedad específica a granel como sigue

$$\text{Gravedad específica a granel} = A/(B-C) \quad (2)$$

Donde:

A = peso del espécimen secado,

B = peso del espécimen empapado y superficie-secado en aire, y

C = peso del espécimen empapado en agua.

**FIGURA 2. Asamblea de la prueba de la gravedad Específica a granel: recipiente del agua debajo de la cacerola del balance**

A - espécimen	G - Lazo para el accesorio al estribo del balance de la
B - Suspensión de canasta	H - Sección recortada de la cesta
C - Anillo de cobre amarillo	I - Tarro del agua
D - Fondo de la cesta de 1,83 milímetros (No. 13 B & S galga) anillo de cobre amarillo (todos los empalmes soldados)	J - nivel del agua
E - Fianza de la cesta de 1,83 milímetros (No. 13 B & S galga) anillo de cobre amarillo	K - Soporte del tarro del agua
F - Alambre de la suspensión de 0,812 milímetros (No. 20 B & S galga) anillo de cobre amarillo	L - Soporte del balance
	M - Balance
	N - Benchtop

11.2. Calcule la gravedad específica a granel mala de la muestra como el promedio de la gravedad específica a granel para todos los especímenes.

**NOTA 2 :** La gravedad específica a granel da medios convenientes y exactos de calcular el peso de unidad de la piedra; por ejemplo, peso de la piedra mojada por el metro cúbico (pie cúbico) = gravedad específica a granel 3 1000 (62,4)

## 12. Reporte

12.1. El informe contendrá la siguiente información

12.1.1. Identidad del partido que proporciona la muestra

12.1.2. Nombre de la piedra

12.1.3. Identidad de la muestra

12.1.4. Gravedad específica a granel de la muestra

12.1.5. Algunas variaciones al procedimiento, incluyendo las dimensiones del espécimen, dadas en este estándar

12.2. El informe también contendrá la información siguiente para cada espécimen

12.2.1. Peso del espécimen secado

12.2.2. Peso del espécimen empapado y superficie-secado en aire.

12.2.3. El peso del espécimen empapado suspendido en agua

12.2.4. Gravedad específica a granel del espécimen

### **13. Precisión y diagonal**

13.1. Las variaciones individuales en un producto natural pueden dar lugar a la desviación de valores aceptados. Una sección de la precisión será agregada cuando los suficientes datos están disponibles para indicar en la capacidad de repetición y la reproductibilidad.

### **14. Palabras claves**

14.1. absorción, gravedad específica a granel; piedra de dimensión; piedra; prueba



## **Anexos 2**

GOBIERNO DEL ESTADO DE HIDALGO  
PODER EJECUTIVO



**LIC. MANUEL ÁNGEL NÚÑEZ SOTO, GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE HIDALGO, EN EJERCICIO DE LAS FACULTADES QUE ME CONFIEREN LOS ARTÍCULOS 71 FRACCIÓN I DE LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ESTADO; 4°, 8° Y 32 DE LA LEY ORGÁNICA DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DEL ESTADO, 5° FRACCIONES I, V, IX Y XIV DE LA LEY DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE DEL ESTADO DE HIDALGO, Y CONSIDERANDO**

**CONSIDERANDO**

Que con fundamento en lo dispuesto por los artículos 4° párrafo quinto, 27 y 121 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 5° fracciones IV y V de la Ley Minera; 7° fracción X de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 3° fracción XXVII, 5° fracciones IX y XIV de la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo y 4 fracción XII del Decreto Gubernamental que modifica los diversos Consejo Estatal de Ecología, el Gobernador Constitucional del Estado, está facultado para que en el ámbito de su circunscripción territorial emita las normas y criterios ecológicos para preservar y restaurar la calidad ambiental.

II. Que en el Estado de Hidalgo, la explotación de bancos de materiales pétreos es una actividad sobresaliente en virtud de la derrama económica que produce su diseminación en gran parte de la entidad.

III. Que no obstante su importancia económica la explotación de bancos de materiales pétreos genera efectos ambientales que pueden llegar a ser irreversibles de no sujetársele a limitaciones en su operación y de no complementarse con acciones de restauración.

IV. Que la aplicación de esta Norma permitirá proteger el ambiente, preservar el equilibrio ecológico y minimizar los impactos ambientales ocasionados por la actividad en cuestión.

En mérito a lo anterior y con fundamento en las disposiciones legales antes mencionadas, he tenido a bien expedir la siguiente:

**NORMA TÉCNICA ECOLÓGICA ESTATAL NTEE-COEDE-001/2000, QUE ESTABLECE LOS CRITERIOS Y LINEAMIENTOS PARA LA EXPLOTACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES PÉTREOS.**

**ÍNDICE**

1. Objetivo y campo de aplicación.
2. Definiciones.
3. Criterios y especificaciones.
4. Lineamientos.
5. Sanciones.
6. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales

## 7. Bibliografía

### 1. Objetivo y campo de aplicación

- 1.1 Esta Norma Técnica Ecológica establece los criterios lineamientos para la explotación de bancos de materiales pétreos.
- 1.2 Es de observancia obligatoria para aquellos que realizan o pretenden realizar actividades de explotación de bancos de materiales pétreos.

### 2. Definiciones

- 2.1 **Banco de materiales pétreos:** Es aquel depósito natural de arenas, gravas, tepetate, tezontle, arcilla, piedra o cualquier otro material derivado de las rocas que sea susceptible de ser utilizado como material de construcción, para la fabricación de éstos o como elemento de ornamentación.
- 2.2 **Explotación:** Es el acto por el cual se retira de su estado natural de reposo, cualquier material constituyente de un banco, independientemente del volumen que se retire o de los fines para los cuales se realice esta acción, así como el conjunto de actividades que se realicen preponderantemente por medio de trabajos a cielo abierto con el propósito de extraer materiales pétreos de un banco, así como el almacenamiento y transporte de los materiales dentro del área de los terrenos involucrados en la explotación.
- 2.3 **Talud:** Es la inclinación formada por la acumulación de fragmentos del suelo con un ángulo de reposo del material del terreno de que se trate.

### 3. Criterios y especificaciones

#### 3.1 Labores de explotación

- 3.1.1 El predio donde se realice o pretenda la explotación deberá ser delimitado físicamente de los predios contiguos con malla ciclónica, cerca de alambre de púas o postes de concreto, según la superficie autorizada. Dicha cerca perimetral también podrá constituirse con árboles, los cuales se podrán plantar paulatinamente a lo largo del tiempo de vida útil de la mina. Las especies a plantar deberán ser nativas de la zona o ecológicamente compatibles con la misma.
- 3.1.2 Se respetará una franja de amortiguamiento de 20 metros como mínimo hacia dentro del predio en todo perímetro del mismo. Esta franja deberá reforestarse con especies arbóreas de la región.
- 3.1.3 La tierra vegetal producto de despalmes y/o descapote, será dispuesta en un sitio que no pretenda explotarse para su almacenamiento, con la finalidad de utilizarse en la regeneración del suelo una vez concluidas las actividades de explotación.
- 3.1.4 Conforme avance la explotación y la operación del banco lo permita, el suelo fértil que se resguardó deberá emplearse para el recubrimiento de los taludes finales y del piso de la mina, de tal forma que los recubra una capa con un espesor de 30 cm.
- 3.1.5 Paralelamente, se instrumentarán acciones de retención del suelo, con la adecuada plantación de algún tipo de vegetación nativa de la zona, especialmente árboles en los sitios cuya pendiente lo permita.

- 3.1.6 En la explotación de bancos de arena, grava o arcilla, todos los taludes que queden después de la explotación deberán tener un ángulo menor o igual a 45 grados, para el caso de tepetate, tezontle o cualquier tipo de roca, la inclinación del talud será igual al ángulo de reposo que garantice la estabilidad de dicho talud, llevándose a cabo, invariablemente, actividades de forestación previendo la adecuada plantación de especies arbóreas nativas de la zona.
- 3.1.7 Para materiales como arena, grava, tepetate, arcilla y tezontle, las excavaciones serán a cielo abierto, en terreno plano o en ladera, la altura máxima de banco o del corte será de 15 m. En los casos en que debido a las condiciones topográficas (laderas) se requiera mayor altura para continuar con la explotación, ésta se continuará en forma escalonada construyendo bermas con un ancho mínimo de 5 m.
- 3.1.8 Para materiales rocosos sólo se permitirán excavaciones a cielo abierto, la altura máxima del corte será la correspondiente al espesor del basalto, pero nunca será mayor de 30 metros, asimismo el talud del corte en este tipo de material podrá ser vertical no permitiendo el contratalud.
- 3.1.9 En la explotación de materiales rocosos con el fin de provocar el volteo por su propio peso del material, se permitirá hacer excavación en el estrato subyacente hasta de 5 metros de ancho por 1 metro de altura, separados de la siguiente por una franja en estado natural de 3 metros de ancho, las cuales deberán permanecer apuntaladas hasta que el personal y equipo se encuentren en zonas de seguridad.
- 3.1.10 Se dejará una franja de protección de 20 metros de ancho mínimo alrededor de la zona de explotación. El ancho de esa franja de protección se medirá a partir de las colindancias del predio o caminos, líneas de conducción, transmisión y telecomunicaciones, hasta la intersección del terreno natural con la parte superior del talud resultante. Esta franja de protección debe quedar totalmente libre de cualquier instalación o depósito de material almacenado. Esta zona constituirá, asimismo, una zona de protección ecológica para los colindantes.
- 3.1.11 La extracción de los materiales deberá ser uniforme sin dejar obstáculos ni montículos en el interior de la zona de explotación que interfieran con las acciones de nivelación y restauración, asimismo la nivelación del piso en las áreas donde ya se extrajo material presentará una diferencia de cotas máxima de 0.50 m.
- 3.1.12 El área ocupada por ductos (agua, gas, petróleo y sus derivados) y/o líneas de transmisión o de comunicación, así como sus respectivos derechos de vía no podrá incorporarse como zona de explotación.
- 3.1.13 La actividad de deshierbe se efectuará mediante prácticas mecánicas y/o manuales, eliminando la aplicación de defoliables químicos y actividades de quema. 3.1.14 No deberá trabajarse más de un área de explotación a la vez.
- 3.1.15 El material pétreo que reúna las características de calidad para su comercialización podrá utilizarse en las actividades de restauración. Para ello, deberá depositarse en sitios específicos dentro del predio sin que se afecte algún tipo de recurso natural no sujeto a la explotación.
- 3.1.16 Las rampas de acceso en la zona de explotación para movimiento del equipo en los frentes tendrán una pendiente cuyo ángulo no sea mayor de trece grados. Para pendientes mayores se deberá utilizar equipo especial.

- 3.1.17 En la excavación de volúmenes incontrolables se deberá retirar al personal tanto del frente del banco como de la parte superior de ésta.
  - 3.1.18 En el uso de explosivos, por lo que se refiere a los medios de seguridad en el manejo, transportación y almacenamiento de los mismos, se cumplirán estrictamente las disposiciones de la Secretaría de la Defensa Nacional, establecidas en la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, y en su reglamento.
  - 3.1.19 Se usarán explosivos únicamente en la excavación de material muy consistente, tales como la roca basáltica y andesítica, y cuando el empleo de medios mecánicos resulte ineficaz.
  - 3.1.20 En toda excavación con uso de explosivos deberá retirarse a todo el personal tanto en el frente del banco como en la parte superior de éste.
  - 3.1.21 Los trabajos de excavación con explosivos se realizarán estrictamente bajo la supervisión del organismo competente y no se autorizarán en áreas a menos de 500 metros de zonas urbanas.
  - 3.1.22 El horario para los trabajos de explotación de yacimientos, quedará comprendido entre las 6:00 y las 18:00 horas.
  - 3.1.23 Durante el traslado de material del banco de explotación al sitio de depósito, las unidades de transporte cubrirán en su totalidad el material con lonas que impida la dispersión de partículas, asimismo se efectuarán riegos periódicos sobre las superficies de maniobras y caminos de acceso, con el objeto de evitar las emisiones de polvos. Este proceso incluye estrictamente la aspersión de agua no potable (pipas), hasta asegurar el control de las emisiones de polvo.
- 3.2 Observancia de los recursos hídricos en las actividades de explotación de bancos pétreos
- 3.2.1 En las actividades de explotación se evitará afectar del cauce de ríos, arroyos o manantiales, respetando zonas o derechos de vías federales.
  - 3.2.2 La disposición de los materiales o residuos líquidos o sólidos, por ningún motivo podrá realizarse, temporal o permanentemente, sobre derechos de vía, lechos o cauces de los cuerpos de agua.
  - 3.2.3 Se formará una barrera física que impida el arrastre de material particulado hacia el cauce o lecho de cuerpo de agua, la cual deberá construirse de materiales diferentes a la arena, grava, tepojal, tezontle o tepetate, pudiéndose emplear para tal fin rocas de gran tamaño extraídas de la mina.
  - 3.2.4 Se construirán canales de desagüe para que el agua de lluvia no arrastre materiales pétreos particulados hacia el cauce o lecho del cuerpo.
  - 3.2.5 Se construirá un canal perimetral en la zona de explotación con el objeto de captar los escurrimientos y evitar la erosión del suelo impactado conduciendo estos hacia sitios donde no causen afectación.
  - 3.2.6 Se realizará una reforestación de los márgenes de los cuerpos de agua o se reforzará la vegetación existente.
  - 3.2.7 Los canales de desagüe de la mina que desemboquen hacia un cuerpo de agua, contarán con desarenador o trampa de sólidos antes de su descarga.

- 3.2.8 Las excavaciones no deberán llegar al nivel freático. En caso de alumbramiento del manto freático se deberá cumplir con la normatividad que establezca la Comisión Nacional del Agua.

### 3.3 Infraestructura

- 3.3.1 La estructura de la cribadora, por razones de seguridad y prevención de accidentes, será una estructura firmemente asentada en columnas, preferentemente de concreto armado o de acero.
- 3.3.2 Las bandas transportadoras, en caso de existir, deberán contar con sistemas cubrepolvos a fin de evitar fuga y dispersión de material particulado.
- 3.3.3 Las edificaciones construidas al interior del banco, se ubicarán en aquellas áreas del redio no susceptibles de explotación.
- 3.3.4 Las áreas dedicadas al mantenimiento y reparación de vehículos automotores y en las cuales se manejen aceites, grasas y combustibles deberán contar con un piso de cemento junteado y sellado y estar bajo techo, además de contar con un almacén temporal para estos materiales peligrosos.
- 3.3.5 El suministro de combustibles y su almacenamiento se realizará de manera que se evite cualquier tipo de contingencia por derrame, fuga o incendio.
- 3.3.6 El almacenamiento de combustibles deberá realizarse en un sitio ventilado, cubierto y con piso de concreto, el que tendrá un dique de contención de una altura que no exceda un metro y que sea suficiente para captar 1.1 veces el volumen a almacenar. Además se localizará a más de 30 m de cualquier acceso o lugar de reunión del personal de la mina, y estará controlado por alguna persona, los tanques de almacenamiento deberán estar conectados a tierra, con el fin de evitar cargas estáticas.
- 3.3.7 Se deberá contar con instalaciones sanitarias (fosas sépticas o similares), las cuales se ubicarán a una distancia no menor de 50 metros de cualquier cuerpo de agua.
- 3.3.8 las instalaciones ubicadas cerca de zonas urbanas deberán implementar medidas para minimizar la generación de ruido; se deberá evitar en la medida de lo posible el emplear bandas metálicas; los motores deberán contar con dispositivos silenciadores.

### 3.4 Disposición y manejo de residuos sólidos o líquidos.

- 3.4.1 Al interior de la mina no se permitirá el almacenamiento temporal o permanente de chatarra o material de desecho proveniente de la maquinaria o construcción de la infraestructura de la mina. La disposición final de estos residuos se realizarán en el sitio que defina la autoridad municipal competente.
- 3.4.2 No se permitirá que el banco de extracción sea empleado como área de disposición final de cascajo, ni de residuos municipales, hospitalarios o industriales, peligrosos o no peligrosos.
- 3.4.3 Las grasas o aceites colectados en las trampas de grasa, así como los residuos peligrosos generados por actividades de mantenimiento deberán disponerse temporalmente en tambos tapados y su transporte y disposición final se realizará a través de empresas especializadas, conforme a la reglamentación ambiental federal.

### 3.5 Rehabilitación ecológica

La rehabilitación ecológica tiene entre sus objetivos principales el incorporar terrenos explotados a los usos o actividades originales, devolviendo, en su caso, superficie a la cuenca hidrológica local para favorecer la recarga de acuíferos.

- 3.5.1 La restauración deberá realizarse a la par con la explotación a razón de un avance del 50% de restauración con respecto a la superficie explotada cada 6 meses.
  - 3.5.2 Una vez que se haya concluido la explotación de algún banco, se deberá realizar una nivelación general del piso de la mina de la zona explotada hasta ese momento, dejando una pendiente general máxima de 5 grados, de modo que al finalizar la explotación de todo el predio, éste presente un relieve relativamente homogéneo y sin cambios bruscos en la pendiente del terreno.
  - 3.5.3 No deberán quedar montículos, rampas, ondulaciones, pozos ni cárcavas en las zonas rehabilitadas.
  - 3.5.4 Los taludes de la zona explotada deberán reforestarse con especies arbóreas, arbustivas o herbáceas de la región, o con especies agrícolas o frutales comunes adaptadas a las condiciones de la región, con la finalidad de fijar los taludes y fomentar la formación de suelo.
  - 3.5.5 Los árboles, al momento de plantarse, deberán tener una talla mínima de 1.5 metros y los individuos que perezcan deberán ser sustituidos.
  - 3.5.6 La forestación se realizará considerando el espacio necesario para la sobrevivencia de los individuos, de acuerdo con la cobertura de cada especie.
  - 3.5.7 La forestación deberá realizarse al comienzo de la temporada de lluvias y con técnicas específicas de plantación.
  - 3.5.8 No deberá realizarse la forestación con especies de eucalipto, pirul y casuarina, debido a que estos organismos son altamente competitivos, no aportan materia orgánica al suelo y absorben grandes cantidades de agua.
  - 3.5.9 Una vez finalizada la explotación, se deberá iniciar el retiro de las instalaciones que fueron ocupadas durante la operación, así como dismantelar y demoler la tolva, la cribadora y su basamento.
  - 3.5.10 Los residuos sólidos producto de la limpieza, dismantelamiento o demolición de las instalaciones, deberán ser depositados en el lugar que para ello designe la autoridad municipal competente.
  - 3.5.11 Quedará prohibida la explotación de materiales pétreos en los predios en los que se hayan realizado actividades de rehabilitación.
- 3.6 Características que debe reunir cualquier banco que haya finalizado su actividad de explotación, siendo responsable de su cumplimiento el explotador y como responsable el propietario o poseedor del predio
- 3.6.1 En el interior de la mina no debe existir ningún tipo de obstáculo físico que impida su restauración.

- 3.6.2 El piso de la mina debe ser uniforme, plano y libre de cualquier tipo de material u obstáculo.
- 3.6.3 El piso de la mina y sus taludes deberán estar cubiertos en su totalidad por una capa de suelo fértil de 30 centímetros como mínimo.
- 3.6.4 Las paredes deberán tener taludes finales en ángulos menores o iguales a 45 grados.
- 3.6.5 Los taludes deberán tener una cubierta vegetal en toda su superficie.
- 3.6.6 Si la mina colinda con una vía de comunicación deberá existir una franja de amortiguamiento que separe el predio explotado del derecho de vía federal de por lo menos 20 metros, completamente forestal.
- 3.6.7 El cauce y lecho de los cuerpos de agua permanentes e intermitentes, deberán conservar su curso original, mantener su cauce perfectamente delimitado, sin depósitos de tipo alguno en la zona federal correspondiente y contar con la vegetación circundante de las especies de la zona.
- 3.6.8 El interior de la mina deberá estar libre de chatarra, material de acarreo, material de desecho (piedra, grava, arena, material vegetal, etc.), Residuos sólidos municipales e industriales, así como de cualquier tipo de construcción temporal.
- 3.6.9 Una vez que se dé por finalizada la explotación de la mina y se concluya la rehabilitación de la misma, si el propietario o poseedor propone un uso alternativo del predio o el restablecimiento del uso original del mismo, la propuesta tendrá que ser compatible con los usos del suelo del entorno.
- 3.6.10 Previo a cualquier actividad de despalme o descapote se contemplara el rescate, trasplante y reubicación de las especies vegetales sujetas a desplazamiento de acuerdo a un programa previamente elaborado.

#### **4. Lineamientos**

- 4.1 No se permitirá continuar la explotación de materiales pétreos en predios ubicados en áreas forestales con presencia de vegetación de difícil regeneración, barrancas y/o cañadas los predios ubicados en áreas naturales protegidas serán sujetos a una evaluación especial por parte de las autoridades correspondientes.
- 4.2 En caso de que el banco colinde con otro debidamente autorizado, ambos responsables podrán extraer de común acuerdo los materiales que corresponden a las franjas de amortiguamiento que se localicen, exclusivamente entre los dos bancos, con responsabilidad compartida en las labores de nivelación y restauración de dicha franja.

#### **5. Sanciones**

- 5.1 El incumplimiento de la presente Norma Técnica Ecológica Estatal será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo y los demás ordenamientos jurídicos aplicables.

#### **6. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales**

- 6.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter técnico que existen en otros países, no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma se integran



y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## **7. Bibliografía**

- 7.1 Ley Federal sobre Metrología y Normalización.
- 7.2 Mecánica de Suelos. E. Juárez Badillo y A. Rico Rodríguez.
- 7.3 Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

## **TRANSITORIOS**

PRIMERO.- La presente Norma Técnica Ecológica entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Periódico Oficial del Estado de Hidalgo; y estará sujeta a las adecuaciones que el Consejo considere necesarias, durante su aplicación.

SEGUNDO.- La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Técnica Ecológica, corresponde al Consejo Estatal de Ecología, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios.

TERCERO.- Los bancos de explotación de material pétreo que actualmente operan, tienen un plazo de tres años a partir de la publicación de este instrumento en el Periódico Oficial del Estado de Hidalgo para regularizar su situación de acuerdo a los preceptos de esta Norma.

**DADO EN LA SEDE DEL PODER EJECUTIVO DEL ESTADO, EN LA CIUDAD DE PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, A LOS VEINTICUATRO DÍAS DEL MES DE ABRIL DEL AÑO 2000.**

**EL GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO**

**LIC. MANUEL ÁNGEL NÚÑEZ SOTO. Rúbrica**

---