

ESTUDIO DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL YESO

DOCUMENTO DE ANÁLISIS



AGOSTO 2015

DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO MINERO

ÍNDICE

I. Introducción	2
1. Objetivo del estudio de la cadena productiva del yeso	3
2. Alcances del estudio	3
3. Generalidades sobre el yeso	4
4. Características y propiedades	5
5. México y la producción de yeso	6
II. Apreciaciones del mercado del yeso	8
1. Oferta	8
2. Comercio exterior	9
III. Proceso de producción	10
1. Mapeo del proceso de producción	10
2. Descripción del proceso de producción	11
a. Extracción del mineral y acarreo	11
b. Trituración y selección	13
c. Calcinación en hornos	14
d. Remolienda, clasificación y envasado	16
IV. Comercialización	17
1. Yeso sin calcinar	17
2. Yeso calcinado	18
3. Láminas y plafones de yeso	18

V. Participantes de la cadena productiva	-----	19
1. Actores directos	-----	19
2. Actores indirectos	-----	20
VI. Elaboración de la matriz FODA	-----	20
1. Fortalezas	-----	20
2. Oportunidades	-----	21
3. Debilidades	-----	21
4. Amenazas	-----	22
VII. Formulación de estrategias y líneas de acción	-----	23
1. Objetivo estratégico 1	-----	23
2. Objetivo estratégico 2	-----	24
3. Objetivo estratégico 3	-----	24
VIII. Marco normativo	-----	25
Fuentes consultadas	-----	27

Agradecimientos

A las empresas Triturados de Yeso, S.A. y Saint-Gobain Gypsum, S.A. de C.V., por el apoyo brindado para la mejor comprensión del proceso productivo del yeso.

A la Dirección de Fomento y Organización de la Dirección General de Desarrollo Minero por la recopilación de información y elaboración de este documento.

I. Introducción

A partir de los planteamientos de Hirschman (1958)¹ y Porter (1985)², ha sido recurrente en la literatura económica el tema vinculado a incrementar la eficiencia de la producción de bienes y servicios mediante la articulación de actividades y procesos productivos, como parte integrante de una cadena de valor, y que Porter definió como la herramienta básica para analizar las fuentes de la ventaja competitiva.

La revisión de una parte de la extensa bibliografía sobre el particular, confirma la hipótesis que correlaciona positivamente la organización en etapas de los procesos de producción, con la aparición de sinergias favorables, exteriorizadas estas últimas, en incrementos en la competitividad, en la creación de valor de los sectores involucrados y en la satisfacción de los requerimientos de los agentes económicos participantes.

México tiene importantes yacimientos de yeso que se ubican en numerosos municipios, tales como: Mulegé en Baja California Sur, Hidalgo en Nuevo León, Ramos Arizpe en Coahuila, Villa de Álvarez en Colima y Río Verde en San Luis Potosí, por mencionar solo algunos.

Actualmente la región con el mayor potencial productor y exportador se ubica en la zona de Baja California Sur; sin embargo, también figuran como productores importantes, los estados de Morelos, Nuevo León, Jalisco y San Luis Potosí.

Plenamente, los beneficios que conlleva estructurar un proceso productivo en forma de cadena, suele resultar un ejercicio cuya precisión es sensible a los siguientes factores:

- Particularidades de cada sector;
- Puntos críticos que pudieran obstruir el desarrollo adecuado de la cadena; e
- Integración de alianzas mutuamente beneficiosas entre los actores productivos directa o indirectamente involucrados.

En este orden de ideas, la Secretaría de Economía, a través de la Dirección General de Desarrollo Minero, presenta el estudio de caso correspondiente a la cadena productiva del yeso, de uso principal en la industria de la construcción.

¹ Albert Hirschman. *"The Strategy of Economic Development"*, Yale University Press, New Haven, 1958.

² Michael Porter. *"Competitive Advantage"*, Free Press, Nueva York, 1985.

1. Objetivos del estudio de la cadena productiva del yeso

El propósito fundamental del presente estudio es identificar los procesos en la industria productora de yeso y todos sus eslabones, desde la extracción del mineral, que es la primera actividad de la cadena, hasta la comercialización de sus productos como parte final del proceso; así como conocer las particularidades que pueden ser útiles para la toma de decisiones, proponiendo líneas de acción con miras a obtener un beneficio económico, tecnológico y cumpliendo con el marco normativo que le rige.

A continuación se presentan los objetivos del estudio:

- Proporcionar información a los pequeños mineros y sector social sobre la cadena productiva del yeso.
- Servir de guía para el desarrollo de ésta actividad productiva entre los pequeños mineros y el sector social.
- Dar a conocer los procesos entre oferentes de productos y servicios, contribuyendo con esto al desarrollo de la cadena de proveedores.
- Servir de apoyo a los productores para que puedan identificar áreas de oportunidad que se presentan en sus empresas con el fin de contribuir a su competitividad.
- Fomentar la formación empresarial que incluya el cumplimiento del marco normativo y técnico involucrado en las diferentes etapas de la cadena productiva.
- Contribuir a que el producto final de cada etapa satisfaga las necesidades del cliente a fin de estar en posibilidades de posicionarse en el mercado.

2. Alcances del estudio

En este estudio, se describen los eslabones de la cadena productiva de una manera clara y sencilla, ya que está dirigido a un variado grupo de personas que deseen conocer el proceso productivo, los aspectos técnicos, el comportamiento de la oferta y la demanda del producto y, la oportunidad para poder comercializar sus productos.

El estudio se encuentra limitado en la medida de la disponibilidad de información y se presenta de manera esquemática, en específico, los aspectos productivos que involucran procesos de transformación.



Figura 1. Cantera de Yeso

3. Generalidades sobre el yeso³

El yeso es un mineral de color blanco a blanco grisáceo en estado puro y con diversas tonalidades de amarillo, rojizo, castaño, azul grisáceo o rosa como consecuencia de impurezas. Puede presentarse en tres variedades principales:

- a) Cristalizado, formando láminas transparentes y semiflexibles que se conoce bajo el nombre de selenita.
- b) Fibroso, con un lustre aperlado parecido al ópalo.
- c) Compacto, generalmente blanco y de grano muy fino, a veces con tintes muy suaves de diversos colores, conocido mineralógicamente como alabastro.

Químicamente está compuesto por sulfato de calcio cristalizado conjuntamente con agua, en la proporción de dos moléculas de agua por cada molécula de sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) también llamado sulfato de calcio dihidratado o bihidratado. Está compuesto aproximadamente por 32.6% de CaO , 46.5% de SO_3 y 20.9% de H_2O . Tiene una dureza de 2 en la escala de Mohs y una gravedad específica de 2.32.

Breve historia del Yeso

El yeso se formó hace aproximadamente 200 millones de años como resultado de depósitos marinos, cuando parte de lo que ahora son nuestros continentes estaba cubiertos por inmensas extensiones oceánicas.

En nuestro país, existen depósitos de yeso que se encuentran al oeste de la Sierra Madre Occidental en terrenos paleozoicos y triásicos que forman la península de California cuyo desarrollo se inició en el Mesozoico. Hacia el sector que se ubica paralelo a las costas del Golfo de México de edades mesozoica, eoceno y más recientes conocida como Provincia Oriental Alcalina se corresponde de alguna manera con la Sierra Madre Oriental. Entre ésta y la Sierra Madre Occidental se ubican los depósitos sedimentarios evaporíticos lacustres proveedores de yeso⁴.

Durante estos periodos algunos mares se secaron dejando lechos de yeso que se recubrieron para ser descubiertos posteriormente por el hombre. Su formación es, generalmente, por precipitación de aguas salinas, por precipitación química derivada de la acción del ácido sulfúrico sobre minerales ricos en calcio y por la re acumulación de depósitos preexistentes.

³ Los Recursos Minerales de México, Consejo de Recursos Minerales No Renovables, México D.F., 1969, p. 91-93

⁴ INEGI. 1999. Superficies Continental e Insular del Territorio Nacional, inédito, México. En:
http://www.emexico.gob.mx/wbz-emex/emex_suelos.



Figura 2. Mineral de yeso⁵

4. Características y propiedades⁶

- Debido a su gran inercia térmica y su bajo coeficiente de conductividad calorífica el yeso se considera térmicamente aislante, reduce la transferencia de calor por radiación entre un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura.
- Los revestimientos de yeso respiran como una auténtica piel, regulando la temperatura y activando la ventilación del lugar. Aseguran así una humedad relativa equilibrada, absorbiendo rápidamente la humedad en exceso para restituirla al ambiente cuando el aire está más seco.
- El yeso protege en caso de incendios por su propiedad refractaria, prolongan la resistencia al fuego y no despiden vapores tóxicos ni humos. En presencia del fuego, el yeso desempeña un papel activo, ya que gracias al agua de cristalización de su estructura no sólo se limita a frenarlo, sino que absorbe una considerable cantidad de calor.
- El yeso tiene una buena absorción acústica ya que tiene cierta elasticidad, lo que unido a su estructura interna finamente porosa, hacen que se comporten como buenos absorbentes acústicos, disminuyendo reverberaciones y amortiguando las ondas sonoras.



Figura 3. Muro de panel de yeso⁷

⁵ http://bilingue.iesvegadelturia.es/affi12/gypse_no.htm

⁶ Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema6.YESOS.pdf

⁷ Fuente: <http://www.todoferreteria.com.mx/tabla-de-yeso>

5. México y la producción de yeso

Tanto el yeso como la anhidrita son minerales concesibles, sujetos a las disposiciones de Ley Minera por estar listados en su artículo 4, de manera similar a otros minerales de uso industrial.

La distribución de yeso en México se localiza en las provincias geológicas de Baja California Sur, Morelos, Nuevo León, San Luis Potosí y Coahuila, de dónde se extrae destinándose principalmente a la fabricación de paneles para la construcción. Debido al constante crecimiento de la industria de la construcción desde hace 5 años, ha habido una gran demanda del yeso, lo que ha dado como resultado, un incremento en la producción de dicho mineral.

Actualmente la región con el mayor potencial productor y exportador se ubica en la zona de Baja California Sur, de donde se obtiene la mayor parte del yeso del país. La segunda entidad productora en Morelos y después Nuevo León, San Luis Potosí, Coahuila e Hidalgo. Otras manifestaciones de yeso se encuentran en Puebla, Jalisco y Chihuahua (Tabla 1, Mapa 1).

Volumen de la Producción por Entidad Federativa 2012-2013^{p/} (Toneladas)		
Estados/Años	2012	2013^{p/}
Baja California Sur	2,328,523	2,865,759
Nuevo León	1,190,874	1,184,875
Jalisco	294,927	5,609
San Luis Potosí	292,183	368,166
Coahuila	256,880	220,913
Sonora	118,367	137,563
Colima	103,146	238,932
Chihuahua	80,000	41,000
Guerrero	27,290	27,716

Tabla 1. Volumen de producción de yeso por entidad federativa.

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, SGM; 2013.

p/ datos parciales

Los productos de yeso en greña (en bruto, a pie de mina) y calcinados tienen un mercado básicamente regional y no requieren tecnología sofisticada.

Por otro lado, los productos tales como hemidratos para pastas y acabados en construcción, para moldeado y en prefabricados como páneces y plafones tienen mercado internacional.

En base a los datos del Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada de la Secretaría de Economía, los principales estados productores de yeso son: Baja California Sur, 56.3%, Nuevo León 23.3%, San Luis Potosí 7.2%, Colima 4.7%, entre otros⁸, (Tabla 2).

⁸ Perfil de Mercado del Yeso, Dirección General de Desarrollo Minero, SE, 2014

CONSUMO NACIONAL APARENTE DE YESO NATURAL 2005-2013									
TONELADAS									
CONCEPTO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013/p
PRODUCCION	6,251,969	6,075,893	6,918,973	6,933,280	7,542,721	6,477,590	3,838,348	4,692,510	5,090,863
IMPORTACIONES	43,171	1,714,672	19,952	17,680	13,263	13,963	16,891	14,051	14,779
EXPORTACIONES	1,460,798	1,207,176	1,193,576	910,650	645,571	582,580	778,864	1,000,813	1,066,975
CNA	4,834,342	6,583,389	5,745,349	6,040,310	6,910,414	5,908,973	3,076,376	3,705,749	4,038,668

Tabla 2. Consumo Nacional Aparente de Yeso 2005-2013
Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliado, SE; 2013
p/ datos parciales



Mapa 1. Estados de la República Mexicana con producción de yeso.
Sin escala, elaboración DGDM.

II. Apreciaciones del mercado del yeso

En cuanto al mercado interno, debido a los costos de producción y fletes es común que las empresas yeseras se desarrollen donde existan consumidores a nivel regional, es decir, cercano a donde se encuentren establecidas empresas cementeras, productoras de materiales prefabricados o localidades cuya actividad sea la fabricación de cerámica. Sin embargo, con el abatimiento de los costos de operación y el crecimiento de la industria de la construcción, sumado a un mayor conocimiento de las reservas minerales de yeso, la demanda local de mineral de yeso puede crecer.

Por otro lado, es conveniente que las empresas comiencen a desarrollar el mercado enfocado a nuevos usos del yeso o promoviendo el consumo con base a las características físico-químicas de este mineral.

1. Oferta

El yeso sin calcinar (yeso crudo) es consumido en su totalidad por la industria cementera que lo utiliza como componente del cemento Portland y por la industria agrícola que lo utiliza para neutralizar la tierra cuando tiene un pH alcalino, para mejorar la permeabilidad de los materiales arcillosos y aportar azufre.

En cuanto a la oferta del yeso calcinado, se orienta mayoritariamente al mercado de la construcción o para productos tales como paneles, bloques, entre otros.

- Se utiliza principalmente en el recubrimiento de interiores en arquitectura y para la fabricación de paneles de yeso.
- En la fabricación de cemento como aditivo para retardar el proceso de fraguado.
- Para fabricar moldes de dentadura en odontología.
- Para usos quirúrgicos y tratamientos médicos como la rehabilitación de un hueso, inmovilizándolo por medio de una férula y facilitar la regeneración ósea en una fractura.
- Para hacer moldes escultóricos de vaciado y para reproducir esculturas artísticas.
- En la agricultura se utiliza para neutralizar los suelos alcalinos y salinos, mejora la permeabilidad de los materiales arcillosos; además aporta azufre que sirve para la mejora de los cultivos.
- Actualmente se utiliza en la remediación ambiental en suelos contaminados con metales pesados.
- Para fabricar moldes de fundición en la industria metal-mecánica.

Actualmente en nuestro país, se consumen 3.6 toneladas de yeso al año, de las cuales 3.2 millones están destinadas a la industria de la construcción, el resto está destinado a la agricultura y a la producción de yesos especiales.

2. Comercio exterior

El comercio del yeso hacia el exterior mexicano se realiza principalmente con los Estados Unidos de América por grandes empresas ubicadas estratégicamente cerca de puertos de altura y otras establecidas en la franja fronteriza con el país vecino. Las exportaciones en el 2013 se ubicaron en US\$ 13 millones, 10.58% mayor que el año anterior. El 88% de las exportaciones corresponden a yeso natural; anhidrita y 12% de yeso fraguable. El destino de las exportaciones mexicanas son Estados Unidos, Canadá, Ecuador, Chile y Costa Rica, entre otros.

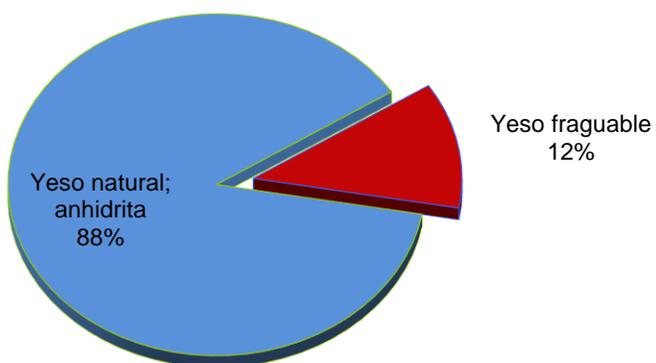
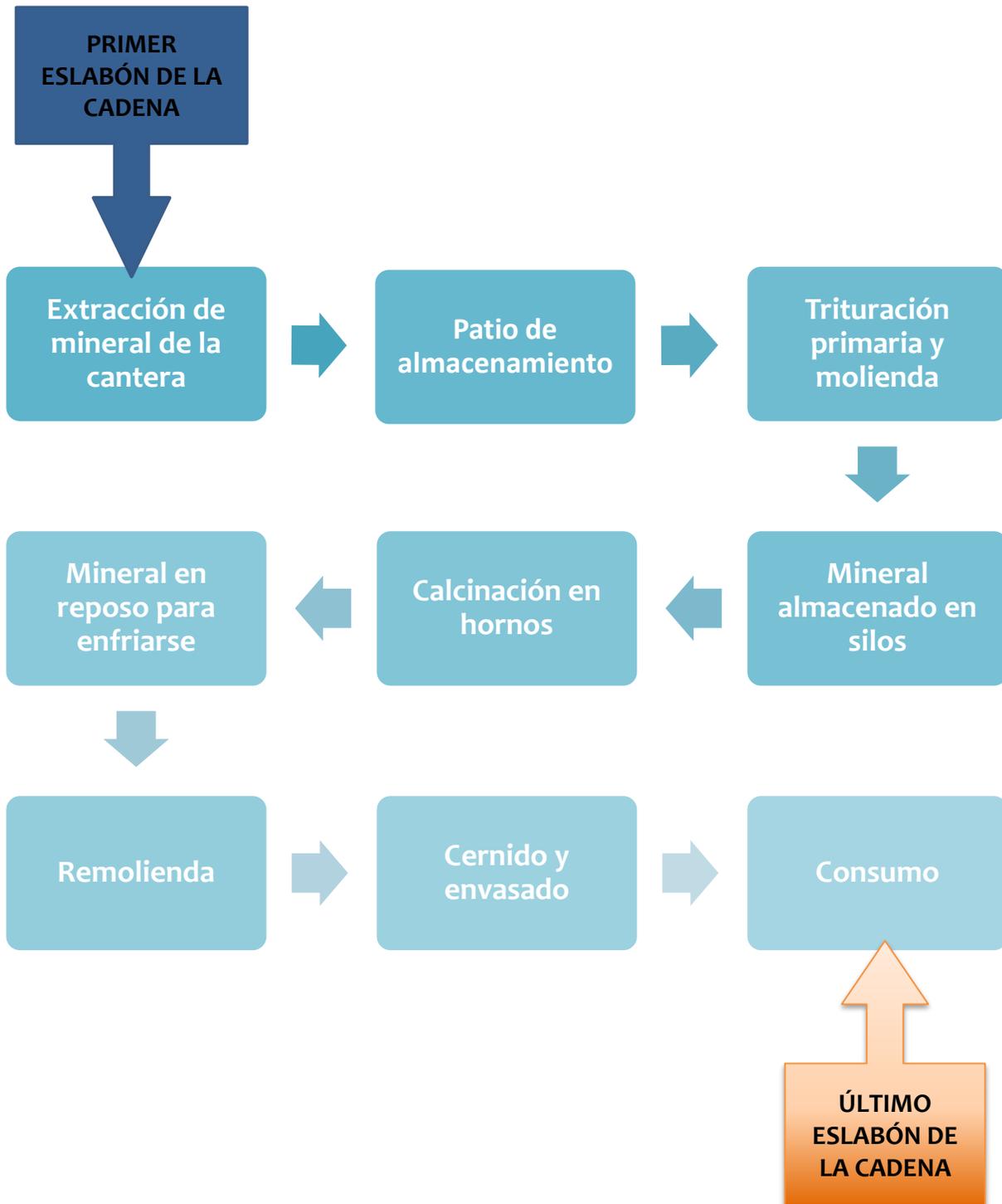


Figura 4. Porcentajes de exportación por tipo de yeso

III. Proceso de Producción

1. Mapeo del proceso de producción



2. Descripción del proceso de producción⁹

En el mapeo del proceso productivo pueden apreciarse los elementos principales de una planta productora de yeso, cuya cadena productiva es la siguiente:

- a. Extracción del mineral y acarreo.
- b. Trituración, selección y molienda.
- c. Calcinación en hornos
- d. Remolienda, clasificación y envasado
- e. Comercialización

Infraestructura física

Generalmente las unidades de extracción y trituración se encuentran en lugares remotos y se debe considerar la necesidad de proveer insumos tales como energía eléctrica, agua potable, comunicación, caminos, la instalación de maquinaria y equipo, etc., así como las vías de acceso secundario para el movimiento de personal y el transporte del mineral a la planta de transformación.

Por otro lado, para las plantas de transformación, dónde se encuentran los equipos de molienda, hornos y envasado, se requiere el suministro constante de energía eléctrica y de gas, por lo que las inversiones en este tipo de infraestructura se realizan sobre corredores industriales, dónde se tiene fácil acceso a vías terrestres primarias, lo que facilita la comercialización y la distribución.

a. Extracción del mineral y acarreo

Para que la explotación de una cantera de mineral de yeso pueda resultar conveniente, desde el punto de vista económico, es necesario que el yacimiento se halle a poca profundidad, a fin de no encarecer la primera materia con crecidos gastos de excavación.

El sistema a cielo abierto se emplea cuando el cuerpo mineralizado se encuentra cercano a la superficie, o cubierto por una delgada capa de suelo, como lo es para los yacimientos de yeso en México. Se retira la vegetación y se recolecta el suelo sobre el área a trabajar y se realiza la explotación mediante banqueos o terrazas.

El minado selectivo del mineral de yeso se practica con ayuda de continuos análisis que nos van indicando su composición y calidad, aunque también es útil la experiencia adquirida mediante la práctica en las voladuras para ir seleccionando el mineral con valor sobre la roca sin interés económico.

⁹ Molina Molina Donald, Proyecto para la instalación de una planta beneficiadora de yeso, localizada en el ejido de Escape de Lagunillas, municipio de Chietla, estado de Puebla, 1975

Los trabajos de minado se realizan mediante plantillas de barrenación con perforadoras de aire comprimido, se realiza la carga de explosivos y se procede con la voladura; la plantilla de barrenación así como las proporciones de carga de explosivo se determinan utilizando formulas empíricas de diseño.

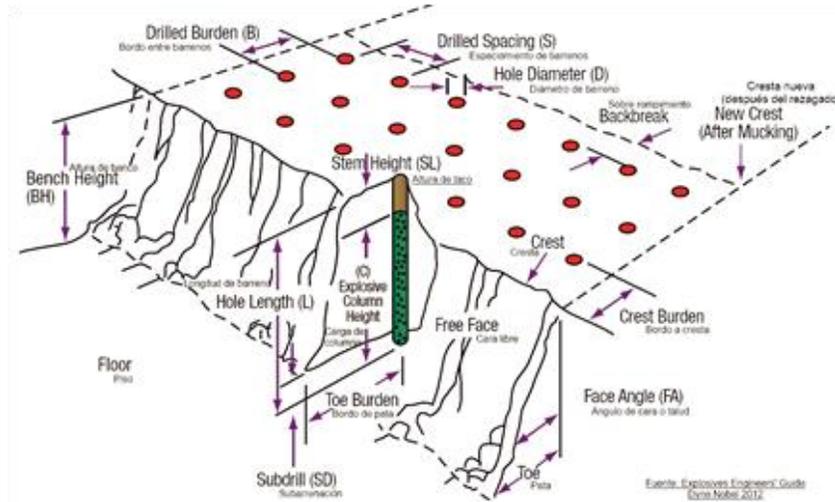


Figura 5. Nomenclatura de elementos de un banco a cielo abierto¹⁰

Existen cinco fórmulas o relaciones para el diseño de las rondas de barrenación, aplicables al diseño de bancos.

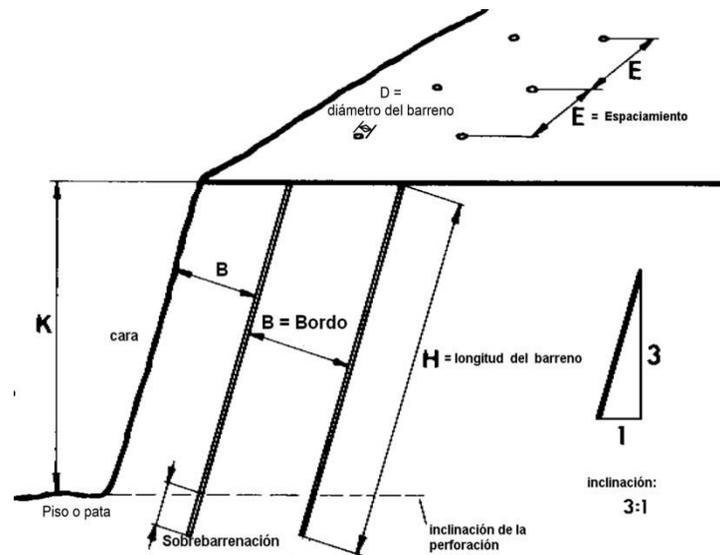


Figura 6. Nomenclatura de elementos de un banco a cielo abierto

Estas fórmulas también conocidas como “Relaciones de Ash”, se utilizan para diseñar la plantilla de barrenación¹¹, de manera simplificada se puede expresar como:

¹⁰ Explosives Engineer’s Guide – Dyno Novel

¹¹ Víctor Manuel López Aburto, Fundamentos para la exploración de minas, México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2003, p. 359-360.

D = Diámetro del barreno (pulgadas)
De = Diámetro de la carga explosiva (pulgadas)

B (bordo) = 20 a 40 x De

E (espaciamiento) = 1 a 1.8 x B

T (Longitud de taco) = 0.7 a 1.3 x B

Taco intermedio:

Ts (seco) = 6 x D

Th (húmedo) = 12 x D

J (Sobre-barrenación) = 0.2 a 0.5 x B

K (Altura del banco) = 3 x B ; B = 3 / H

H (Longitud de barrenación) = $\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{K^2 + 1^2}$

Fórmulas Empíricas Básicas para carga explosiva:

Cc (Longitud Carga de columna) = (H + J) – (T + Cf)

Cf (Longitud de Carga de Fondo) = 0.3 a 0.5 (B) + Sb

Estas proporciones se van ajustando en base a los resultados y considerando la granulometría requerida, la dureza de la roca, el fracturamiento o zonas de debilidad en la roca in-situ, etc.

El mineral extraído es acarreado del tajo hasta el patio de almacenamiento de la planta procesadora por medio de camiones de acarreo hasta la tolva de recibo del circuito de trituración.

b. Trituración y selección

Trituración

Las rocas procedentes de la cantera se reducen por medio de quebradoras de quijadas, para que el mineral con el que se alimenta al circuito de trituración tenga el tamaño adecuado a la abertura de la quebradora primaria.

En algunas ocasiones se emplean quebradoras cónicas de paso graduable o trituradoras mecánicas de rodillos estriados. Para la pulverización se utilizan trituradoras cónicas en grado fino o bien, molinos de bolas de acero.



Figura 7. Circuito de trituración

La separación de los productos obtenidos, clasificados por tamaños, se logra mediante el empleo de tromeles o cribas vibratorias.

La roca pulverizada pasa mediante un elevador vertical de cangilones, a los silos o depósitos de reserva y almacenamiento que generalmente tienen gran capacidad. Este eslabón es uno de los más importantes pues es aquí cuando los productos empiezan a adoptar los más altos requerimientos de calidad y se verá reflejado en los productos finales.



Figura 8. Quebradora de quijada, primera y etapa de trituración

Es conveniente que la planta o circuito de trituración se encuentre en la zona cercana al área de minado, lo que reduce costos en el flete al poder realizar un primer control de calidad de la roca triturada. El producto del circuito de trituración es embarcado hacia la planta de transformación.

c. Calcinación en hornos¹²

Se realiza con el objeto de remover humedad y para la preparación de la roca con el fin de asegurar el libre flujo de material en las etapas subsecuentes. El proceso de deshidratación es lento entre los 90° y los 100°C y bastante rápido a 120°C, pero la calcinación o deshidratación no se completa hasta alcanzar temperaturas superiores a 240°C.

La acción del calor sobre la roca de yeso produce una serie de transformaciones que da lugar a la obtención de diversos tipos de yeso cocido, con propiedades físico-químicas diferentes que, si bien es verdad que todos son sulfato cálcico, sus usos, son distintos.

1. Semihidrato- α

- De 120 – 170°C
- Se obtienen en hornos tipo autoclave.
- Para su formación es indispensable que se produzca una atmósfera saturada de vapor de agua.
- Es más compacto que el β .
- Tiene mayor compactación, menos porosidad y mejores características constructivas y resistentes, así como mayor resistencia a tracción y compresión que los yesos β .

¹² Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion9.CEMENTOS.MateriasPrimas.pdf>

- Necesita un tiempo de fraguado menos que otros yesos.
- Tiene multitud de cristales muy finos y presentan un aspecto sedoso brillante.

2. Semihidrato- β

- Se empiezan a formar a partir de los 200°C.
- Aspecto terroso.
- Mayor solubilidad y, por lo tanto, menos estable.
- Mayor contenido energético y tiempo de fraguado, con un aspecto terroso y no cristalino.
- Mayor tiempo de fraguado.
- Fabricación en calderas u hornos rotatorios.

Los hornos de cocción son de diferentes tipos según el grado de perfección y temperatura que se desee alcanzar, es decir, qué tipo de yeso se quiere obtener.

- **Hornos autoclave.**¹³ Se obtiene un yeso cocido constituido en su totalidad por semihidratos, o sea sulfato de calcio con media molécula de agua.
- **Calderas.** La carga de mineral se hace con yeso crudo, finamente molido, hasta llenar la caldera. Se calienta lentamente y a los 120°C, aparenta que la masa de yeso hierve por la evaporación del agua de cristalización. Entre los 150° y 165°C, cesa la ebullición, se sigue calentando sin agitar y a 170°C, se da por terminada la operación y se descarga la caldera.
- **Hornos rotatorios.** El mineral de yeso previamente triturado atraviesa el horno, se cuece y se descarga a una temperatura de 160° a 195°C, cayendo a un refrigerador, de ahí pasa a los depósitos de piedra cocida y finalmente a los molinos pulverizadores.

Estos hornos constituyen un perfeccionamiento sobre los anteriores por la agitación constante a que se somete la masa durante la cocción. Esta agitación está mantenida por unas paletas metálicas en forma de cuchara que elevan el mineral en sentido de la rotación y lo dejan caer desde cierto nivel. Su costo es relativamente bajo, de funcionamiento sencillo, exigen reducida mano de obra, un bajo consumo de energía y pueden alimentarse con cualquier tipo de combustible.

¹³ Novo de Miguel Luciano, El yeso en la construcción, 1958

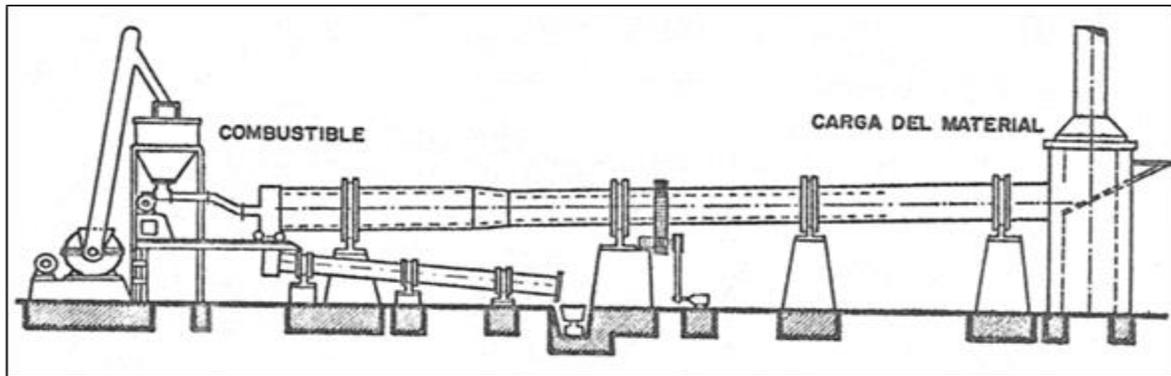


Figura 9. Horno Rotatorio¹⁴

d. Remolienda, clasificación y envasado

Una vez cocido el yeso se saca del horno y se transporta a la cámara de reposo o enfriamiento y de ésta pasa a los molinos refinadores.

La molienda de finos homogeniza el mineral semihidratado, mediante el uso de molinos de martillos, controlándose el tamaño de partícula con la abertura de la parrilla. La clasificación de mineral se practica mediante tamices giratorios o cribas vibratorias.

Cuando se ha obtenido el yeso con el grado de finura deseado se procede al envasado del mismo, preferentemente en sacos especiales con objeto de protegerlo de la humedad.

Esta es la operación final antes de que el producto salga al mercado, el envasado se practica frecuentemente a mano pero en las grandes plantas se efectúa por máquinas envasadoras.

¹⁴ Novo de Miguel Luciano, El yeso en la construcción, 1958

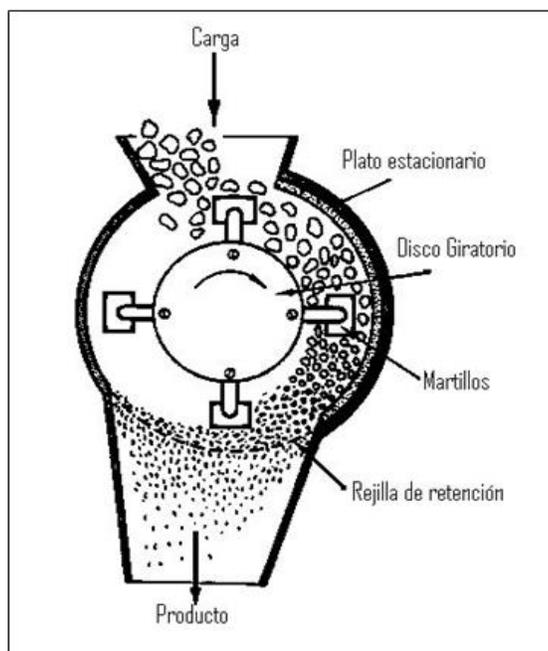


Figura 10. Molino de Martillos¹⁵.

IV. Comercialización

Productos obtenidos

Del proceso de producción descrito con anterioridad se obtienen muchos productos que se venden en el mercado, a continuación se describe cuáles son los productos más importantes que se fabrican en México.

1. Yeso sin calcinar

Existen dos productos que no necesitan del proceso de calcinación y que se comercializan:

- Yeso para la fabricación de cemento, uso en obras civiles y mineras. Este producto es de fácil obtención, ya que se obtiene del proceso de trituración primaria. Este tipo de yeso aun cuando no es una materia prima utilizada en la preparación del crudo que se introduce en el horno, se utiliza en la fabricación del cemento Portland y como aditivo del Clinker con el fin de regular el tiempo de fraguado, retardándolo adecuadamente.
- Yeso para el uso en la agricultura y tratamiento de suelos. Este producto se obtiene al someter a un proceso de molienda el mineral que sale de la primera fase de trituración, haciéndolo más fino para su empleo. Se utiliza para neutralizar los suelos alcalinos y salinos, como también para mejorar

¹⁵ Fuente: Alberto Villarino Otero, Escuela Politécnica Superior de Ávila, Ciencia y Tecnología de los Materiales, Tema 3: El Yeso, p. 40, 2011.

la permeabilidad de los materiales arcillosos. Otro beneficio que tiene es el aporte de azufre para los cultivos.

2. Yeso calcinado

Los productos obtenidos por la deshidratación del yeso son los siguientes:

- Yeso ordinario, normalmente este tipo de yeso se conoce en el mercado como yeso amarrado. Está fabricado a unos 130°C, partiendo de mineral de yeso de todas clases, es decir sin ser clasificado previamente y por lo tanto contiene diversas impurezas, debido a que generalmente se obtiene en hornos rudimentarios.
- Yeso de marca, este tipo de yeso se cuece a la temperatura de 200 a 220°C y se obtiene partiendo del mineral que ofrece mayor pureza, generalmente espejuelos muy finos, poniendo un gran cuidado en las operaciones de selección de mineral, trituración, molienda y clasificación. Este producto se endurece y resiste un poco más que el yeso amarrado y el fraguado es más rápido en ocho a diez minutos.
- Yeso de plafón, este yeso se prepara con mineral de unos 15 centímetros de diámetro mayor, clasificados y cocidos de 8 a 14 horas, en hornos más perfeccionados manteniendo la temperatura entre los 300 y los 400°C. Esta variedad es más costosa que las anteriores y tarda en fraguar de 15 a 20 minutos. Este yeso es utilizado en la fabricación de adornos, plafones, placas, cornisas reproducciones escultóricas, etc.

3. Láminas y plafones de yeso

El proceso comienza cuando el mineral de yeso previamente triturado llega a las instalaciones de la planta procesadora específicamente al área de stock, en este lugar al mineral de yeso se le conoce como mineral crudo, en esta parte se muestrea el mineral para asegurarse de que no contenga impurezas de anhídrita ya que ésta es muy abrasiva para los equipos de la planta. De aquí pasa al área de almacenamiento en las instalaciones de la planta de procesamiento donde un cargador frontal alimenta los elevadores que conducirán al mineral hacia las tolvas de almacenamiento, este mineral alimentará a los hornos de calcinación rotatorios los cuales calcinarán el yeso quitando el exceso de humedad a una temperatura superior a los 200°C.

El mineral que sale del proceso de calcinación es enviado al proceso de molienda donde el mineral se reducirá de tamaño. Para la molienda, los equipos más utilizados son los molinos de martillo ya que estos no utilizan agua en el proceso.

Posteriormente, el mineral se clasifica por medio de cribas vibratorias; el material que no cumple el tamaño se regresará al proceso de molienda recirculándose hasta que llegue a su tamaño óptimo.

El mineral que con la granulometría adecuada es conducido por un elevador a las tolvas de almacenamiento. El mineral contenido en las tolvas será utilizado para fabricar cada uno de los productos que la planta procesadora de yeso ofrece al mercado; cabe señalar que todos estos tipos de yeso son fabricados para la industria de la construcción.

El mineral de yeso utilizado para la confección de plafones debe de cumplir con una granulometría de 80 mallas (0.177 mm). En una mezcladora se vierte el mineral fino junto con agua para obtener una mezcla homogénea. La pasta de yeso es vaciada en los moldes para plafones, de lo cual se obtiene una mezcla que una vez contenida en los moldes tarda en fraguar entre 13 y 15 minutos.

La superficie del plafón debe estar totalmente lisa por lo que una máquina perfiladora remueve los remanentes que existen en la superficie del plafón; si existen huecos o desniveles en la superficie ese plafón es retirado y vaciado de nuevo en la mezcladora para reincorporarlo al circuito de fabricación.

Se realiza una exhaustiva revisión de cada plafón basándose en los estrictos estándares de calidad de la empresa. Se seleccionan los plafones que cumplen con los estándares de calidad y pasan a los patios de secado, en donde pasarán entre 7 y 10 días reposando hasta que sequen en su totalidad.

Una vez que los plafones han fraguado al 100%, éstos llegan al área de embarque donde nuevamente son examinados minuciosamente siguiendo nuevos estándares de calidad, eliminando aquellos que están fisurados o rotos de las esquinas, por ejemplo. En esta etapa los plafones son empacados manualmente listos para salir al mercado.

V. Participantes o actores de la cadena productiva¹⁶

1. Participantes directos

- **Productores de mineral:** Generalmente son los dueños de los bancos de mineral de yeso o empresarios que rentan los terrenos a ejidatarios para poder explotar el banco de mineral. Cuando no se tiene la capacidad de beneficiar el mineral, los productores venden directamente el producto a las empresas transformadoras.
- **Transformadores:** Las grandes empresas mineras productoras de yeso tienen la capacidad para beneficiar el mineral y procesarlo para la obtención del producto final; sin embargo, los pequeños mineros tienen que obtener este servicio de alguna empresa de terceros.
- **Comercializadores:** Tanto los pequeños mineros como las grandes empresas no tienen problemas para comercializar sus productos finales. Las empresas pequeñas a veces obtienen ayuda de intermediarios para vender sus productos, ya que estos últimos tienen mayor conocimiento sobre la demanda de los consumidores locales facilitando su venta.
- **Consumidores:** En general los consumidores finales de éste mineral están en el área de la arquitectura y la construcción. Desde la venta a menor escala en tlapalerías y casas de materiales de construcción, hasta la venta de paneles de yeso que utilizan grandes empresas constructoras. También hay que considerar a la industria agrícola pues ellos utilizan el yeso sin calcinar para tratar los suelos con problemas de alcalinidad.

¹⁶ Dirección General de Desarrollo Minero, Cadenas Productivas del Sector Minero: Una Guía Metodológica, Julio de 2011.

2. Participantes indirectos

- Consultoría en capacitación y asistencia técnica: Existen empresas especializadas que ofrecen estos servicios para cualquier etapa de la cadena productiva, ya sea para la reingeniería de procesos o implantación de nuevas tecnologías, o bien, atender temas específicos en materia ambiental. Es importante mencionar que la Coordinación General de Minería de la Secretaría de Economía ofrece servicios básicos de consultoría a través de la Dirección General de Desarrollo Minero, el Servicio Geológico Mexicano y el Fideicomiso de Fomento Minero.
- Empresas e instituciones de investigación: Las empresas productoras pueden requerir de la investigación para el desarrollo de tecnología para sus procesos y nuevos productos. Sin embargo, la mayoría de las universidades y tecnológicos tienen programas de capacitación e investigación que pueden ser aprovechados por las empresas productoras.
- Instituciones de crédito y financiamiento: Son aquellas que proporcionan líneas de crédito monetario o que cuentan con esquemas de financiamiento de equipo y maquinaria. Como alternativas adicionales a la banca comercial, se encuentra el Fideicomiso de Fomento Minero.
- Proveedores de insumos y materiales: Deben tener la capacidad de suministrar recursos materiales en volumen, tiempo y calidad, a fin de no afectar el ritmo producción, el stock disponible en los almacenes y la programación de los costos.

VI. Construcción del FODA de la cadena^{17, 18}

La matriz relativa a las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, conocida como matriz FODA, es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, empresa, etc. Permite conformar un cuadro de la situación actual del objeto de estudio (persona, empresa u organización, etc.) para obtener un diagnóstico preciso y en función de ello, facilitar la correcta toma de decisiones acordes con los objetivos.

El objetivo primario del análisis FODA consiste en obtener conclusiones sobre la forma en que la cadena en estudio será capaz de afrontar los cambios y las turbulencias en el contexto, (Oportunidades y amenazas) a partir de sus fortalezas y debilidades internas.

1. Fortalezas

- a. Debido al crecimiento de la industria de la construcción, la demanda del yeso se ha incrementado año con año.
- b. Las propiedades físicas y mecánicas del yeso hacen que sus procesos tengan una relativa sencillez y bajos costos de producción.

¹⁷ Damien van Der Heyden, Patricia Camacho, Guía Metodológica para el Análisis de Cadenas Productivas, CICDA, Junio 2004.

¹⁸ Matriz FODA, Fuente: <http://www.matrizfoda.com/>

- c. De la explotación del yeso se pueden obtener varios productos, lo cual maximiza las posibilidades de comercialización en diferentes tipos de mercado.
- d. El proceso de producción del yeso no utiliza sustancias químicas, prácticamente se utiliza la totalidad del mineral entregado a la planta, por lo que los requerimientos de confinamiento son mínimos. Lo mismo aplica con las partículas que se desprenden en los procesos de trituración, molienda y en los movimientos, ya que son atrapados mediante colectores de polvo y se integran al proceso de calcinación.
- e. La explotación y producción del yeso promueve el desarrollo económico en zonas en donde la única vocación posible del suelo es la minería, lo que se traduce en un beneficio para algunos sectores y comunidades en estado de pobreza.
- f. La explotación y venta de mineral de yeso representa un área de oportunidad para la pequeña minería y el sector social.

2. Oportunidades

- a. Existen programas de apoyo por parte del gobierno de la república para el otorgamiento de créditos financieros, asesoría técnica y capacitación geológico-minera.

La minería del yeso es una alternativa de trabajo para los pobladores de las comunidades que lo producen, combatiendo la pobreza y evitando la migración a otros países, en busca de una mejor calidad de vida.

- b. Tener acceso a mejor tecnología con el fin de hacer más eficiente la operación de todos los procesos.
- c. Mejorar la calidad de los productos finales de yeso para tener una mejor competencia con empresas nacionales e internacionales.
- d. Posibilidad de crear nuevas empresas mineras de carácter social o ejidal.
- e. Mejorar la seguridad laboral de la empresa promoviendo cursos de capacitación de aspectos técnicos, así como de seguridad e higiene y de normatividad ambiental.
- f. Los profesionistas en Ciencias de la Tierra pueden aportar sus conocimientos en las pequeñas, medianas y grandes empresas mineras.
- g. La producción de yeso es muy importante para el sector agrícola debido a que se utiliza para controlar la alcalinidad y el contenido de sales de la tierra de cultivo.

3. Debilidades

- a. Por la ubicación remota de las instalaciones se necesita establecer la logística adecuada para el suministro de refacciones e insumos básicos, además, contar con buenas vías de acceso para no dificultar los traslados ni vías de comunicación. Todo esto con el fin de llevar una buena operación de la mina y de la planta procesadora; así como, para la comercialización de los productos.

- b. La mayoría del personal que labora en las empresas no está especializado en minería, por lo que es necesario capacitar a la mayoría de los empleados.
- c. Los pequeños mineros sólo tienen una pequeña parte del mercado regional para la venta de sus productos.
- d. La mayoría de los pequeños mineros desconoce el apoyo que brinda el gobierno para obtener financiamiento y asesoría técnica especializada.
- e. Los equipos obsoletos que algunas empresas mineras que siguen utilizando, consumen más energía, insumos y afectan la productividad empresarial por demoras por paros técnicos y reparaciones.

4. Amenazas

- a. La productividad de las empresas puede verse afectada negativamente por potenciales conflictos mineros de carácter social y ambiental.
- b. En caso de presentarse una crisis en la industria de la construcción a nivel internacional provocaría un descenso de la demanda del yeso, afectando a todos los productores.
- c. Problemática del mercado en cuanto a la preferencia por adquirir productos de yeso importados que resultan de menor costo a las empresas dedicadas a la construcción, y con más razón, si compran grandes cantidades (mayoreo).
- d. El incumplimiento de la normatividad o falta de regularización en los trámites que requieren la actuación de los tres órdenes de gobierno para que las empresas mineras pueden provocar la suspensión provisional de sus operaciones. Adicional al costo derivado del paro de actividades y las medidas requeridas para subsanar la observación, se aplica una sanción económica por la infracción.
- e. Crisis en el sector agrícola o desconocimiento del uso de yeso natural para mejorar los suelos en las tierras de cultivo.
- f. Si existen contingencias económicas u operativas, las empresas pequeñas son las más susceptibles a resentirlo, existiendo el riesgo de cancelar las operaciones y cerrar la empresa.

La importancia de confeccionar y trabajar con una matriz de análisis FODA reside en que este proceso nos permite identificar y analizar, de forma proactiva y sistemática, las variables que intervienen en el negocio con el fin de tener más y mejor información al momento de tomar decisiones.

VII. Formulación de estrategias y líneas de acción

Los objetivos estratégicos permiten determinar el rumbo de las acciones que se pretende a partir de la obtención de conclusiones derivado del análisis FODA.

1. Objetivo Estratégico 1

Acercamiento del sector a los apoyos disponibles o a las fuentes de crédito y financiamiento a fin de promover la reposición y modernización del equipo, especialmente en la pequeña y mediana minería, lo que permitirá entregar un producto de mejor calidad, y así reduciendo la demora en los procesos.

Plan de Acción 1.1

Acercamiento al apoyo especializado en minería disponible en la Secretaría de Economía, ya sea a través de los gobiernos estatales o directamente por la empresa.

DGDM

- La Dirección General de Desarrollo Minero ofrece capacitación para la pequeña minería y minería social, reconocimiento geológico, asesoría especializada en ingeniería de minas para la pequeña minería, integración de prospectos y proyectos mineros, orientación para la organización de empresas del sector social y difusión de prospectos y proyectos mineros.
- Tiene un catálogo extenso de consultas sobre estadísticas económico-mineras, información geológico-minera de las entidades federativas, información de productos minerales, registro y actualización de datos en el directorio de empresas, información en materia de programas de apoyo institucional, marco legal del sector, portafolio minero, eventos mineros y de Ciencias de la Tierra.

FIFOMI

- El Fideicomiso de Fomento Minero ofrece apoyos para obtener créditos empresariales para inversiones en activos fijos, compra de maquinaria y equipo, equipo de transporte, mobiliario, acondicionamiento, compra o edificación de naves industriales, reubicación de plantas de beneficio, entre otros.
- FIFOMI brinda asesoría técnica con el fin de obtener herramientas para competir y que la producción crezca, otorgando un valor agregado a la cadena de los minerales, en este caso, el de yeso. Un grupo de expertos en materia minera, vía telefónica o a través de campo, verificarán la factibilidad del proyecto, brindando asesoría y soluciones prácticas.
- De acuerdo a las necesidades de cada empresa, el FIFOMI brinda cursos en materia técnica y administrativa, como medio para que se desarrollen y apliquen nuevas técnicas o metodologías que permitan conocer el entorno del mercado con el fin de crecer.

SGM

- El Servicio Geológico Mexicano ofrece asesoría geológica y la evaluación geológico-minera de carácter integral o por actividad específica.

- Realiza la certificación de reservas, que son trabajos de campo y gabinete para certificar el volumen de reservas positivas y probables existentes en un yacimiento, previamente cubicadas.
- El Servicio Geológico Mexicano cuenta con dos centros experimentales (laboratorios). Los servicios que ofrecen son preparación de muestras, caracterización de minerales, certificaciones y ensayos de aptitud y controles de calidad.

Plan de Acción 1.2

- Es necesario que el personal de mando tenga conocimiento en temas administrativos, pero indispensable que los de nivel directivo tengan en claro los temas financieros, así como conocer los servicios que ofrecen las instituciones bancarias y de financiamiento, por lo que las empresas deben de establecer un programa de detección de necesidades de capacitación y proporcionarla en beneficio propio, para lo que se pueden apoyar tanto en las universidades e institutos de educación superior, como en los servicios que ofrece la Coordinación General de Minería.

Este plan de acción es de corto y mediano plazo, el responsable en implementarlo y medición de resultados es la empresa misma.

2. Objetivo Estratégico 2

Establecer colaboración con las comunidades aledañas en donde se localizan las instalaciones de la empresa, ya sea en la mina o en la planta de beneficio. Lo que reduce la rotación de personal y se obtiene el respaldo social a las actividades mineras.

Plan de Acción 2.1

- La empresa debe establecer una política o programa con componentes social y ambiental, que favorezcan a la comunidad con la que interactúan. Esto fomentará una buena relación con las comunidades y su respaldo para las actividades mineras. Este plan de acción es de inicio inmediato y con metas a corto y mediano plazo.

Plan de Acción 2.2

- Generación de capital humano para la empresa entre los pobladores de las comunidades aledañas, ofreciendo capacitación para integrarse a una fuente de trabajo estable y bien remunerado. El plan de acción es a corto plazo, reduce la rotación de personal e incrementa la lealtad de la población hacia la empresa.

3. Objetivo Estratégico 3

Fortalecimiento del mercado a nivel regional y estatal, incluso a nivel nacional e internacional.

Plan de Acción 3.1

Mejorar la calidad de los productos finales de yeso, empezando desde la extracción del mineral hasta la comercialización del mineral. Esto se logra con la capacitación periódica del personal que

labora, la adquisición de tecnología adecuada y la asesoría técnica sobre problemas operativos. Este plan es de mediano y largo plazo.

VIII. Marco normativo¹⁹

En el artículo 4º de la Ley Minera queda especificado que se sujetarán a ésta, los minerales de uso industrial, incluyendo anhidrita y yeso. No se consideran otras variedades de yeso en esta disposición. Por extensión, es aplicable el Reglamento de la Ley Minera.

Se debe dar cumplimiento a la legislación y normatividad en materia laboral, de seguridad social, medio ambiente, incluyendo las disposiciones locales aplicables.

A continuación se mencionan las principales Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables a la minería y transformación del yeso.

- NOM-043-SEMARNAT-1993 Emisión de partículas sólidas de fuentes fijas.- Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.
- NOM-081-SEMARNAT-1994 Establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- NOM-085-ECOL-1994 Contaminación atmosférica.- Referente a la Contaminación atmosférica y las Fuentes Fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, que establece niveles máximos de emisión a la atmósfera de humos y partículas.
- NOM-120-SEMARNAT-2011 Exploración minera directa.- Especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.
- NOM-157-SEMARNAT-2009 Elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.- Especificaciones que se deben considerar al formular los planes de manejo de los residuos mineros, y criterios generales que, respecto de estos planes de manejo, orienten su elaboración, determinen las etapas que cubrirán y definan la forma de manejo.
- NOM-023-STPS-2012 Trabajos en minas, condiciones de Seguridad y salud en el trabajo. Establece los requisitos mínimos de seguridad y salud en el trabajo para prevenir riesgos a los trabajadores que desarrollan actividades en las minas y daños a las instalaciones del centro de

¹⁹ Portal Internet de la Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería, Dirección General de Desarrollo Minero – D.F.O.
<http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/mineria/legislacion-normatividad-convenios>

trabajo. Cabe mencionar que a partir del 11 de noviembre de 2013 iniciará la vigencia de la NOM-023-STPS-2012.

Complementariamente, existen normas mexicanas que se debe tener en cuenta para el control de la calidad en los procesos del yeso.

- La NMX-BB-028-1972 establece las características y especificaciones para determinar la calidad del yeso grado ortopédico, en el momento de su expedición o venta.
- La NMX-C-13-1978 establece las características que deben cumplir los paneles de yeso para muros divisorios, plafones y protección contra incendio para la construcción.
- La NMX-C168-1977 establece las especificaciones que deben de cumplir las placas o bloques de yeso que se utilizan, principalmente, en la construcción de muros divisorios interiores, sin carga; y además como recubrimiento de protección contra incendio de cubos de elevador, de columnas y otros.
- La NMX-174-1977 establece las características que deben cumplir las placas de yeso para plafones utilizadas en la construcción.

Fuentes Consultadas

Albert Hirschman. "The Strategy of Economic Development", Yale University Press, New Haven, 1958

Michael Porter. "Competitive Advantage", Free Press, Nueva York, 1985

ONUDI. "Manual de Minicadenas Productivas", Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, República de Colombia: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. ONUDI (oficina regional en Colombia), Bogotá. www.unido.org

Damien van der Heyden y Patricia Camacho. "Guía Metodológica para el Análisis de Cadenas Productivas". Ed, Plataforma RURALTER, Quito, Ecuador, mayo de 2006. www.ruralfinance.org

Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). Centro de Estudios de Competitividad. "El Sector Minero en México: Diagnóstico, Prospectiva y Estrategia". Septiembre de 2004.

Ley Minera.

Francisco González Sánchez y Antoni Camprubí. "La Pequeña Minería en México". Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria. México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Censo de Población y Vivienda 2010". Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Censos Económicos, 1998, 2003 y 2009" <http://www.inegi.org.mx>

Servicio Geológico Mexicano. "Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2013" www.sgm.gob.mx.