



MINERALES INDUSTRIALES: SU IMPORTANCIA ECONOMICA

ESPECIALIDAD: GEOLÓGIA

CALIXTO RAMÍREZ RAMÍREZ
Ph. D.

MÉXICO, D.F., 20 DE SEPTIEMBRE 2007

CONTENIDO

	Página
RESUMEN EJECUTIVO	3
1. INTRODUCCION	4
2. CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES INDUSTRIALES	6
2.1 Minerales Industriales Naturales	6
2.2 Minerales Industriales Metálicos	8
2.3 Minerales Industriales Sintéticos	9
3. CLASIFICACIÓN DE MERCADOS	11
3.1 Mercado de la Construcción	11
3.2 Mercado Metalúrgico	11
3.3 Mercado de la Industria Química	12
3.4 Mercado Farmacéutico	13
3.5 Mercado Agropecuario	13
3.6 Mercado del Vidrio y Cerámica	13
3.7 Mercado Ambiental	14
3.8 Mercado Energético	14
3.9 Mercado de las Cargas Minerales y Pigmentos	14
4. REQUERIMIENTOS BASICOS DE LOS MERCADOS	15
4.1 Especificaciones	15
4.2 Logística y Suministro	15
4.3 Precios	16
5. LA CADENA DE VALOR: DE LA MINA AL MERCADO	19
5.1 Yacimiento, Evaluación y Factibilidad Económica	20
5.2 Producción	21
5.3 Logística	25
6. SUSTENTABILIDAD DE LA CADENA DE VALOR	26
6.1 Recuperación de Áreas Minadas	26
6.2 Uso y Tratamiento de Agua	26
6.3 Manejo de Materiales y Residuos Peligrosos	26
6.4 Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera	27
6.5 Polvos Respirables	27
6.6 Procesos Verdes	27
6.7 Reducción de Emisiones de CO2	27
7. MINERALES INDUSTRIALES EN MÉXICO	29
7.1 Producción Nacional de Minerales Industriales 2005	29
7.2 Exportaciones de Minerales Industriales 2005	30
7.3 Importaciones de Minerales Industriales 2005	30
7.4 Oportunidades	31
8. CONCLUSIONES	33
9. REFERENCIAS	34
10. BIBLIOGRAFIA	34
11. CURRICULUM VITAE	35
12. ANEXO I, Minerales Industriales y sus derivados quimicos	36

RESUMEN EJECUTIVO

El valor económico de los Minerales Industriales en México es tan importante como el que aportan los minerales metálicos a la producción minera nacional.

Al contrario de los metálicos, las aplicaciones y/o usos de los Minerales Industriales son, aparentemente, "invisibles" en los bienes de uso o consumo de la vida diaria.

Para que estos bienes de uso o consumo tengan un buen desempeño y mantengan satisfechos a los consumidores, las materias primas básicas o minerales para la fabricación de dichos bienes deben ser suministrados con especificaciones consistentes y precios competitivos.

Se propone que la Cadena de Valor de los Minerales Industriales, inicia y termina con los mercados, de otra forma, *"sin un mercado, cualquier yacimiento de Minerales Industriales es una mera curiosidad"*.

Se describe una estrategia de desarrollo, desde la mina al mercado, para formar un negocio de minerales industriales, incluyendo los asuntos ambientales para asegurar su sustentabilidad en el tiempo.

A través del análisis de la producción, exportaciones e importaciones de los Minerales Industriales de México en el 2005 se comentan varias áreas de oportunidad para el crecimiento y desarrollo de nuevos yacimientos en el país.

Además, se sugiere que en los planes de estudio de las carreras de ingeniero geólogo y/o minero se incluya la materia de Minerales Industriales con el enfoque propuesto en este trabajo.

Palabras clave: Minerales industriales, minerales No-metalicos, mercados y aplicaciones.

1. INTRODUCCION

En Geología Económica, la mayoría de los Minerales Industriales están clasificados como minerales No-metálicos. La dimensión de su importancia económica no siempre ha sido valorada en su totalidad, ya que aparentemente no tienen el "brillo" económico de sus "parientes ricos", los minerales metálicos.

Sin embargo, los Minerales Industriales son tan indispensables para la vida, como lo son los minerales metálicos y minerales energéticos, para la manufactura de bienes de uso y consumo cotidiano por la sociedad.

En la actualidad los Minerales Industriales se clasifican en las siguientes 3 clases o tipos:

- Minerales Industriales Naturales que ocurren como minerales No-metálicos.
- Minerales Industriales Metálicos que son utilizados por sus propiedades no-metalúrgicas.
- Minerales Industriales Sintéticos los cuales son manufacturados por procesos químicos o de calcinación-fusión a partir de uno o más de los minerales industriales naturales o metálicos.

Los mercados que demandan Minerales Industriales son muy diversos, desde las industrias de la construcción, vidrio y cerámica hasta las más complejas industrias del plástico, pinturas, papel, química y de la electrónica.

Todos los mercados que consumen Minerales Industriales cuando menos exigen 3 condiciones para el suministro a sus proveedores:

- Especificaciones con alto grado de uniformidad en sus características fisicoquímicas, apoyadas en la homologación de laboratorios de control proveedor-consumidor.
- Suministro con logística de transporte para asegurar entregas a tiempo, sobre todo para las industrias, como la del vidrio, que operan 24 horas-365 días al año.
- Precio de mercado en destino, esto es precio del mineral *exworks* la mina-planta más el costo del transporte y manejo a destino.

Su importancia económica radica en que sirven para la fabricación, directa o indirectamente, de una amplia variedad de bienes duraderos (eg. casas habitación, línea blanca de enseres domésticos, automóviles, etc.) y no-duraderos (eg. envases de vidrio, hules, plásticos, papel, textiles, etc.) que usamos o consumimos diariamente.

En consecuencia, el crecimiento de la economía (PIB) de los países, como resultado de la creciente demanda de bienes y servicios de sus habitantes, incide directamente en una creciente demanda y consumo de minerales industriales, de ahí su importancia económica.

Como corolario entonces, se postula que la cadena de valor de los minerales industriales se inicia y termina en los mercados, ya que si no existe demanda, no hay desarrollo ni comercialización de los yacimientos. P.W. Harben (1994), ha expresado este concepto mas sucintamente: *"sin un mercado, un yacimiento de minerales industriales es una mera curiosidad geológica"*.

El objetivo del presente trabajo es hacer notar la importancia económica de los Minerales Industriales, y que el aspecto geológico de su modo de ocurrencia es tan solo un eslabón en la cadena de valor yacimiento-producción-logística-mercado.

Las tendencias de la oferta y la demanda de los mercados son las que generan la búsqueda (proceso de exploración) de los Minerales Industriales, seguido del diseño del proceso de beneficio-producto (nivel laboratorio y planta piloto) para evaluar las muestras de la exploración, cuantificar las reservas del yacimiento y probar la factibilidad económica de la obtención del mineral industrial que él o los mercados demandan.

La ingeniería e inversión de la construcción de la planta de proceso, el método de minado, equipo y sus costos de operación deberán ser detallados, así como el

precio de venta del mineral y el costo de su logística de distribución, para calcular el retorno de la inversión que justifique la sustentabilidad económica del proyecto.

La parte medular de la cadena de valor son los procesos de beneficio y sus costos de producción, ya que factores de localización geográfica, recuperación y pureza relativa del mineral *in situ* pueden ser determinantes para que el mineral sea competitivo en los mercados.

Los procesos de beneficio que más valor (costo-beneficio) agrega a los Minerales Industriales naturales son los de molienda y clasificación desde minerales simplemente triturados y clasificación de tamaño por cribado hasta los minerales micronizados y clasificados con aire.

Además, para fortalecer la sustentabilidad económica de la cadena de valor en el largo plazo, los productores de Minerales Industriales, no solo deben cumplir con la normatividad ambiental que exigen las leyes, sino que deben interactuar armoniosamente con los espacios sociales que los rodean.

Temas como la recuperación de áreas minadas, uso racional de agua limpia, recirculación de aguas de proceso, control de emisiones de polvos a la atmósfera, reducción de consumo de energía, procesos de beneficio "*verdes*" que minimizan el uso de agua limpia, reactivos, ácidos, energéticos y emisiones de CO₂ a la atmósfera, son de vital importancia para la sustentabilidad ambiental de las operaciones de producción.

Finalmente basándonos en las estadísticas de producción del año 2005 de los Minerales No Metálicos en México, se hace un breve análisis de las áreas de oportunidad donde se deben enfocar los estudios de mercado y desarrollo de nuevos productos minerales para incrementar la producción de Minerales Industriales en nuestro país.

Así mismo, se sugiere que en los planes de estudio de las carreras de geólogo y minero se incluya la especialidad de Minerales Industriales con el enfoque integral propuesto en este trabajo, para promover la creación de emprendedores de nuevos negocios que generen riqueza para el país con el conocimiento geológico.

2. CLASIFICACION DE LOS MINERALES INDUSTRIALES

Los términos Minerales No- metálicos y Minerales Industriales son usados indistintamente como sinónimos, ya que todos los No-metálicos son Minerales Industriales, pero es necesario puntualizar que la definición de Minerales Industriales, además de los No-metálicos, agrupa otros minerales metálicos y minerales sintéticos, así como algunas rocas que son usadas por sus propiedades no-metalúrgicas en la industria.

Por lo tanto, el termino Minerales Industriales resulta mas adecuado para agrupar a todas aquellas materias primas minerales para la industria, que sirven para producir un gran numero de productos para la vida diaria, desde simples agregados para la industria del concreto y el cemento hasta los mas complejos productos de las industrias química y de la electrónica.

En general, esta definición de Minerales Industriales agrupa todos aquellos materiales, sean minerales o rocas, que ocurren naturalmente en la corteza terrestre que no constituyen una mena mineral para la obtención de metales (ferrosos y no-ferrosos), ni minerales energéticos, y que son minados y procesados por su valor No-metalúrgico para la industria (Rowbotham, 1967).

Los Minerales Industriales se clasifican en las siguientes 3 clases ó tipos.

2.1 Minerales Industriales Naturales

En esta categoría se agrupan todos los minerales No-metálicos definidos en Geología Económica, que se encuentran en concentraciones o yacimientos minerales en forma de boratos, carbonatos, haluros, elementos nativos, óxidos, silicatos, aluminosilicatos, sulfatos y rocas que son minadas, procesadas, concentradas y suministradas a los mercados tal como se encuentran en la naturaleza; esto es, su composición química o mineralógica no se altera, solo se modifica su concentración (eliminación de impurezas) y tamaño de partícula.

La Tabla 1 presenta una lista de los minerales industriales y rocas naturales agrupados por composición química-mineralógica, tipo de ambiente geológico donde ocurren y presencia ó producción en México.

GRUPO MINERAL	MINERALES Y/ O ROCA	TIPO DE ROCA /OCURRENCIA	LOCALIDAD* O PRODUCCION EN MEXICO
BORATOS	BORAX COLEMANITA ULEXITA	1. Sedimentario con influencia evaporítica y volcanismo con aportación de fluidos hidrotermales. 2. Evaporación de salmueras	*1. <i>Colemanita, Magdalena de Kino, Son.</i>
CARBONATOS	CALCITA	1. Rellenos de fisuras de calcita romboedrales 2. Calizas arrecifales marmorizadas 3. Mármoles	1. Mina y Galeana, NL. 2. Vizarron, Qro. 3. Dinamita, Dgo.
	MAGNESITA	1. Metasomatismo de contacto en rocas magnesianas (utrabásicas, serpentinitas y dolomitas) 2. Evaporitas y salmueras	*1. <i>Islas del Pacifico de BCS. (Cedros y Margarita)</i> 2. Laguna del Rey, Coah.
	TRONA	Evaporitas	* <i>Laguna de Adair, Son.</i>
	BASTNESITA	Mineral accesorio de tierras raras en carbonatitas, intrusivos alcalinos o placeres derivados de ellas	No reportado

TABLA 1. Clasificación de Minerales Industriales Naturales por composición química, mineralógica, modo de ocurrencia y presencia o producción en México

(Cont'd 1) TABLA 1

GRUPO MINERAL	MINERALES Y/ O ROCA	TIPO DE ROCA /OCURRENCIA	LOCALIDAD* O PRODUCCION EN MEXICO
FOSFATOS	MONAZITA	Mineral accesorio de tierras raras en carbonatitas, Intrusivos alcalinos o placeres derivados de ellas	<i>*San Carlos, Tamaulipas</i>
	XENOTIMO	Mineral accesorio de tierras raras en granitos o placeres derivados de ellas	No reportado
HALUROS	FLUORITA	Cuerpos (mantos y chimeneas) de reemplazamiento hidrotermal	Las Cuevas, SLP. y Distrito de Muzquis, Coah.
	HALITA	1. Domos Salinos 2. Salinas Marinas (evaporitas)	1. Istmo de Tehuantepec y Villa de Garcia, NL. 2. Guerrero Negro, BCS.
	SYLVITA	Salmueras y evaporitas	No Reportado
NATIVOS	AZUFRE	1. Domos salinos 2. Sub-producto de refinación de petróleo	1. Istmo de Tehuantepec 2. Refinerías de PEMEX
	GRAFITO	1. Rocas sedimentarias con metamorfismo de contacto (?) – grafito amorfo-antracita-carbón 2. Grafito cristalino de metamorfismo regional (granulitas).	1. Fm. Barranca, SE de Hermosillo, Son. 2. Telixtlahuaca, Oaxaca
	DIAMANTE	1. Estructuras volcánicas Kimberlíticas 2. Depósitos de placer	No Reportado
OXIDOS	CORINDON / EMERY	1. Asociado con rocas ígneas alcalinas sin sílice. 2. Roca metamórficas derivadas de bauxitas y hornfels impuros	No Reportado
	SILICE/ CUARZO	1. Depósitos de arenas de sílice 2. Areniscas de cuarzo 3. Tobas cristalinas de cuarzo y sanidino 4. Sílice derivado de rocas volcánicas acidas afectadas por hidrotermalismo	1. Istmo de Tehuantepec 2. Hidalgo, Coah. 3. S.J. Iturbide, Gto. 4. Los Azufres, Mich.
SILICATOS Y ALUMINOSILICATOS	ASBESTO	1. Rocas ultrabasicas metamorfozadas 2. Rocas dolomíticas metamorfozadas	<i>*1. Cd. Victoria, Tam. *2. Oaxaca</i>
	ATAPULGITA-SEPIOLITA	Arcillas magnesianas (Tierras Füller) derivadas de la alteración de rocas volcánicas básicas-intermedias	Los Azufres, Mich., Puebla, Tlaxcala.
	BALL CLAYS	Sedimentario	Xilotepec, Pue.
	BENTONITA	Depósitos de cenizas volcánicas en medios lagos o cuencas cerradas.	Cuencame, Dgo.
	CAOLIN	Intemperismo e hidrotermalismo de rocas graníticas-tobas acidas, gneiss Qz-Feldespáticos y arcosas.	Puebla, Veracruz, SLP, Los Azufres, Mich
	FELDESPATO	1. Tobas cristalinas andesíticas y riolíticas 2. Granitos y Pegmatitas	1. Ahuazotepec, Pue. Y S.J. Iturbide, Gto. <i>*2. Ayoquesco, Oax.</i>
	GRANATE	Metamorfismo de contacto y regional	No Reportado
	MICA	Muscovita en rocas y pegmatitas graníticas; Flogopita en calizas y rocas ultrabasicas metamorfozadas.	<i>*Ayoquesco, Oax.</i>
	OLIVINO	Peridotitas sin serpentínizar	<i>*Guerrero Negro, BCS</i>
	PIROFILITA	Rocas y tobas acidas afectadas por hidrotermalismo	No Reportado
SILIMANITA	Metamorfismo regional de rocas arcillosas	No Reportado	

TABLA 1. (Cont'd 1), Clasificación de Minerales Industriales Naturales por composición química, mineralógica, modo de ocurrencia y presencia o producción en México

(Cont'd 2) TABLA 1

GRUPO MINERAL	MINERALES Y/ O ROCA	TIPO DE ROCA /OCURRENCIA	LOCALIDAD* O PRODUCCION EN MEXICO
SILICATOS Y ALUMINOSILICATOS	TALCO	Metamorfismo de dolomitas y metasomatismo de serpentinitas	*1. Cd. Victoria, Tam. *2. Oaxaca
	VERMICULITA	Alteración de cuerpos intrusivos básicos en cuerpos mayores de intrusivos alcalinos.	*Cerro Pedregoso, Coah-Zac.
	WOLLASTONITA	Metamorfismo de contacto de calizas silíceas	Zacatecas y Sonora
	ZEOLITAS	Alteración de tobas acidas depositadas en ambientes lacustres	*Oaxaca, Puebla, Michoacán, Jalisco, Sonora
SULFATOS	BARITA	1. Vetas hidrotermales 2. Depósitos estratificados asociados a emanaciones hidrotermales submarinas.	1. Galeana, NL. y Muzquis, Coah. 2. Mazatan, Son.
	CELESTITA	Reemplazamiento hidrotermal(?) formando mantos estratiformes	Isla Jurásica de Coah.
	TENARDITA	1. Sedimentario evaporítico en cuencas cerradas 2. Salmuera	*1. Bacadeguachi, Son. 2. Laguna del Rey, Coah.
	YESO/ANHIDRITA	Cuencas Evaporíticas Jurásicas de la SM Oriental y otras cuencas en la margen del Pacífico	Pue., SLP, NL, Coah., Chihuahua, Jal., Son., Punta Sta. María e isla San Marcos, BCS.
ROCAS	CALIZA / DOLOMITA	Rocas marinas carbonatadas	Amplia distribución en México
	DIATOMITA	Rocas sedimentaria depositada en ambientes lacustres en zonas volcánicas recientes	Charo, Michoacán, Jalisco, Gro. Negro, BCS.
	PERLITA	Domos riolíticos sobresaturados en sílice	*Amplia distribución en el eje Neovolcánico y SM Occidental.
	POMEZ-ESCORIA	Rocas volcánicas ácidas (pómez) Rocas volcánicas básicas (escoria)	*Amplia distribución en el eje Neovolcánico y SM Occidental
	ROCA FOSFORICA	Roca sedimentaria marina que consiste de lodos y/u oolitas fosfáticas	*Cuenca sedimentaria La Purísima-Iray, BCS.
	SIENITA NEFELINICA	Roca ígnea alcalina	*1. San Carlos, Tam. *2. Picachos, N.L.

TABLA 1. (Cont'd 2), Clasificación de Minerales Industriales Naturales por composición química, mineralógica, modo de ocurrencia y presencia o producción en México

2.2 Minerales Industriales Metálicos

En esta categoría se incluyen algunos minerales metálicos ferrosos y no-ferrosos, los cuales constituyen una mena mineral para la extracción de su contenido metálico, pero que también son utilizados por la industria por sus propiedades físico-químicas.

Por ejemplo, el rutilo y la ilmenita se utilizan para obtener titanio metálico, pero también se utilizan para la obtención de pigmentos blancos para pinturas, papel o plásticos; lo mismo sucede con el zircón para obtener zirconio metálico, zircón micronizado utilizado como opacificante en esmaltes cerámicos o arenas de zircon para moldes de fundición de metales de alta temperatura.

La Tabla 2 presenta una lista de estos Minerales Industriales de tipo metálico agrupados por composición química, tipo de ambiente geológico donde ocurren y presencia ó producción en México.

METAL	MINERALES	OCURRENCIA	LOCALIDAD* O PRODUCCION EN MÉXICO
Aluminio	Bauxita (bohemita-diáspora-gibbsita)	En climas tropicales, el intemperismo químico descompone y lixivia la sílice de los silicatos y arcillas a través de caolinización-laterización-bauxitización dejando un residuo "in situ" de una mezcla impura de minerales aluminosos.	*Ostuacan, Chiapas
Antimonio	Estibinita	Yacimientos hidrotermales de sulfuros en vetas y/o mantos	Distrito minero de Wadley, SLP
Cromo	Cromita	1. Complejos de rocas ultramáficas con peridotitas-dunitas del manto 2. Intrusivos estratificados (tipo Bushveld)	*Islas de Cedros y Margarita, BC.
Hierro	Hematina-gohetita-limolita-magnetita-especularita	1. Productos de intemperismo de óxidos primarios de hierro 2. Magnetita como segregaciones magmáticas en complejos cristalinos o mineral accesorio en rocas ígneas. 3. Procesos metamórficos producen la specularita	2. Mina de Hércules, Coah; Peña Colorada, Colima.
Manganeso	Pirolusita-psilomelano-manganita	Depósitos sedimentarios de carbonatos en cuencas euxínicas	Molango, Hidalgo
Silicio	Cuarzo cristalino (lascas)	Vetas pegmatíticas e hidrotermales	*Tocapuchi, Sonora
Titanio	Rutilo-anatasa-leucóxeno-ilmenita	1. Depósitos de placer en arenas de minerales pesados 2. Complejos gabro-anortositicos 3. Complejos de carbonatitas	2. Pluma Hidalgo, Oaxaca *Cañón del Novillo, Tamaulipas.
Zirconio	Zircon-baddeleyita	1. Depósitos de placer en arenas de minerales pesados 2. Complejos alcalinos-ultrabásicos	1. *Zona costera de Colima y Jalisco, Hoja Manzanillo E-13-2-5: Placeres lenticulares antiguos en Fm. Difunta, Gral. Cepeda, Coah.

TABLA 2. Clasificación de Minerales Industriales Metálicos por composición metálica, mineralogía, modo de ocurrencia y presencia ó producción en México

2.3 Minerales Industriales Sintéticos

En esta categoría se agrupan todos los minerales industriales que son manufacturados con uno o más minerales industriales definidos como No-metálicos y Metálicos.

Su manufactura se hace necesaria ya que son escasos en la naturaleza (eg. mulita, periclasa, corindón.), o bien su composición química natural debe ser modificada para ser usadas por la industria; e.g. transformación de sulfatos naturales de estroncio y bario (celestita y barita) en carbonatos.

Los procesos de manufactura más típicos involucran hornos calcinadores o de fusión, ya sea para reducir rocas o minerales a óxidos, como caliza para producir cal metalúrgica, magnesita en magnesia (periclasa) o fusiones como la de sílice con coke para producir carburo de silicio.

Existen otros procesos más complejos, como la producción del carbonato de sodio por medio del proceso Solvay o procesos que involucran, disolución o ataque químico con ácidos o bases, filtrado y cristalización para producir minerales como la

sílice precipitada y la alumina trihidratada (Alumina Bayer), entre otros. En la Tabla 3 se presenta una lista los minerales sintéticos más comunes en el mercado.

MINERAL SINTETICO	MATERIAS PRIMAS + ENERGIA	USO/APLICACION
Alumina trihidratada	Bauxita+Sosa Cáustica	Materia prima básica para la producción de alumina calcinada para: -abrasivos -refractarios no-básicos -cementos de fraguado lento -cerámica eléctrica
Cal	Caliza + 8 MM de BTU's por tonelada de cal producida	-Metalurgia -Construcción, -Carbonato de calcio precipitado
Carbonato Bario	Barita + carbón = Sulfuro de bario + <i>soda ash</i> = Carbonato de bario	-Fundente en fritas y esmaltes cerámicos -Imanes permanentes -Vidrios que absorben radiaciones en cinescopios de TV. -Vidrios ópticos
Carbonato de Calcio	Caliza = Cal + agua + CO ₂ = CaCO ₃ ppt.	-Carga mineral en productos de papel, plástico, hule, pintura, medicamentos
Carbonato de Estroncio	Celestita + carbón + agua= Sulfuro de estroncio + <i>soda ash</i> = Carbonato de estroncio	-Similares a los del carbonato de bario -Remueve el Pb en producción electrolítica de Zn
Carbonato de Sodio (soda ash)	Sal + cal + carbón + amonia = <i>soda ash</i> + cloruro de calcio	-Fundente en <i>batch</i> de vidrio y silicatos -Materia prima para industria química -Subproducto de cloruro de calcio para deshielo de aeropuertos y carreteras
Carburo de Silicio	Sílice + Coke	- Abrasivos - Refractarios
Espinela	Magnesita + alumina	-Refractarios de alta resistencia termomecánica, expansión termal baja, resistencia al ataque de escoria
Grafito	Coke	- Electroodos -Cátodos en celdas de hidrogeno -Lubricantes resistentes al calor
Mulita	Bauxita + Caolín + 13 MM de BTU's por tonelada de mulita producida	-Refractarios para hornos de vidrio y acero -Tubos en hornos eléctricos -Termopares
Magnesia calcinada Magnesia ultracalcinada (periclasa)	Magnesita	-Fertilizantes -Alimento avícola y para ganado -Tratamiento de aguas negras, captura amonia, fosfatos y metales pesados. -Ultracalcinada sirve para ladrillos refractarios básicos
Sílice precipitada	Sílice + <i>soda ash</i> = silicato de sodio + Acido sulfúrico = sílice precipitad + efluente de sulfato de sodio	-Carga mineral como anti-derrapante en hules, neumáticos, suelas de calzado -Dispersante ó vehiculo para insecticidas -Anti-espumante en procesamiento de papel y alimentos, refinación de petróleo -Agente anti-apelmazante en alimentos, medicinas, químicos y fertilizantes -Carga en separadores microporosos de acumuladores de automóviles
Sílice de alta pureza	Arena sílica ó cuarzo con < 300ppm's impurezas totales = Quintus + lixiviación acida + neutralización + lavado + secado al vacío + separación magnética de alto gradiente + calcinación + clorinizacion + separación magnética = IOTA (sílice con < 30ppm's de impurezas totales	-Fibras ópticas -Componentes ópticos especializados (lentes, espejos, prismas) -Vidrio para lámparas de halógeno -Fibras de vidrio especiales -Vidrios de cristal liquido (LCD) - Materia prima para producir cuarzo fundido para la producción de cristales de silicio de la industria de semi-conductores
Wollastonita /Diopsido	Calcita ó cal + Sílice = Wollastonita Dolomita + sílice = Diopsido	-Fritas y esmaltes cerámicos -Varillas de soldadura -Desulfurizacion de metales en caliente

Tabla 3. Minerales sintéticos más comunes y sus aplicaciones

3. CLASIFICACION DE MERCADOS

El mercado de los Minerales Industriales es tan amplio y diverso como la misma industria de bienes y servicios, por lo que la diversidad en los usos y/o aplicaciones esta dictada por las propiedades físico-químicas particulares o funcionalidad del mineral que se quiera imprimirle a los productos de consumo final.

A continuación se describen los principales mercados de los minerales industriales, agrupados por industria y función en los mercados-productos finales.

3.1. Mercado de la Construcción

El mercado de la construcción puede dividirse en 5 grandes industrias básicas.

3.1.1 Industria de los Materiales de Construcción

Los triturados de roca (granitos, basaltos, calizas, etc.) y/o gravas y arenas cumplen la función de agregados para el concreto, en la fabricación de ladrillos la arcilla común es el ingrediente principal. La producción de concretos y bloques ligeros requiere de minerales como vermiculita, arcillas expandidas o rocas como la perlita y el pómez.

3.1.2 Industria del Cemento

Utiliza como ingrediente principal caliza y arcilla común o cualquier fuente de alumina (bauxita, rocas ígneas alteradas, etc.). Como aditivos utiliza óxidos de hierro, arena de sílice, yeso y vermiculita de acuerdo al tipo de cemento a fabricar.

3.1.3 Industria de los Materiales Aislantes

Diversos tipos de fibras o colchonetas utilizan para su fabricación diversos minerales como el crisotilo, diatomita, perlita, pómez, sílice, wollastonita y zeolitas. Las fibras de vidrio sintéticas hechas a partir de la fusión de *batches* de sílice, caolín, colemanita, y otros minerales, son ejemplo de la substitución de fibras minerales naturales por productos sintéticos.

3.1.4 Industria de los Paneles de Yeso (tabla roca)

El yeso calcinado es el ingrediente principal utilizado por esta industria.

3.1.5 Industria de los Estucos y Adhesivos

Se fabrican mezclas cementosas para el frisado de muros y paredes y la instalación de pisos y recubrimientos cerámicos; sus ingredientes básicos son carbonato de calcio (calcita) molido o arena de sílice con distribuciones granulométricas controladas.

3.2. Mercado Metalúrgico

En este mercado existen 7 grandes industrias básicas.

3.2.1. Industria de las Aleaciones Ferrosas y No-Ferrosas

Los minerales mas comunes que se utilizan son el oxido de antimonio derivado de estibinita, oxido de berilo derivado de la bertrandita, alumina obtenida de bauxitas, cromita, óxido de hierro, sílice/cuarzo, óxidos de titanio derivados de

ilmenita, leucoxeno, anatasa y/o rutilo, óxidos de manganeso y zircon, fundentes metalúrgicos como fluorita y cal metalúrgica.

3.2.2 Industria de los Refractarios

Los minerales más típicos que se usan en esta rama de la metalurgia son la bauxita, arcillas refractarias, dolomita, magnesita-magnesia, olivino, cianita-silimanita, cuarzo, grafito, pirofilita y zircon. Se utilizan ya sea para la fabricación de ladrillos refractarios para el recubrimiento de hornos de quemado para la cerámica, hornos para la fabricación de vidrio, kilns para la fabricación de cemento y cal, y hornos metalúrgicos para la producción de acero y aluminio, entre otros.

3.2.3 Industria de la Fundición

En esta rama del mercado metalúrgico los minerales industriales usados tienen varios propósitos; la bentonita es utilizada como aglutinante en fundiciones de moldeo en verde, las arenas de sílice, cromita, olivino y zircon constituyen el ingrediente principal para hacer los moldes y corazones de un sinnúmero de partes automotrices e industriales.

3.2.4 Industria de la Soldadura

Los minerales que se utilizan como agentes fundentes en la fabricación de soldaduras son compuestos de boro, fluorita, magnesita-magnesia, dolomita-caliza, óxido de calcio, arena de sílice, ilmenita, rutilo y wollastonita.

3.2.5 Industria de los Abrasivos

Entre los minerales que se utilizan en esta importante rama de la metalurgia se pueden citar a las aluminas fundidas derivadas de bauxitas, corindón, diamante, diatomita, feldespato, granate, magnetita, sienita nefelinica, olivino, perlita, pómez, trípoli, ilmenita, y minerales sintéticos como el carburo de silicio y alumina.

3.2.6 Industria de los Lubricantes

El mineral industrial que por excelencia es usado en este mercado es el grafito ya sea natural o sintético. Otros minerales que son usados por esta industria son la mica, talco y compuestos de litio.

3.2.7 Industria de los Materiales Anti-fricción

En la fabricación de las pastas para balatas y embragues automotrices utilizan uno o varios de los siguientes minerales crisotilo, alumina, tierras Füller, grafito, pirofilita y wollastonita.

3.3 Mercado de la Industria Química

Prácticamente casi todos los Minerales Industriales Naturales son usados como materia prima para la manufactura de compuestos químicos básicos que sirven a su vez para producir un gran número de compuestos químicos para las industrias de los explosivos, pirotecnia, colorantes-decolorantes, retardadores de fuego, catalizadores, limpiadores, detergentes, etc. Una discusión de la manufactura, usos y aplicaciones de estos compuestos pertenece al campo de la especialización de química y no de geología de esta academia. Solo se enlistan

los minerales industriales considerados como los más importantes para la producción de compuestos químicos (Anexo I).

3.4 Mercado Farmacéutico

En este mercado los minerales industriales son ultra puros, libres de metales pesados (eg. plomo, mercurio, cadmio en ppb's) y con tamaño medio de partícula menor a 1 micron; son utilizados como excipientes en la manufactura de productos farmacéuticos, cosméticos y productos alimenticios. El carbonato precipitado, la sílice precipitada y el bicarbonato de sodio grado USP (*U.S. Pharmaceutical*) son ejemplos de minerales sintéticos usados por estos mercados.

3.5 Mercado Agropecuario

En el mercado de los fertilizantes se utilizan fosfatos, potasa y nitratos como nutrientes primarios para los sembradíos; como micronutrientes o correctores de suelos se utilizan, boratos, dolomita, yeso, caliza, magnesita, minerales de manganeso, sulfato de sodio y azufre. En la manufactura de insecticidas y herbicidas se utilizan diversas arcillas, como attapulgita-sepiolita, bentonita y caolín, diatomita, pirofilita, talco y zeolitas como cargas minerales para acarrear los ingredientes activos. En los alimentos para ganado se aplican nutrientes minerales como aditivos para mejorar el aprovechamiento de los alimentos en ganancia de peso-carne, como la dolomita, yeso, yodo, óxido de hierro, caliza, magnesita, minerales de manganeso, fosfatos, bicarbonato de sodio, sal y azufre.

3.6 Mercado del Vidrio y Cerámica

La utilización de materias primas en los mercados del vidrio y la cerámica, son prácticamente los mismos con excepción de que el "batch" de minerales para el vidrio tiene granulometrías granulares (-600 micrones + 100 micrones) y los minerales para la cerámica están molidos a - 75 micrones. En el caso del vidrio, los ingredientes principales son la arena de sílice, caliza de bajo fierro, feldespato y "soda ash" (carbonato de sodio); el feldespato puede ser substituido por aplita y/o sienita nefelinica. Con excepción de la sílice los demás componentes actúan como fundentes para reducir la temperatura de fusión de la sílice de 1,710°C a 1,450°C, además ayudan a evitar la desvitrificación del vidrio, le dan resistencia al intemperismo y trabajabilidad en el proceso de formado. En el caso del vidrio plano se utiliza dolomita (magnesita) en lugar de caliza, para evitar la desvitrificación por periodos más largos, ya que los vidrios planos tienen una vida útil más prolongada que los envases.

En la industria cerámica todas las materias primas son molidas a - 75 micrones y es importante que den colores blancos-claros al quemado en el caso de los sanitarios que utilizan un "slip" de sílice, feldespato, caolín y *ball clays*, estos últimos dos minerales se necesitan por ser refractarios pero plásticos, no así la sílice que es refractaria pero NO-plástica y el feldespato juega el papel más importante para hacer la liga cerámica (fase vítrea) entre las partículas de los componentes refractarios. La adición de minerales tales como el carbonato de calcio, talco y wollastonita que actúan como fundentes, estabilizadores, acortan el ciclo de quemado, reducen defectos por fracturas y el burbujeo de gases.

Existe también el mercado de las fritas y esmaltes para la industria de los sanitarios, pisos y recubrimientos cerámicos con los cuales se le da el vidriado y color a los productos cerámicos.

También la cerámica de alta tecnología para la industria aeroespacial, los vidrios para usos ópticos y la electrónica constituyen nichos de mercado muy especializados de la cerámica y el vidrio.

3.7 Mercado Ambiental

Este mercado tiene gran relevancia en la mitigación del impacto ambiental de las industrias intensivas en consumo de energía y agua, como son la petrolera, la química, la del cemento y la minera.

Las emisiones de gases de combustión ácidos a la atmósfera deben ser neutralizadas con minerales alcalinos, como la caliza-dolomita, cal, magnesia, en cámaras o lavadores de gases para remover principalmente los gases azufrosos, nitrosos y partículas de polvo. Los efluentes ácidos también deben ser neutralizados con minerales alcalinos o sus partículas sólidas precipitadas con cal, sulfato de aluminio o algún floculante natural o sintético en lagunas de sedimentación enlaminadas con plástico para evitar la infiltración al subsuelo.

En el segmento de filtración en plantas de tratamiento de agua, los medios filtrantes pueden ser arenas de sílice, granate, diatomita, perlita, pómez, magnetita o zeolitas. Se hace especial mención de las zeolitas por sus propiedades para actuar como filtros moleculares muy selectivos de diferentes cationes de tamaño iónico grande como la amonía y otros compuestos orgánicos volátiles que producen el olor desagradable de las aguas negras o residuales.

3.8 Mercado Energético

El mercado de la exploración y producción petrolera utiliza diversos minerales industriales, como barita, bentonita-hectorita, attapulgita-sepiolita, diatomita, bauxita y alumina para la manufactura de lodos de perforación, así mismo utiliza varios cortes gruesos de arenas de sílice muy redondeadas que son utilizadas para la facturación de yacimientos.

En el caso de la manufactura de pilas secas el dióxido de manganeso y el grafito son ingredientes básicos.

En la industria de la energía nuclear las barras de combustible nuclear agotadas se almacenan en depósitos de agua y los isótopos radioactivos, como el ^{90}Sr y ^{137}Cs , se acumulan en el agua la cual es pasada por filtros de zeolitas que atrapan esos isótopos; la zeolita gastada se mezcla con cemento y almacenada en tambores de acero sellados para su disposición segura.

3.9 Mercado de las Cargas Minerales y Pigmentos

El mercado de las cargas minerales y pigmentos para papel, plásticos, pinturas, selladores y adhesivos utiliza minerales micronizados y por lo tanto de alto valor. Además, propiedades como blancura, brillantez, absorción de aceite, área específica superficial, pH, entre otras, son características invaluableles en estos minerales.

Entre las cargas minerales más comunes se tienen barita, carbonato de calcio, caolín, feldespato, sienita nefelinica, sílice cristalina y microcristalina, diatomita, mica, talco y piofilita.

El campo de los pigmentos se reduce principalmente a los derivados de minerales de titanio y óxido de hierro para el papel, plásticos y pinturas.

Este mercado actualmente se está segmentando hacia diferenciar el mercado de cargas minerales con tamaño de partícula de -10 micrones a + 0.1 micrones y el mercado de los nanominerales con tamaños de partícula < 0.1 micrones (100 nanómetros) para el mejoramiento de productos de pinturas y plásticos actuales y el desarrollo de nuevos materiales.

4. REQUERIMIENTOS BASICOS DE LOS MERCADOS

Los mercados de consumo de los minerales industriales exigen cuando menos 3 condiciones para el suministro, -especificaciones, volumen, precio-, los cuales deben ser acordados entre el productor y la industria consumidora de cualquier mineral industrial.

4.1 Especificaciones

La especificación más común que se exigen en los minerales industriales es su distribución de tamaño, la cual tiene que ver con los procesos de trituración, molienda y clasificación. Los equipos de medición más comunes son los agitadores de tamices para tamaños de partícula desde 100 mm hasta 45 micrones. Para los tamaños menores a 100 micrones se utiliza un analizador de tamaño de partículas que funciona bajo el principio de velocidad de asentamiento (*sedigraph®*).

La composición química está íntimamente ligada a la composición original de los yacimientos y a los procesos de beneficio para su concentración, por lo tanto la composición química del mineral y sus impurezas expresadas como óxidos en % o en ppm's son una especificación importante que requiere la industria. Los equipos de medición más comunes son la absorción atómica (AA), espectrometría de plasma (ICP), fluorescencia de rayos X (XRF) y difracción de rayos X (XRD), entre otros.

Estas dos características básicas de las especificaciones de los Minerales Industriales se acuerdan dentro de rangos establecidos por la industria, los cuales son algunas veces tan restrictivos que es necesaria la aplicación de planes de minado derivados de estudios de geoestadística y control estadístico de procesos aplicados a los procesos de producción e inspección de producto terminado.

Existen otras especificaciones adicionales a las mencionadas arriba, que son más específicas para otros mercados. En el mercado de las cargas minerales blanca, brillantez, absorción de aceite, área específica superficial, densidad en suelto y en compacto, son características que exigen los mercados de las pinturas, plásticos y papel.

En el mercado de las arenas de fundición el porcentaje de arcilla, pH y demanda de ácido son esenciales aparte de la distribución granulométrica.

En el caso de los minerales fibrosos o aciculares la relación largo-ancho (*aspect ratio*) hace que minerales como la wollastonita y el crisotilo se coticen a mayor precio.

Para cualquier especificación es necesario que los equipos de laboratorio del proveedor y del cliente se homologuen y certifiquen, con marchas de análisis estandarizados y muestras de estándares químicos desarrollados por ambos. Los métodos de muestreo son de vital importancia para la homologación de los equipos de análisis, ya que las muestras (< 250 gramos) a analizar deben ser representativas del tamaño del lote que se quiera caracterizar. El volumen de los lotes puede variar desde sacos de 50 kilos, camiones de 30 toneladas, tolvas de FFCC de 90 toneladas, hasta pilas de miles de toneladas.

4.2 Logística y Suministro

Las exigencias de un suministro seguro en cantidad constituyen una de las variables más importantes para los mercados consumidores, en especial las industrias que trabajan con procesos continuos 24 horas-365 días al año, como las del vidrio, cerámica, cemento, metalúrgica, etc.

Los proveedores de materias primas deben tener cantidades de reservas minerales, capacidad de producción y embarque suficientes para el largo plazo y capacidades de almacenamiento de producto terminado al menos de 10 días venta.

Aunque la mayoría de los productores de minerales industriales facturan libre a bordo (FOB) sus plantas, la mayoría de los mercados exigen como un "plus" en el servicio, que sus proveedores se encarguen de coordinar el transporte y entrega en destino. Esta coordinación de hace crítica cuando los clientes o consumidores tienen instalaciones no adecuadas a sus consumos (almacenes <3 días consumo), de manera que las "entregas a tiempo" tanto para el proveedor como para el cliente son una importante parte del proceso de suministro.

Esta actividad se hace más compleja en el caso de los embarques vía marítima por los costos de transporte terrestre y almacenamiento en puerto, manejo y carga en el puerto y la coordinación con los itinerarios de navegación de los buques. En muchos minerales la margen de utilidad es solo de algunos dólares, por lo que una coordinación mal planeada o ejecutada puede ser motivo de pérdidas para el negocio de las exportaciones vía marítima.

La presentación de empaque de los minerales, granel, sacos, supersacos, constituye otra de las variables importantes del suministro, ya que su manejo y conservación de la integridad del material para evitar contaminaciones de materiales extraños es de vital importancia para los mercados.

Todos los minerales para su transporte y suministro requieren del documento de embarque indicando el mineral y peso neto, la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) y/o la caracterización CRETÍ.

4.3 Precios

Los precios de mercado en destino de los Minerales Industriales que se consumen, ya sea importados o de producción nacional, en cualquier país, están compuestos por la suma del Precio *exworks* planta productora, + Gastos de almacenamiento y manejo de materiales + Fletes terrestres o marítimos + Gastos aduanales y aranceles, según sea el caso.

Al contrario de los minerales metálicos donde los precios se determinan en los mercados de metales internacionales, el valor de los Minerales Industriales lo determina la especificación físico-química deseada, la ubicación geográfica de los productores respecto a los mercados, la demanda de volumen, capacidad de extracción y procesamiento, y la competitividad en costos de producción, energía y mano de obra entre los productores. Las especificaciones y la ubicación geográfica son los factores que inciden mayormente en la determinación del precio en los mercados.

En el caso de las especificaciones, un mismo mineral con diferentes grados de pureza y/o distribución de tamaño de grano puede tener precios desde unas decenas a miles de dólares por tonelada (Tabla 4).

Como ejemplo de la importancia de la ubicación geográfica de los productores y su cercanía a los mercados se pueden citar minerales, *denominados de tipo mundial*, cuya demanda esta fuertemente controlada con la escasez de yacimientos de pureza extraordinaria en explotación en el mundo, como es el caso de la trona natural de Wyoming *vs.* Soda ash sintética, la sienita nefelinica de Canadá y Noruega, el olivino de Noruega y Estados Unidos, los boratos de California y Turquía, la celestita de México y España, y las arenas de zircon de Australia y Estados Unidos, por citar algunos (Tabla 5). El precio de estos minerales en destino del cliente-mercado consumidor tiene un fuerte componente, entre 30% y 70%, de fletes terrestres, gastos de inspección y manejo de material en puertos (carga y descarga) y flete marítimo.

En México existen casos que ejemplifican situaciones del papel importante que juegan en la determinación de precios la cercanía al mercado y la disponibilidad de ciertos Minerales Industriales. Se citan los casos de la barita, el carbonato de calcio y agregados para construcción.

La barita de Sonora, a pesar de tener una reserva mineral importante, su lejanía al mercado petrolero del Este y Sureste de México y por tanto sus costos de

MINERAL	PRESENTACION	TAMAÑO DE GRANO	MERCADO	PRECIO USD/Ton
SILICE	Arena gruesa	-3.0mm a +1.0mm	Filtración de agua	\$33
	Arena media	-600 μ a +100 μ	Vidrio	\$15
	Molida	-75 μ	Cerámica	~\$60
	Micronizada	-10 μ	Pintura y plástico	>\$200
	Precipitada	-1 μ	Hule y plástico	>\$1,000
	Alta Pureza		Electrónica	>\$4,000
FELDESPATO	Arena media	-600 μ a +100 μ	Vidrio	\$40-52
	Molido	-75 μ	Cerámica	\$125
	Micronizado	-10 μ	Pintura y plástico	>\$200
SIENITA NEFELINICA	Arena media	-600 μ a +100 μ	Vidrio	\$34
	Molida	-75 μ	Cerámica	\$95
	Micronizada	-10 μ	Pintura y plástico	>\$200
WOLLASTONITA	Molida	-75 μ	Cerámica, vidrio	\$205
	Molida	-45 μ	Esmaltes cerámicos	\$248
	Molida	-38 μ	Pintura y plástico	\$275
	Acicular	>15:1 aspect	Substituto de asbesto, carga mineral	\$345
	Micronizada	-10 μ	Pintura y plástico	\$630
Carbonato de Calcio Blanco	Molido	< 7 μ	Pintura y plástico	\$110-160
	Molido	< 2 μ	Pintura y Plástico	\$140-290
	Molido extra-blanco	<1.5 μ	Papel	\$170-180
	Precipitado	< 1 μ	Farmacéutico	\$250-270

TABLA 4. Precios de un mismo mineral de acuerdo a especificaciones de distribución de tamaño de grano. (Mineral Price Watch, Mayo 2007).

transporte, le impide competir contra las importaciones de barita de China que llagan al Golfo de México. Por otro lado, los productores de barita de Nuevo León y Coahuila no tienen la capacidad de producción que este importante mercado domestico requiere.

El carbonato de calcio de alta blancura para cargas minerales solo esta disponible en el área de Cadereyta, Querétaro y Dinamita, Durango, por lo que hay una agresiva competencia de precios para suplir las industrias del eje Cd. de México-Monterrey.

MINERAL	PRODUCTO	ORIGEN o LUGAR DE SUMINISTRO	RANGO DE PRECIO USD/TON
TRONA	Natural	FOB Wyoming	\$94 - 165
SODA ASH	Sintético	FOB Planta Europea	\$215 - 248
	Sintético	FOB China	\$170 - 180
	Sintético	CIF Lejano Oriente (Japón)	\$190 - 220
	Sintético	FOB Planta La India (consumo nacional)	\$215 - 220
SIENITA NEFELINICA	Grado Vidrio -30 mallas	FOB Planta Canadá	\$33
	Grado Cerámico -200 mallas	FOB Planta Canadá	\$88 - 93
	Grado Vidrio -30 mallas	Sienita de Noruega: FOB Puerto en Reino Unido	\$192
	Grado Cerámico -200 mallas	Sienita de Noruega: FOB Puerto en Reino Unido	\$288

TABLA 5, Precios de minerales de tipo mundial según su disponibilidad y cercanía a los mercados. FOB = Libre a Bordo, CIF = Costo, Seguro y Flete incluido, C & F = Costo y Flete incluido. (Mineral Price Watch", Mayo 2007).

(Cont'd 1) TABLA 5

MINERAL	PRODUCTO	ORIGEN o LUGAR DE SUMINISTRO	RANGO DE PRECIO USD/TON
OLIVINO	Grado Fundición AFS 30-80	FOB Planta Estados Unidos	\$68 - 120
	Grado Fundición AFS 30-80	Olivino de Noruega en Reino Unido	\$89 - 114
BORATOS	Bórax Grado Técnico	Bórax de California en Reino Unido	\$537 - 604
	Bórax Grado Técnico	FOB Planta California	\$340 - 380
	Colemanita en Piedra	Colemanita de Turquía FOB EUA/Japón	\$270 - 290
	Ulexita	FOB Lima, Perú	\$250 - 300
CELESTITA	94 % SrSO ₄	Celestita de México: FOB Estados Unidos	\$80 - 100
	96% SrSO ₄	FOB Puerto Motril, España	\$53 - 63
ARENAS DE ZIRCON	Premium	FOB Australia	\$825 - 850
	Premium	FOB Estados Unidos	\$825 - 850

Tabla 5 (Cont'd 1), Precios de minerales de tipo mundial según su disponibilidad y cercanía a los mercados. FOB = Libre a Bordo, CIF = Costo, Seguro y Flete incluido, C & F = Costo y Flete incluido. (Mineral Price Watch", Mayo 2007).

Los agregados y triturados pétreos para la construcción por lo regular son producidos localmente alrededor de las ciudades de consumo, pero en el caso de ciudades como Reynosa y Matamoros ubicadas en Provincia de la Llanura Costera del Golfo que están desprovistas de afloramientos de roca, los agregados son acarreados 200 a 250 Km. siendo el costo de transporte hasta 2 veces el precio del agregado FOB la cantera en Cerralvo, N.L. ó Curillas, Tamaulipas.

5. LA CADENA DE VALOR: DE LA MINA AL MERCADO

Todos los Minerales Industriales son minados y procesados para transformar la mena mineral cruda en un producto terminado o productos terminados para su venta en el mercado. Después deben ser transportados y suministrados a mercados de consumo directo o a otras plantas de proceso para obtener productos intermedios que son suministrados a otros mercados finales que llegan al consumidor (Tabla 6.).

MERCADO/MINERAL	ARENA DE SILICE	FFELDESPATO	ILMENITA /RUTILO	CELESTITA/BARITA	BAUXITA / ALUMINA CALCINADA
MERCADO DIRECTO	Fabricante de envases de vidrio	Fabricante de sanitarios y pisos	Fabricante de pigmentos TiO ₂	Fabricante de carbonatos de estroncio y bario	Fabricante de ladrillos refractarios
MERCADO INTERMEDIO	----- ----	----- ----	Fabricante de pinturas	Fabricante de CRT's (cinescopios)	Siderurgia de acero
MERCADO FINAL	Alimentos y Bebidas	Construcción de Casas Habitación	Construcción, Automóviles, Barcos	Electrónica TV's	Construcción, Automóviles, Barcos

Tabla 6. Ejemplos de la Cadena de Suministro Mineral - Mercado Final de los minerales arena de sílice, feldespato, ilmenita/rutilo, celestita/barita y bauxita/ alumina calcinada.

La ruta del suministro mineral a los mercados finales constituye lo que aquí se postula como la Cadena de Valor de los Minerales Industriales la cual inicia y termina en los mercados.

El conocimiento geológico aunado al conocimiento de la oferta y la demanda de los mercados locales, regionales o globales constituye el disparador que hace que la ocurrencia de yacimientos minerales industriales en cualquier país sea un área de oportunidad para el desarrollo de su industria. Su contribución económica al crecimiento del PIB de los países es más permanente y estable y menos sujeta a fluctuaciones en la demanda y precios de mercado. Además, el desarrollo de nuevos materiales, plásticos, pintura, papel, textiles y productos farmacéuticos que utilizan nanominerales o nanopulvos como substitutos de los *fillers* tradicionales vaticinan un futuro promisorio para algunos minerales industriales como las zeolitas, arcillas tubulares como la haloisita, pigmentos de oxido de titanio, etc.

En la Cadena de Valor de los Minerales Industriales se pueden identificar 4 grandes componentes que integran diversos procesos para llevar dichos minerales a los mercados de una manera sustentable en el largo plazo (Fig. 1). Dentro de cada componente de la cadena de valor existen procesos que deben llevarse a cabo algunas veces en secuencia rigurosa y otros que se pueden realizar simultáneamente. El desarrollo de un yacimiento desde cero (*green field project*), es tal vez la decisión de negocios más difícil de hacer. Por tal razón, muchas compañías internacionales de Minerales Industriales se dedican a hacer adquisiciones, previo *due diligence*, de compañías en operación que tengan el control de buenos yacimientos y mercados, bajo la premisa que en los procesos productivos todo es mejorable y sujeto a eficientización.

CADENA DE VALOR DE LOS MINERALES INDUSTRIALES

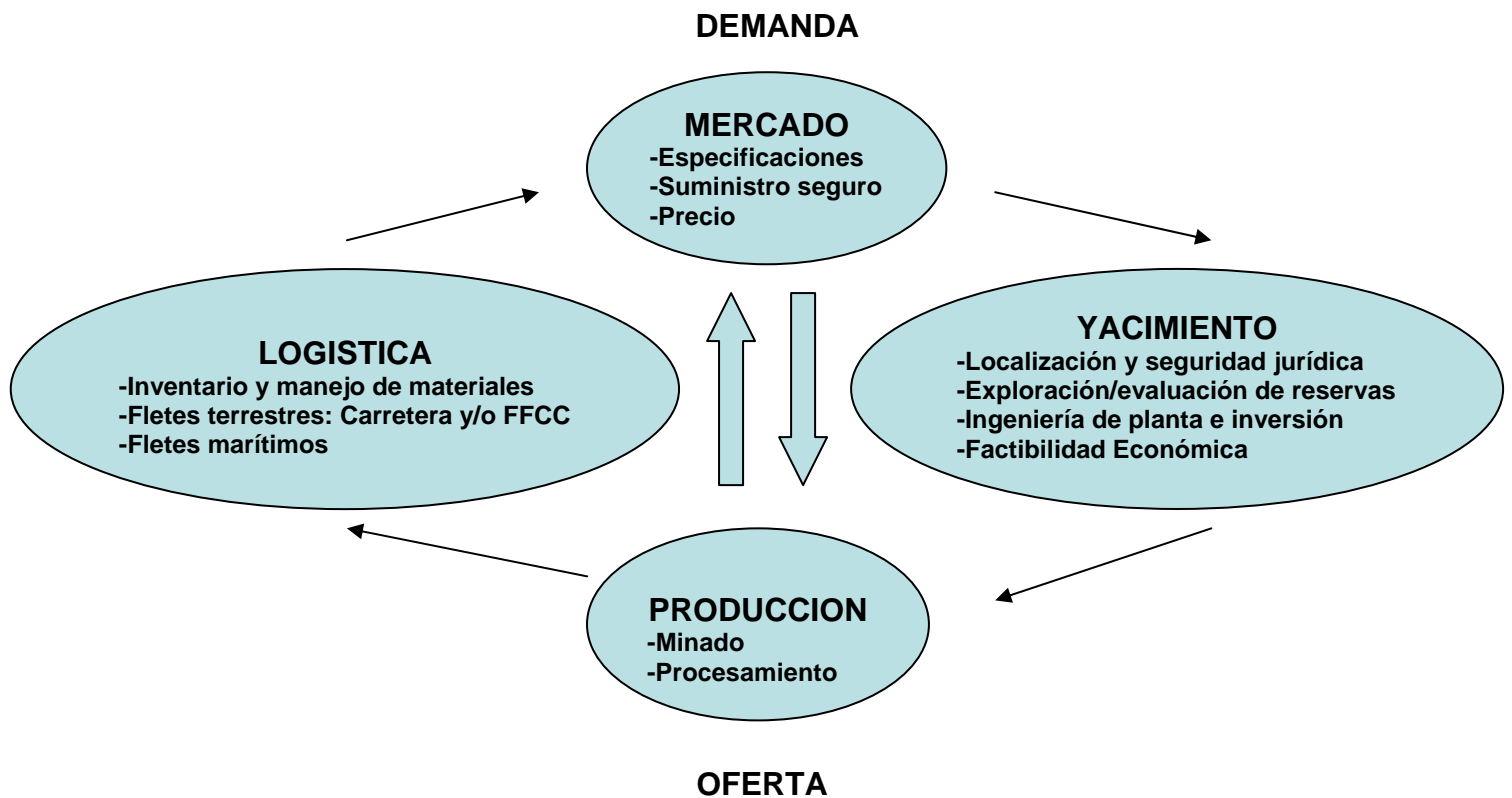


Figura 1. Cadena de valor de los Minerales Industriales y subprocesos.

5.1 Yacimiento, Evaluación y Factibilidad Económica

El disparador para la búsqueda (exploración geológica) de nuevos yacimientos de Minerales Industriales obedece a las tendencias de la oferta y la demanda. A continuación se describe la ruta de los procesos evaluativos para desarrollar un yacimiento hasta consolidarlo como un negocio de minerales industriales con una participación en el mercado para su sustentabilidad. En el inicio del desarrollo de estos procesos evaluativos el factor tiempo es determinante para hacer un proyecto exitoso y que el geólogo encargado del proyecto tenga conocimientos sólidos en mineralogía y geoquímica de minerales formadores de rocas y procesos de minerales para decidir cuando un prospecto o yacimiento tiene potencial económico para desarrollarlo.

5.1.1 Localización y Seguridad Jurídica

La primera actividad es la localización del prospecto y negociación con el propietario de la tierra. Esta actividad es clave, por lo que se recomienda primeramente negociar una opción de compra-venta con al menos un periodo de 1 año para hacer la evaluación del yacimiento y perfeccionar la opción al termino del periodo concedido; simultáneamente, sea concesible o no concesible el mineral objetivo, es recomendable hacer el respectivo denuncia minero. Como alternativa, queda el de negociar un contrato de regalías por el volumen de mineral extraído o simplemente una renta fija con revisiones anuales por inflación. Estos últimos contratos deben tener una duración al menos de 20 años, ya que ningún proyecto de desarrollo de minerales industriales tendrá viabilidad para considerar una inversión en un periodo menor. Sin esta actividad ningún proyecto de desarrollo debe seguir adelante.

5.1.2 Exploración y Evaluación del Yacimiento

Una vez teniendo documentada la seguridad jurídica del punto anterior, se procede a realizar la evaluación geológica con perforación de diamante y circulación inversa para rocas y circulación inversa o “*auger*” para sedimentos sueltos o arcillas. El espaciamiento puede llegar a ser tan cerrado como 25 metros para el caso de minerales de alta variabilidad en composición como es el caso de las arcillas (*ball clays*). Cualquiera de estos métodos de perforación requiere de > 90 % de recuperación de núcleo. Las muestras por lo regular se dividen en intervalos de 3 metros o cuando ocurra un cambio litológico o mineralógico.

La caracterización mineralógica detallada del yacimiento para determinar que tipo de análisis serán practicados a las muestras y el diseño de pruebas de beneficio son tan importantes como la actividad del primer inciso. El tamaño de las muestras debe ser tal, que represente al yacimiento y que el diseño de las pruebas del proceso de beneficio para obtener los productos minerales dentro de las especificaciones que requieren los mercados sea escalable a tamaño industrial. Parámetros como recuperación, que en algunos casos llega a ser entre 30 a 35% del mineral crudo, relación encape-mineral, contenido de arcilla y otros contaminantes, composición química, distribución granulométrica en sedimentos, etc. son los que típicamente se miden.

La información de los resultados de las muestras de los núcleos de perforación se organiza en bancos de datos para ser analizados por métodos geoestadísticos para tener una visión en 3D de la calidad del yacimiento, calcular y jerarquizar reservas en toneladas por su calidad y realizar el plan de minado correspondiente y determinar el método de minado para su explotación.

5.1.3 Ingeniería de planta e inversión

La ingeniería de la planta de proceso y empaque es otro de los subprocesos más importantes en este componente de la cadena de valor, ya que la inversión en equipo, su instalación y puesta en marcha constituye la parte medular de la inversión del proyecto.

5.1.4 Factibilidad Económica

El estudio de factibilidad económica es finalmente el proceso evaluativo que determina el retorno de la inversión en un periodo de tiempo. Este proceso requiere un plan de negocios que incluya el plan de ventas expresado por productos y por clientes en cantidad y valor, estimando el cambio anual por volumen y precio, determinación del costo unitario de producción para cada uno de los productos, así como los gastos de administración y venta, la depreciación de las instalaciones y equipos, tasa de financiamiento, tasas impositivas de impuestos e inflación estimada para el periodo y un plan de inversión para mantener la capacidad de producción de diseño. El plan de negocios por lo regular se proyecta a 10 años para calcular la tasa de retorno de la inversión y su *pay-back* en el tiempo. La revisión y el seguimiento del plan de negocios mes a mes son necesarios para aplicar las medidas correctivas necesarias al cumplimiento de lo planeado.

5.2 Producción

El costo de producción de cualquier Mineral Industrial es determinante para su posicionamiento competitivo en los mercados. El proceso de producción se compone de 2 grandes subprocesos: minado y procesamiento.

5.2.1 Minado

La practica mas común en la minería de Minerales Industriales es considerar como costo total de minado todos los procesos desde la extracción hasta el almacén de inventario de alimentación a la planta de beneficio lo cual incluye algunos procesos de beneficio primarios de reducción de tamaño, *scalping*, eliminación de arcilla y acarreo o conducción hidráulica en el caso de que la planta no este a pie de mina. Los costos de minado de mas bajo costo son los de minado por solución como es el caso de la explotación de salmueras de magnesio, sodio, yodo, bromo, potasio y litio. Por otro lado, los costos de minado de más alto costo son los del tipo subterráneo. Entre estos dos extremos, existen los métodos de minado a cielo abierto, los cuales pueden ser de 2 tipos, hidráulico y en seco. A continuación se describen de menor a mayor costo.

El caso del minado hidráulico a cielo abierto se aplica para los yacimientos de sedimentos (eg. arenas de sílice) en zonas donde el nivel freático es muy somero. Los equipos indicados para este tipo de yacimientos son dragas-bombas con cortador de cangilones o bien si se tienen pozos para el abatimiento del nivel freático se utilizan monitores de chorro de agua a alta presión y bombeo para la conducción hidráulica por tubería a la planta de lavado y clasificación. Este tipo de yacimientos no requiere proceso de reducción de tamaño (molienda), pero si algún proceso de disgregación que elimine el exceso de arcilla del mineral.

El minado a cielo abierto en seco puede ser de dos tipos: sin explosivos y con explosivos.

En los casos de sedimentos (eg. arenas de sílice) y/o rocas suaves deleznable (eg. tobas feldespáticas) el método de minado en seco sin explosivos utiliza equipo pesado de excavación y acarreo y se almacena a un inventario de alimentación a la planta de proceso. Por lo regular, este tipo de yacimientos requieren de un primer paso de proceso que ayude a la disgregación o liberación (eg. *scrubber*, molienda autógena) de los granos de mineral a beneficiar y sus contaminantes.

La variante del caso anterior para cuando el yacimiento esta constituido por rocas duras o cementadas se hace necesario el uso de explosivos para su tumba, carga y acarreo a una planta de trituración primaria y secundaria y clasificación por medio de cribas vibratorias, para construir el almacén de inventario de alimentación a la planta de beneficio. En el caso de las canteras de agregados para concreto o calizas para fabricación de cemento o cal viva, el proceso de producción termina en la clasificación de los productos triturados.

Finalmente como una generalización, en este apartado cabe hacer mención que actualmente en México los Minerales Industriales que se extraen por el método de minado subterráneo son: la barita del área de Galeana, NL y Muzquis, Coahuila, el grafito de Sonora, la celestita de Coahuila, y la fluorita se San Luís Potosí y Coahuila. En cuanto a minado por solución los ejemplos en México son la producción de sulfato de sodio y magnesio de Química del Rey en Coahuila, y la de carbonato de sodio sintético de Industrias del Alkali en Nuevo León. La producción de yeso, arena de sílice, feldespato, wollastonita, dolomita, caliza, calcita y diatomita en México utiliza el método de minado a cielo abierto.

5.2.2 Procesamiento

Como regla general, los yacimientos de mayor calidad química y concentración requieren de menos procesamiento, y por tanto de menor costo de producción, generando como consecuencia que sean más robustos y competitivos en los mercados, tanto por precio como por calidad. También el mineral industrial con menor costo de producción tiene la ventaja de "viajar" a mercados más distantes, ya que los costos de transporte son proporcionales a la distancia.

La parte medular de la cadena de valor es el procesamiento de minerales y sus costos de producción, ya que factores de encape, recuperación y pureza relativa del

mineral *in situ* pueden ser determinantes para que el mineral sea o no competitivo en los mercados.

Por mucho los procesos geológicos, como el intemperismo (*cf.* lixiviación y solución), la erosión (*cf.* molienda y disgregación), el acarreo de sedimentos por las corrientes fluviales (*cf.* lavado y clasificación), y la acumulación de sedimentos en cuencas sedimentarias (*cf.* presas de jales), constituyen los mejores procesos de "beneficio" para la formación de yacimientos sedimentarios de minerales como los de arena de sílice, arcillas, arenas de minerales pesados, evaporitas, etc.

Se puede generalizar que la mayoría de los procesos de beneficio que se conocen hoy en día fueron concebidos para la concentración de los minerales metálicos. Para el caso de los Minerales Industriales el objetivo de estos procesos de beneficio es el de eliminar impurezas como minerales ferrómagnesianos, metálicos, refractarios y arcillas para incrementar la pureza de la mena del mineral industrial y maximizar las propiedades físico-químicas o funcionalidad que se deseen imprimir a los productos finales, tales como no-reactividad química, blancura, brillantez, gravedad específica, área específica superficial, dureza, resistencia mecánica, fundencia, incombustibilidad, aislante al calor, impermeabilidad, absorbencia, adsorbencia, etc. De manera general se propone que los procesos de minerales sean agrupados de acuerdo a los productos que se obtienen (Tabla 7):

1. Los Procesos Primarios son los de reducción de tamaño hasta 3 mm (trituration primaria- secundaria) y clasificación con cribas vibratorias para la producción de productos de 1era. Generación que se utilizan directamente en algún mercado como es el caso de los agregados para construcción o van al inventario de almacén para alimentar una planta de proceso y/o de calcinación.
2. Los Procesos Secundarios son los que propiamente "*manufacturan*" los minerales industriales y producen lo que aquí llamamos productos de 2nda. Generación los cuales tienen una distribución granulométrica y composición química controlada. Estos productos por lo regular se demandan como productos en forma de arena (partículas < 800 micrones), libres de contaminantes y secos. Los procesos de molienda y clasificación por lo regular se hacen en húmedo e incluyen procesos de lavado y atrición para la separación de arcillas y materiales finos (- 75 micrones) contaminantes. Los procesos de eliminación de contaminantes y concentración, llegando a alcanzar purezas de 99.3 a 99.9 %, son de dos tipos los que usan reactivos y agua como la flotación y tratamiento ácido (lixiviación) o los que no usan ningún tipo de reactivo como la separación gravimétrica en húmedo por medio de mesas concentradoras, conos y espirales, o bien procesos en seco de separación magnética de alta intensidad y separación electrostática. Los productos de 2nda. Generación o bien son usados directamente como materias primas por las industrias como la del vidrio, fundición, abrasivos, etc. o van al almacén de inventario para alimentar plantas de molienda fina y micronización, plantas de manufactura de minerales sintéticos y/o plantas para la manufactura de diversos compuestos químicos.
3. Los Procesos Terciarios de molienda fina, micronización y clasificación con aire son por mucho los procesos que agregan más valor a los minerales industriales y producen lo que aquí llamamos minerales de 3era. Generación. El valor de estos minerales se incrementa en tanto se disminuye el tamaño de partícula. Como ejemplo valga citar la industria de la cerámica donde los productos -200 mallas (< 75 micrones) y -325 mallas (< 45 micrones) de sílice y feldespato se comercializan de 2.0 a 2.5 veces el precio de los mismos productos minerales de 2nda. Generación. En las industrias de la pintura, plástico y papel que utilizan cargas minerales (*fillers*) como sílice, feldespato, barita, sienita nefelinica, caolín, calcita, talco, wollastonita, etc. con tamaños medios de partícula menores a 10 micrones y blancuras

por arriba de 95%, el valor de comercialización es de 2.5 a 4 veces el precio de los mismos productos minerales de 2da. Generación.

Los procesos de calcinación, fusión y químicos aunque no son considerados propiamente dentro de los procesos de minerales, se incluyen aquí porque a partir de minerales naturales de 1era o 2da generación se producen minerales industriales sintéticos o compuestos químicos básicos para la industria de muy alto valor.

	Procesos primarios	Procesos secundarios	Procesos terciarios	Procesos con calor
PRODUCTOS	1era. Generación	2da. Generación	3era. Generación	Sintéticos
PROCESOS MINERALES	Procesos secos -Trituración primaria -Trituración secundaria -Cribado Procesos Pre-lavado -Scrubbing -Scalping (cribado)	Procesos húmedos -Molienda -Atrición -Lavado -Cicloneo -Clasificación <i>-separador hidráulico</i> <i>-cribado</i> -Flotación -Tratamiento ácido -Separación Gravimétrica <i>-espirales</i> <i>-mesas concentradoras</i> Procesos secos -Separación magnética -Separación electrostática -Secado -Colección de polvos	Procesos secos -Molienda fina en molinos verticales tipo <i>Raymond</i> para minerales suaves (Mohs <5) -Molienda fina en y con medio cerámico (Mohs >6) -Clasificación con aire -Colección de polvos	-Calcinación -Fusión
PRODUCTOS COMERCIALES	Productos -3" -Agregados para concreto -Agregados para cal y cemento -Minerales prelavados para procesos secundarios -Minerales seleccionados Para molienda fina (yeso, talco, barita, celestita, calcita).	Productos granulares <850 µ -Arena sílica -Feldespatos -Sienita nefelinica -Olivino -Arenas de zircon -Arenas titaníferas -Wollastonita	Productos molidos -75 µ y micronizados -Barita -Bentonita -Calcita -Caolín -Diatomita -Feldespatos -Sienita nefelinica -Sílice -Talco -Wollastonita -Zircon	Productos Sintéticos -Cal -Cemento -Mulita -Magnesia -Periclasa -Metacaolín -Carburo de silicio -Espinela -Grafito -Alumina calcinada -Cristobalita

Tabla 7. Relación entre Procesos Minerales y Productos Minerales que se obtienen

Finalmente, es necesario mencionar que los desarrollos más recientes en la tecnología de proceso de minerales están enfocados a la producción de nanominerales ó minerales moleculares; esto es, minerales con tamaños de partícula menor a 100 nanómetros para mejorar la funcionalidad de productos de plástico, pinturas, insecticidas y textiles, en cuanto a resistencia mecánica, dispersión, ductilidad, resistencia a al calor, abrasión, corrosión, impacto, etc. En la actualidad, estos procesos de producción para lo que serian los minerales de 4ta

generación o nanominerales están siendo desarrollados, patentados y/o manejados como secreto industrial.

5.3 Logística

Los compradores de minerales, sean comercializadores o directamente mercados de consumo, siempre se esfuerzan en conseguir la mejor opción en precio, minerales de alta calidad, proveedores alternos y/o minerales sustitutos aunado a un sistema eficiente de logística. Por lo tanto, el costo de los procesos de comercialización y distribución de los Minerales Industriales, así como su calidad y suministro, son un factor clave para su competitividad en los mercados.

La mayoría de los mercados exigen que el productor o suministrador de Minerales Industriales tenga inventarios y capacidad de planta de al menos de 10 días venta de producto terminado y 20 días venta de producto en proceso.

La coordinación de despachos a los clientes se hace bajo una programación del productor y el transportista, FFCC o camión, para entregar directamente al mercado consumidor. Aparte de la coordinación del transporte en fechas y cantidades, es necesario conocer el calendario y horarios de operación de los almacenes de recepción del cliente consumidor y tener homologadas las básculas en ambos extremos de la cadena de suministro.

En el caso de minerales a granel (> 10,000 tons.) que se exportan vía marítima la coordinación es más compleja, ya que como parte del costo del flete marítimo se conceden 72 horas para realizar la carga y documentación de la exportación.

Generalmente, estas operaciones se hacen bajo la modalidad de facturación CIF (*cost, insurance and freight*), esto es el precio del mineral en puerto de destino incluye precio *exworks* del mineral, costo de flete terrestre a puerto de embarque, costo de almacenaje y maniobras de carga en puerto de embarque, gastos aduanales y el costo y seguro del flete marítimo. Una vez que el barco haya atracado en el puerto de destino la responsabilidad de la carga pasa a ser del comprador, el cual tendrá que hacer la descarga y transportación del mineral a su planta en un máximo de 72 horas.

Cualquier retraso en estas operaciones, sea por cuestiones operativas o simplemente por mal tiempo tienen un costo adicional que puede provocar considerables pérdidas económicas, para el proveedor, el cliente o ambos.

Estas operaciones requieren la coordinación y negociación con diversas compañías y agencias que fungen como intermediarias entre el proveedor y el cliente comprador:

- Compañía de transporte para flete terrestre planta productora-puerto.
- La Administración del Puerto para el almacenaje del mineral previo el arribo del barco y el equipo instalado para la carga del barco.
- El Personal de Alijadores para la maniobra de carga.
- La Agencia Naviera para la contratación del flete marítimo.
- La Agencia Aduanal para la documentación de la carga
- Agente Certificador o *Surveyor* para la certificación del peso de la carga y su calidad

6. SUSTENTABILIDAD DE LA CADENA DE VALOR

La sustentabilidad económica, ganar dinero, de cualquier negocio es la condición básica de su permanencia en los mercados. Actualmente, aparte de los requerimientos básicos de especificaciones, logística de distribución y precio competitivo, los mercados exigen a sus proveedores de minerales industriales que sus operaciones sean sustentables ambientalmente en el largo plazo para asegurar un suministro de materias primas confiable. El crecimiento económico futuro de los países tendrá que eficientar el uso de los minerales y su reciclaje.

En la actualidad, especialmente para la industria de la minería, los temas de sustentabilidad ambiental y seguridad industrial en los ambientes de trabajo son de gran importancia para su desarrollo, tanto para los mercados como para los mismos productores de minerales.

6.1 Recuperación de Áreas Minadas

La mayoría de las minas de Minerales Industriales son a tajo abierto; consecuentemente las operaciones de extracción y los tajos abandonados, especialmente cuando se encuentran localizadas en las cercanías de un área poblada, deben contar con planes de recuperación y reforestación permanentes para minimizar el impacto visual. Los planes de recuperación y reforestación deben estar integrados a los planes de minado hasta la proyección de tajo final. Es recomendable que durante las campañas de desencape del mineral, la capa de suelo vegetal se almacene en sitios específicos para su reutilización durante las campañas de reforestación, así mismo, se recomienda la creación de un vivero con especies vegetales oriundas de la zona. Estas actividades, además de que impactan favorablemente a los pobladores de la localidad, contribuyen a minimizar los pasivos ambientales de las operaciones mineras al término de sus operaciones.

6.2 Uso y Tratamiento de Agua

La obtención, uso y tratamiento del agua necesaria para los procesos de benéfico requiere de la construcción de presas de jales o aprovechamiento de tajos minados como lagunas de sedimentación, junto con equipos de sedimentación y clarificación son necesarias para minimizar el consumo de agua a través de su recirculación. En el caso de descargas, previo tratamiento, a cauces federales (ríos y arroyos) se requiere de un monitoreo permanente para asegurar que las aguas descargadas cumplan con las condiciones particulares impuestas por la norma de la Comisión Nacional del Agua.

6.3 Manejo de Materiales y Residuos Peligrosos

El manejo y almacenamiento de combustibles, lubricantes, reactivos y ácidos deberá cumplir con las normas establecidas de seguridad para conservar su integridad y evitar derrames que contaminen el suelo y la integridad física de los trabajadores y comunidades vecinas. Así mismo, el manejo y control de residuos peligrosos como aceites, reactivos, solventes, trapos y estopas con grasas y aceites y sacos o supersacos impregnados con residuos minerales molidos (polvos) deberán manejarse bajo las normas ambientales establecidas que aseguren una disposición final segura. El manejo de estos residuos, se exige por ley, sean manejados a través de compañías autorizadas para tal fin por la SEMARNAT.

6.4 Emisiones de Gases y Partículas a la Atmósfera

Para el caso de las emisiones a la atmósfera, se tienen las fuentes fijas como son las chimeneas de secadores o calcinadores, donde las instalaciones deberán contar con colectores de polvo y lavadores de gases para evitar la emisión de partículas de polvo o gases nocivos a la atmósfera (SO_x y NO_x) y cumplir con la norma ambiental.

6.5 Polvos Respirables

Las normas para la emisión de polvos respirables (< 10 micrones) en los ambientes de trabajo, principalmente en las áreas de proceso de secado, molienda fina en seco, ensacado y embarques, revisten de especial importancia por sus implicaciones en la salud de los trabajadores. De acuerdo a las regulaciones de la "*Occupational Safety and Health Administration*" de los Estados Unidos, cualquier mineral que contenga al menos 0.1% de sílice cristalina libre requiere una advertencia de salud de que el producto es probablemente cancerígeno. El caso extremo es para la producción de arena de sílice donde se considera que el material es 100% sílice, y el límite de exposición permisible (PEL) para un trabajador durante un turno de 8 horas es de 0.1 mg/m³, esto significa controlar que la concentración en el aire no exceda esa concentración en los ambientes de trabajo de manera consistente durante las horas de operación. Por lo tanto, la ingeniería de diseño de los circuitos de secado y molienda fina deben incluir el mayor encapsulamiento de los puntos de transferencia de los materiales y un diseño apropiado de colección de polvos para minimizar el riesgo a la salud de los operadores de planta.

6.6 Procesos Verdes

En la actualidad, la tecnología de separación magnética de alta intensidad, en húmedo y en seco, se ha desarrollado a tal nivel que puede sustituir algunos tipos de flotación para la eliminación y limpieza de impurezas contaminantes de minerales magnéticos y paramagnéticos. Los procesos de separación magnética han demostrado ser igual o más eficientes en la limpieza de los minerales industriales con la consecuente eliminación del uso de agua limpia, reactivos y manejo de efluentes. A este tipo de tecnologías de proceso de minerales se les denomina "*procesos de beneficio verdes*". En esta categoría también se tienen los procesos de separación gravimétrica (espirales, mesas concentradoras, conos) para la separación de minerales pesados tales como zircón, magnetita, ilmenita, rutilo, etc. Así mismo, procesos de lixiviación con ácido sulfúrico en caliente (TAS-tratamiento ácido sulfúrico-) para eliminar películas superficiales de oxidación en algunos minerales industriales, como la sílice, pueden ser substituidos por procesos de "atrición abrasiva" a muy alto porcentaje de sólidos (hasta 90%), que son muy intensivos en energía, alcanzando a eliminar la película de oxidación por abrasión, sin utilizar ácido en su proceso. La operación de un proceso de lixiviación, produce efluentes de pH muy bajo (< 2) que requieren de confinamiento y neutralización con lechada de cal en presas enlainadas.

6.7 Reducción de Emisiones de CO₂

En la última década se ha demostrado la relación directa que existe entre las emisiones de CO₂ a la atmósfera y el calentamiento global. La industria minera, como cualquier otra industria o actividad que consume hidrocarburos y electricidad, contribuye a la emisión de CO₂ a la atmósfera. Por lo tanto, los productores de minerales industriales deben contar con un plan de ahorro de energéticos que identifique las áreas de oportunidad en sus procesos para la

reducción del consumo de energía y en consecuencia la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La eficientización de los circuitos de lavado, secado y molienda fina debe ser revisada continuamente para evitar redundancias en los procesos que utilizan electricidad. La parte básica de la eficientización es utilizar los circuitos a su capacidad de diseño, y en el mejor de los casos aumentar la capacidad de producción por arriba de la capacidad de diseño. El monitoreo de la eficientización o reducción se mide en Kwh. por tonelada producida. Se estima que por cada Kwh. de electricidad generado con carbón se emite a la atmósfera 1 Kg. de CO₂ (CDIAC).

Reducir el consumo por tonelada de los combustibles en los procesos de secado de los minerales industriales es otra gran área de oportunidad para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. La reducción de 100,000 BTU's (generado con gas natural) por tonelada secada significan 17.6 Kg. de CO₂ menos que se emiten a la atmósfera.

A este respecto cabe mencionar que la mayoría de los mercados o industrias consumidoras de minerales industriales piden que les sean suministrados secos, básicamente para no pagar el flete falso de la humedad y porque el diseño de sus circuitos de manejo y almacenamiento han sido diseñados para el manejo de minerales secos. Como ejemplo se puede señalar a la industria del vidrio que consume 2.0 MM de toneladas al año en México podría consumir la arena de sílice con un 5 % de humedad; esto significaría aparte de un ahorro significativo en los costos de producción, menor inversión en activo fijo y la no-emisión de 176,000 toneladas anuales de CO₂ a la atmósfera. El costo-beneficio de estas reducciones habría que compararlo contra el aumento de las emisiones generadas por el transporte adicional de 5 % en peso del agua.

El caso del cemento y la cal es todavía mas extremo porque aparte del alto consumo energético para su producción (aprox. 8 MM de BTU's / ton) generan emisiones de 1.4 toneladas de CO₂ por tonelada producida, habría que agregar que el 44% en peso de la caliza alimentada a los hornos se pierde como emisión de CO₂ a la atmósfera. Desafortunadamente no podemos prescindir de estos importantes productos para las industrias de la construcción y metalúrgica y su demanda continuara creciendo; la reducción de emisiones de CO₂ forzosamente son a través de la eficientización de los procesos de calcinación o bien a través del desarrollo de nuevos materiales para la construcción ligera.

7. MINERALES INDUSTRIALES EN MÉXICO

7.1 Producción Nacional de Minerales Industriales 2005

El Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2005 del Servicio Geológico Mexicano, edición 2006, reporta que la producción de Minerales Industriales No-metálicos en México, exceptuando la producción de carbón y piedras preciosas y semipreciosas, fue de los 258.5 millones de toneladas y contribuyendo con 29,084 millones de pesos corrientes de 2005; 40.5 % del valor total de la producción Minera de México (Tabla 8).

A través de una revisión de la información se puede generalizar que la producción de Minerales Industriales No-metálicos se puede dividir en 4 grandes grupos de minerales; a través de este agrupamiento se hace notar la importancia económica de los Minerales Industriales en México.

1. Minerales de Volumen Muy Alto: > 40.0 MM de toneladas
2. Minerales de Volumen Alto: > 1.0 MM < 10.0 MM de toneladas
3. Minerales de Volumen Medio: > 100 M < 1.0 MM de toneladas
4. Minerales de Volumen Bajo: > 10 M < 100 MM de toneladas

Nota: MM=1, 000,000; M=1,000

GRUPO	MINERAL	VOLUMEN	% Participacion	VALOR MM	% Participacion
VOLUMEN MUY ALTO	GRAVA Y ARENA	128,125,696	49.57%	9,150.1	31.46%
	CALIZA	57,568,436	22.27%	3,046.2	10.47%
	ARCILLAS	41,190,216	15.94%	3,382.0	11.63%
	Subtotal Participacion		87.78%	15,578.3	53.56%
VOLUMEN ALTO	SAL	9,507,623	3.68%	1,190.9	4.09%
	YESO	6,251,968	2.42%	518.3	1.78%
	CALCITA	3,712,097	1.44%	1,179.6	4.06%
	MARMOL	3,595,970	1.39%	5,484.1	18.86%
	SILICE	2,120,878	0.82%	856.9	2.95%
	DOLOMITA	1,308,977	0.51%	103.7	0.36%
	AZUFRE	1,019,757	0.39%	399.8	1.37%
	Subtotal Participacion		10.65%	9,733.3	33.47%
VOLUMEN MEDIO	CAOLIN	877,147	0.34%	891.5	3.07%
	FLUORITA	875,450	0.34%	866.7	2.98%
	SULFATO DE SODIO	607,000	0.23%	557.6	1.92%
	BENTONITA	425,629	0.16%	165.4	0.57%
	FELDESPATO	373,411	0.14%	141.9	0.49%
	BARITA	268,657	0.10%	356.6	1.23%
	VERMICULITA	140,275	0.05%	289.3	0.99%
	CELESTITA	110,833	0.04%	60.2	0.21%
	TIERRAS FULLER	107,265	0.04%	78.5	0.27%
Subtotal Participacion		1.46%	3,407.6	11.72%	
VOLUMEN BAJO	PERLITA	91,723	0.04%	61.4	0.21%
	TALCO	64,826	0.03%	47.5	0.16%
	DIATOMITA	62,132	0.02%	141.0	0.48%
	SULFATO DE MAGNESIO	27,900	0.01%	30.6	0.11%
	WOLLASTONITA	27,132	0.01%	69.3	0.24%
	GRAFITO	12,357	0.005%	15.1	0.05%
	FOSFORITA	350	0.00%	0.1	0.00%
	MICA	120	0.00%	0.1	0.00%
Subtotal Participacion		0.11%	365.1	1.26%	
TOTAL		258,473,825	100.00%	29,084.2	100.00%

Tabla 8. Producción de Minerales Industriales durante 2005 en México. Volumen expresado en toneladas; valor MM en millones de pesos corrientes. SGM, 2006.

El grupo de los minerales de Muy Alto Volumen se comercializan a precio bajo por tonelada, *i.e.* > \$50.00 < \$82.00, pero su valor total es comparable con el valor de 14,970 MM de pesos de la producción de cobre en 2005.

El valor de la producción del grupo de Alto Volumen, donde el mármol contribuye con 56%, es comparable con el valor de la producción conjunta de oro y plata que ascendió a 10,809 MM de pesos durante el 2005.

El valor de los minerales del grupo de volumen medio, donde el caolín y la fluorita contribuyen con el 52% de este grupo, es comparable con el valor de la producción de molibdeno que contribuyo con 3,178 MM de pesos a la producción nacional.

Dentro del grupo de minerales de volumen bajo la vermiculita y la wollastonita contribuyen con 58% del valor total del grupo; principalmente debido a que son minerales que se comercializan con el más alto precio (> \$ 2,000.00 por tonelada) de todos los minerales industriales producidos en México.

7.2 Exportaciones de Minerales Industriales 2005

En 2005, las exportaciones de minerales industriales de México fueron de 19.8 MM de toneladas con un valor de 309.1 MM de dólares, esto 7.7% de la producción total de No-metálicos en volumen y 11% de la producción total en valor, respectivamente (Tabla 9).

MINERAL	VOLUMEN EN TONS	VALOR EN USD
SAL	7,353,535	88,507,989
FLUORITA	594,471	54,291,105
ARENA Y GRAVA	9,077,390	43,264,522
CELESTITA	80,417	28,653,020
AZUFRE	458,795	19,403,717
YESO	1,460,797	15,367,913
COMPUESTOS DE Mg	8,316	11,121,415
TIERRAS FÜLLER	22,708	8,475,111
CALCITA	82,852	8,034,557
SILICE	562,194	7,411,265
DIATOMITA	17,033	7,160,669
BENTONITA	29,311	4,389,751
VERMICULITA	4,717	3,944,642
CALIZA	29,014	3,085,015
GRAFITO	16,170	2,627,550
POMEZ	10,928	1,548,873
BARITA	11,230	1,260,125
FELDESPATO	7,833	616,445
TOTAL	19,827,711	309,145,684

Tabla 9. Exportaciones de Minerales Industriales No-Metálicos durante 2005 en México (SGM, 2006)

Por su contribución en divisas al país destacan las exportaciones de sal, fluorita, arena y grava, celestita, azufre y yeso. Así mismo, la celestita participa en la producción mundial con un 22.7%, la fluorita con un 16.8%, el yeso con un 5.8%, la sal con un 4.5% y la diatomita con un 3.2%.

7.3 Importaciones de minerales Industriales 2005

Por otro lado, las importaciones en 2005 ascendieron en volumen a 3.48 MM de toneladas y 373.75 MM de dólares en valor (Tabla 10). En comparación con las exportaciones, la tabla resumen de las importaciones indican un escenario de bajo volumen con alto precio, contrario al de las exportaciones de alto volumen-bajo precio.

De los minerales importados listados, existen solo 7 que no se producen en México, de los 20 restantes existe producción en México y probablemente fueron

importados porque los productos nacionales no cumplen con las especificaciones que requieren los mercados.

MINERAL	VOLUMEN EN TONS	VALOR EN USD
ROCA FOSFÓRICA ¹	976,313	52,422,596
CAOLÍN	423,865	52,059,246
MINERALES DE MAGNESIO	57,169	41,851,075
SÍLICE	849,831	37,214,427
MANGANSO	248,510	35,340,492
VERMICULITA	36,630	25,270,390
ZIRCÓN ¹	23,954	19,561,642
BORATOS ¹	35,265	17,681,070
BARITA	210,916	15,716,418
TALCO	115,866	11,997,525
SAL	136,783	11,104,114
SIENITA NEFELINICA ¹	117,549	7,096,200
ASBESTO ¹	14,285	6,688,745
BENTONITA	22,741	6,113,619
CALCITA	13,387	4,874,339
YESO	43,165	4,551,781
CROMITA ¹	11,489	4,150,536
PÓMEZ	33,809	3,718,955
TIERRAS FÜLLER	9,563	2,571,814
GRANATE ¹	4,540	2,431,725
FLUORITA	14,380	2,302,224
DOLOMITA	28,935	2,291,223
GRAFITO	3,656	2,066,074
CALIZA	14,422	2,043,505
MICA	2,306	1,146,155
AZUFRE	24,538	1,064,760
ARENA Y GRAVA	10,382	419,904
TOTAL	3,483,979	373,750,554

Tabla 10. Importaciones de Minerales Industriales No-Metálicos durante 2005 en México (SGM, 2006).

¹ Minerales que no se producen actualmente en México

7.4 OPORTUNIDADES

La producción de Minerales Industriales en México en términos de valor, indica que el 54% esta concentrado en grava-arena, arcillas, caliza y dolomita, son considerados como productos de 1era. Generación de muy alto volumen y precio bajo.

Las oportunidades en la grava-arena y agregados triturados para la construcción, se reducen a ser producidas en localidades cercanas a las ciudades o nuevas áreas de desarrollo (e.g. Puerto Peñasco, Son.). La caliza para la producción de cemento y cal esta controlada para autoconsumo por las mismas compañías cementeras y caleras, por lo que las oportunidades son escasas; lo mismo ocurre con la dolomita que consume la industria siderúrgica y en menor proporción la industria del vidrio plano. En cuanto a las arcillas las oportunidades son encontrar y desarrollar yacimientos de arcillas caoliniticas plásticas (*ball clays*) que su color al quemado sea claro a blanco; los grandes productores de sanitarios en México consumen estas arcillas de importación. Los productores de pisos y recubrimientos cerámicos son los usuarios de las arcillas nacionales de precio bajo (<\$60.00 por ton) porque su color al quemado es rojizo en el mejor de los casos.

El mármol como roca dimensionable y la calcita molida forman el 23% del valor de la producción nacional de No-metalicos. La oportunidad para el mármol esta en los colores y la reducción de costos de producción para competir con los pisos y recubrimientos cerámicos de alto precio (e.g. porcelanatos). En cuanto a la calcita las oportunidades están en encontrar yacimientos que se puedan explotar a cielo abierto (bajo costo de extracción), alto contenido de CaCO₃ >98%, alta blancura >

96% y equipo de proceso para su micronización. Actualmente los productores líderes de carbonato de calcio micronizado para competir con el carbonato de calcio precipitado, utilizan calizas marmorizadas de la Formación el Doctor en Querétaro y Mármol de La Laguna; el resto de los productores lo más fino que producen es - 45 μ .

El 16.5% de la producción nacional esta controlada por una decena de compañías que producen en orden descendente de valor, sal, fluorita, sílice, sulfato de sodio, yeso, barita, feldespato, diatomita, wollastonita, celestita y sulfato de magnesio. Las oportunidades en este grupo están limitadas al hallazgo de nuevos yacimientos mejores que los existentes en producción. Actualmente, la importación de sílice y barita indican que la demanda ha excedido la oferta de estos minerales en el país, probablemente representa la única área de oportunidad en este grupo de minerales; se asume que la demanda se les adelanta a su plan de ampliación de capacidad de producción.

El caolín y el azufre aportan en valor el 4.4% y la vermiculita, bentonita, tierras fúller, perlita, talco, grafito y mica forman 2.1% restante del valor total de la producción nacional. En cuanto al caolín, además de la producción nacional la industria cerámica de los sanitarios importa más de 400,000 toneladas por año, este mineral es el segundo en importancia en valor de las importaciones. A excepción del azufre cuya producción mayormente depende de la refinación de petróleo, las oportunidades de desarrollo descansan en la vermiculita, grafito, mica, talco, tierras fúller y perlita los cuales, a excepción de la bentonita, se caracterizan por tener altos precios de comercialización.

Adicionalmente, en las grandes provincias volcánicas del centro y occidente del país, las arcillas de bentonita-esméctita, attapulgita-sepiolita (tierras fúller), zeolitas, perlita, pómez y escoria tienen un gran potencial de desarrollo por demanda creciente de los mercados petrolero, mascotas, tratamiento de agua y abrasivos naturales.

En cuanto a la sustitución de las importaciones de Minerales Industriales en México, éstas se irán haciendo más evidentes en tanto los costos de transporte y manejo se incrementen y la seguridad del suministro disminuya.

El estado de la producción y consumo de los Minerales Industriales en México, muestra que las áreas de oportunidad de crecimiento requieren de una estrategia nacional enfocada a la captura de nuevos mercados y/o clientes domésticos o internacionales a través de la adecuación de los productos actuales y/o el desarrollo de nuevos productos o yacimientos.

En la práctica, el mercado o cliente consumidor siempre busca reducir el costo de producción, aumento de productividad, reducción de defectos en sus productos finales o nuevos minerales sustitutos que le den una ventaja competitiva en sus mercados. Por otro lado, el productor de Minerales Industriales siempre busca hacer más negocio a través de incrementar su participación de mercado o capturar nuevos mercados, desarrollando nuevos yacimientos.

El concepto anterior, constituye la parte medular sobre la cual debe establecerse la estrategia nacional para el crecimiento y desarrollo de los Minerales Industriales en México.

8. CONCLUSIONES

1. Se definen como Minerales Industriales todas las materias primas, sean minerales o rocas, que ocurren naturalmente en la corteza terrestre. La mayoría de ellos son los Minerales No-metálicos, pero también agrupa a ciertos minerales metálicos que son usados por la industria por su valor no-metalúrgico. Se excluyen minerales energéticos como el carbón, que se le considera como un No-metálico. Además, agrupa a diversos Minerales Sintéticos que deben ser manufacturados ya que son escasos en la naturaleza.
2. Los mercados consumidores de Minerales Industriales fabrican una amplia gama de bienes duraderos y no-duraderos de consumo, lo cual permite definir 9 grandes mercados: construcción, metalúrgico, químico, farmacéutico, agropecuario, vidrio y cerámica, ambiental, energético y cargas minerales y pigmentos.
3. Existen 3 condiciones básicas que los mercados exigen a los productores de Minerales Industriales: especificaciones, suministro seguro y precio.
4. Se describe, La Cadena de Valor: de la mina al mercado, como una ruta estratégica a seguir para la integración y/o adecuación de cualquier negocio de Minerales Industriales. La cadena esta formada por 4 grandes componentes: mercado-yacimiento-planta de producción-logística-mercado.
5. La sustentabilidad ambiental de cualquier operación de producción debe contar con planes a largo plazo o permanentes para, la recuperación de las áreas minadas, el uso y recirculación del agua, el manejo de materiales y residuos peligrosos, las emisiones a la atmósfera, aire respirable en los ambientes de trabajo, minimizar el uso de procesos químicos y la reducción de emisiones de dióxido de carbono.
6. El valor de la producción de los Minerales Industriales en México es el 40.5% del valor total de la producción nacional.
7. Los desarrollos futuros de los minerales industriales en México deben enfocarse a la producción de arcillas plásticas que su color al quemado sea claro, la micronización de calcita de alta blancura, desarrollar procesos de beneficio para el mejoramiento de los caolines nacionales. La vermiculita, grafito, mica, talco, tierras füller, perlita, pómez y bentonita son los minerales que presentan el mayor potencial de desarrollo.
8. Como nota adicional y final, se sugiere que en los planes de estudio de las carreras de ingeniero geólogo y/o minero se incluya la especialidad de Minerales Industriales con el enfoque integral propuesto en este trabajo para promover la creación de emprendedores de nuevos negocios que generen riqueza para el país con el conocimiento geológico.

9. REFERENCIAS

Camara Minera de Mexico, "Informe del Grupo de Productores de Minerales No Metalicos", LXIX Asamblea General Ordinaria, Informe Anual 2006. Sitio Web www.camimex.org.mx

CDIAC, "FAQ, How much CO2 is emitted as a result of my using specific electric appliances?", Carbon Dioxide Information Analysis Center, Sitio web <http://cdiac.ornl.gov>

O'Driscoll, M. "The economic importance of industrial minerals", Brussels, 13 may, 2004, www.indmin.com

Price List, "Mineral Price Watch", May 2007, pp.92-93

Servicio Geologico Mexicano, "Anuario Estadistico de la Minería Mexicana 2005", ed. 2006. Sitio Web www.coreminsgm.gob.mx

10. BIBLIOGRAFIA

Harben, P.W. "The World Distribution of Industrial Mineral Deposits" in Industrial Minerals and Rocks, 6th edition, D. Carr, ed., SME, Littleton, CO, 1994.

Harben, P.W. "The Industrial Minerals Handy Book - A Guide to Markets, Specifications and Prices": Fourth ed., Industrial Minerals Information Services, UK, pp.412, 2002

Harben, P.W. and Bates, R.L. "Industrial Minerals: Geology and World Deposits", Industrial Minerals Division, Metal Bulletin plc, London, 306 pp, 1990.

Rowbotham, P. "Serving the World Minerals Industry": Industrial Minerals Magazine, No. 1, pp.7, 1967.

11. CURRICULUM VITAE

ESTUDIOS PROFESIONALES

Calixto Ramírez Ramírez es Ingeniero Geólogo, en 1974 obtuvo el grado de licenciatura en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de México. Realizo estudios de post-grado en el Departamento de Ciencias Geológicas de La Universidad de Texas en Austin de los Estados Unidos, obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en 1992 presentando su disertación *"Pre-Mesozoic Geology of Huizachal-Peregrina Anticlinorium, Ciudad Victoria, Tamaulipas, and adjacent parts of Eastern México"*.

En 1994 obtuvo un diplomado de negocios en The American Graduate School of Internacional Management, en Glendale, Arizona, EEUU.

DISTINCIONES

En 1993 recibió el Premio al "Reconocimiento Anual al Desarrollo Tecnológico VITRO", por su trabajo *"Nuevo Método de Extracción y Minado para el Beneficio de Arena Silicea Utilizada en la Fabricación de Vidrio"*.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

1971 - 1972 Ayudante de Investigador de Tiempo Completo • Instituto Mexicano del Petróleo

1973 - 1974 Ayudante de Investigador "C" de Tiempo Completo • Instituto de Geología, UNAM

1974 - 1975 Profesor de Asignatura Interino Nivel "A", de la Clase de Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas • Facultad de Ingeniería, UNAM

1975 - 1976 Investigador Asociado "A" de Tiempo Completo • Instituto de Geología, UNAM

1976 - 1980 Estudios de Post-grado • *The University of Texas at Austin*

1980 - 1982 Investigador Asociado "B" de Tiempo Completo • Instituto de Geología, UNAM

1982 - 1985 Gerente de Exploración • Servicios Técnicos de Exploración Geológica.

1986 - 1989 Geólogo de proyectos de investigación de minerales no-metálicos • Materias Primas Monterrey, S.A. de C.V. (Grupo VITRO)

1989 - 1992 Gerente General de Sílice Sur • Materias Primas Monterrey, S.A. de C.V. (Grupo VITRO)

1992 - 1995 Gerente Nacional de Operaciones Sílice y Feldespato • Grupo Materias Primas de México (Grupo VITRO)

1995 - 2000 Director de Tecnología y Desarrollo • Grupo Materias Primas de México (Grupo VITRO hasta 1997; UNIMIN, Corp. a partir de 1997)

2000 - 2005 Director General • UNIMIN de Venezuela (UNIMIN, Corp.)

Ha publicado y presentado diversos trabajos técnicos relacionados con el basamento pre-mesozoico de la Sierra Madre Oriental.

Actualmente esta jubilado del Grupo Materias Primas de México – Unimin, Corp.

12. ANEXO I

ANEXO I.1.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Estibinita (sulfuro de antimonio)	Obtención de antimonio metálico por electrolisis y sublimación produce óxido	Óxido (III)de Antimonio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pentóxido De antimonio 2. Antimoniato de sodio 3. Antimoniato de potasio 4. Sulfato de antimonio 5. Sulfuro de Antimonio 6. Cloruro de antimonio 7. Oxidocloruro de antimonio 8. Nitrato de antimonio 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Producto intermedio para otros compuestos de antimonio 2. Esmaltes para metales (peltre) 3. Retardante de flama en pintura 4. Cerillos y explosivos 5. Pirotecnia 6. Tinturas y reactivo de lab. 7. Textiles a prueba de flama 8. Pólvora, pirotecnia
Barita (sulfato de bario)	Barita+carbón +calcinación	Sulfuro de bario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sulfato de bario "blanc fixe" 2. Lithopone (Ba₂SO₄ + ZnS) 3. Carbonato de bario 4. Cloruro de Bario 5. Oxido/hidróxido de bario 6. Acetato de bario 7. Nitrato de bario 8. Peroxido de bario 9. Bario metálico 10. Titanato de bario 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Filler en pinturas, hules, tintas, papel fonográfico 2. Pigmento blanco para pinturas 3. Vidrios especiales, cerámica electrónica, lodos de perforación. 4. Materia prima para bario metálico, sal para tratamiento térmico de piezas metálicas de precisión. 5. Estabilizador en plásticos PVC, Materia prima para sales orgánicas, bario metálico, componentes eléctricos. 6. Convertidores calatiticos 7. Oxidante en señales luminosas verdes, detonadores, etc. 8. Pirotecnia, decolorante en vidrio y fibras vegetales. 9. Absorbente de gases, electrodos de bujías 10. Cerámica electrónica, semiconductores.

Anexo I. 1., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.2.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Bauxita (Hidróxidos de aluminio)	1. Calcinación o sinterización 2. Proceso Bayer	1. Bauxita calcinada o sinterizada 2. Alumina tihidratada (ATH)	1. Bauxita calcinada grado refractario 2. Alumina calcinada	1. Refractarios de alta alumina para hornos de siderurgia, vidrio, cerámica, cemento de alta alumina. 2. Abrasivos para pulir desde madera, metales hasta discos de computadora y lentes ópticos. 2. Materia prima para mulita y espinelas sintéticas, alumina fundida.
Bertrandita (silicato de berilo hidratado)	Mineral+H ₂ SO ₄ + filtración+ Evaporación+ Enfriamiento = Sulfato tetrahidratado de berilo + calcinación	Oxido de berilo	1.Oxido de berilo 2. Berilio metálico	1. Excelente aislante eléctrico en sistemas de ignición en automóviles, cerámica para computadoras, transistores, hornos de microondas. 2. Seis veces más duro que el acero y 1/3 más ligero que el aluminio, aviones y naves espaciales.
Bórax (borato de sodio) Ulexita (borato de sodio y calcio) Colemanita (borato de calcio)	Mineral(s)+ H ₂ SO ₄	Acido Bórico	1. Acido Bórico 2. Acido Bórico Anhídrido 3. Ferroboro 4. Fosfuro de boro 5. Acido flúor-bórico 6. Tetraborato de potasio 7. Borato de zinc 8. Carburo de boro	1. Producto intermedio para producir otros compuestos. 2. Forma concentrada de B ₂ O ₃ 3. Fuente de boro en metalurgia de acero inoxidable 4. Semiconductor refractario 5. Electro-pulimento de aluminio, bronce, zinc; fluorinación de agua. 6. Fundente en soldaduras 7. Cerámica, retardante de fuego, supresor de humo, pigmento anti-corrosivo, fungicida. 8. Abrasivo casi tan duro como el diamante

Anexo I. 2., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.3.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Caliza/ Carbonato de calcio	Calcinación	Cal (óxido de calcio)	1. Carburo de calcio	1. Soldadura; desulfurización y desoxidante en hierro y acero. 2. Producción de titanio y zirconio; limpiador en pozos bloqueados 3. Fertilizantes, pesticidas. 4. Secante, supresor de polvo en caminos, anti-congelante para carreteras y pistas de aterrizaje, tratamiento de pulpa de papel. 5. Fluidos de perforación, retardante de flama, preservativo en alimentos 6. Anticorrosivo en metales; fungicidas. 7. Fuente de fósforo en alimentos para ganado; abrasivo en dentífricos. 8. Blanqueador en pulpa de papel; floculante y desinfectante en tratamiento de agua 9. Fertilizante hidropónico, cerillos, pirotecnia, aditivo para concreto, mantos incandescentes de lámparas de gas. 10. Pinturas luminosas, lámparas fluorescentes, láser, osciloscopios, materia prima para ferró tungsteno 11. Lubricantes; materia prima para compuestos de litio 12. filler/pigmento en papel y hule. 13. vidrio y cerámica especiales
			2. Hidruro de calcio	
			3. Cianógeno de calcio	
			4. Cloruro de calcio	
			5. Bromuro de calcio	
			6. Dicromato de calcio	
			7. Fosfato de calcio	
			8. Hipoclorito de calcio	
			9. Nitrato de calcio	
			10. Tungstanato de calcio	
			11. Hidróxido de litio	
			12. Carbonato de magnesio	
			13. Carbonato de potasio y estroncio	

Anexo I. 3., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.4.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Celestita (SrSO₄)	Mineral+carbón o coque+soda ash	Carbonato de estroncio (SrCO ₃)	1. Nitrato de estroncio 2. Oxalato de estroncio 3. Sulfato de estroncio 4. Titanato de estroncio 5. Cromato de estroncio 6. Oxido/hidróxido de estroncio 7. Peroxido de estroncio 8. Cloruro de estroncio	1. Pirotecnica, cerillos, señales luminosas rojas. 2. Curtido de pieles; pirotecnica 3. Cerámica, vidrio, papel. 4. Cerámica avanzada, electrónica, aislante eléctrico. 5. Pigmento anticorrosivo para zinc, aluminio, magnesio y aleaciones para aviones. 6. Pigmentos, grasas resistentes al agua, jabones. 7. Pirotecnica, medicinas 8. Dentrificos, pirotecnica, materia prima para estroncio metálico.
Cromita (Fe⁺⁺Cr₂O₄)	Concentración	Concentrado de mineral de cromita	1. Ferrocromo y ferrocromo-silicio 2. Cromato de sodio 3. Cromato de plomo 4. Dicromato de amonia 5. Dicromato de potasio 6. Cromato de estroncio 7. Cromato de bario 8. Nitrato crómico 9. Sulfato de cromo 10. Oxido III de cromo 11. Pigmentos de cromo 12. Acido crómico 13. Oxido crómico	1. Acero inoxidable 2. Tratamiento de agua, preservativo de madera, catalizador, lodos de perforación. 3. Pigmentos amarillo verdoso hasta rojo claro. 4. Tinturas cáusticas, purificación de aceite, porcelana, pirotecnica, materia prima para oxido. 5. Explosivos 6. Recubrimientos de cromo. 7. Pinturas para metales. 8. Anticorrosivo 9. Curtido de pieles 10. Cintas magnéticas 11. Pintura, tintas papel, pisos. 12. Materia prima para cromado de metales 13. Producción de cromo metálico, refractarios.

Anexo I. 4., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.5.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Fluorita (CaF₂)	Fluorita grado acido+ H ₂ SO ₄	Acido fluorhídrico	1.Acido flúor silícico e hidrofluorsilico 2. Flúor silicatos 3. Tetrafluoruro de silicio 4. Acido flúor bórico 5.Fluoruros 6.Fluoruros de halógenos 7. Fluoruros de tierras raras 8. Químicos fluor-orgánicos (cloró fluoro-carbones).	1. Fluorización de agua potable, refinación electrolítica de metales, preservativo de maderas, agente esterilizador y desinfectante de tanques de cobre y bronce de cervecerías 2. de Mg impermeabiliza concretos, estucos, morteros y ladrillos, preservativo para madera, cerámica; de Na actúa como opacificante en esmaltes cerámicos y vidrios opalinos. 3. Semi-conductores, implantación de iones, grabado por plasma. 4. Fluorización de agua, limpiador de metales para galvanizar 5. de amonia, litio, potasio, bario, sodio, zirconio. 6. Corrosivo y oxidante, combustible de cohetes. Reclamación de uranio de combustibles usados. 7. Materia prima básica para producir tierras raras. 8. Gases refrigerantes
Minerales de litio y salmueras de litio	1.Salmuera de cloruro de litio + soda ash 2. Carbonato de litio + cal viva	1. Carbonato de litio 2. Hidróxido de litio	1. Acetato de litio 2. Aluminato de litio 3. Metaborato de litio 4. Litio metálico	1. Polímeros. 2. Fundente en esmaltes refractarios para porcelana 3. Fundentes en vidrios y cerámicas especiales 4. Ánodos en baterías

Anexo I. 5., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.6.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Minerales de litio y salmueras de litio	1. Salmuera de cloruro de litio + soda ash 2. Carbonato de litio + cal viva	1. Carbonato de litio 2. Hidróxido de litio	5. Bromuro de litio 6. Cloruro de litio 7. Sulfato de litio 8. Silicato de litio 9. Fosfato de litio	5. Agente secador en sistemas de refrigeración, componente en electrolitos de baterías de Li, sedantes farmacéuticos. 6. Electrolito en pilas secas, pirotecnia, absorbente de amonía en aguas residuales. 7. Cerámica y vidrios de alta resistencia. 8. Cerámica absorbente de CO ₂ , vidrio silicato de Li. 9. Esmaltes para cerámica de baja expansión.
Magnesita (MgCO₃)	Calcinación	1. Magnesita calcinada	1. Hidróxido de magnesio 2. Nitrato de magnesio 3. Sulfato de magnesio (se puede obtener de salmueras) 4. Carbonato de magnesio 5. Cloruro de magnesio	1. Neutralizador mas efectivo de efluentes ácidos; materia prima para compuestos de alta pureza 2. Fertilizante y agroquímico, pirotecnia, materia prima para citrato de magnesio. 3. Productos farmacéuticos, cosméticos, alimentos y su procesamiento, tratamiento de agua, aditivo en lodos de perforación, tinturas, colores y pigmentos, explosivos, etc. 4. Material incombustible, aislante de calor, agente antiapelmazante. 5. Materia prima para producir magnesio, metálico, aglutinante en abrasivos, desecante químico de aire, aditivo en lodos de perforación, sal de mar sintética.

Anexo I. 6., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.7.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Pirolusita (β-MnO₂)	Calcinación	Oxido de manganeso	1. Dióxido de manganeso grado químico 2. Dióxido de manganeso electrolítico 3. Sulfato de manganeso 4. Carbonato de manganeso	1. Pilas secas 2. Despolarizador en pilas secas, ferritas magnéticas para transformadores. 3. Suplemento en alimento de ganado, micronutriente de plantas, fungicida, aditivo en pintura, tintura para textiles, subproducto de la producción de dióxido de manganeso. 4. Ferritas de Mn-Zn para televisiones y computadoras, secuestrador de azufre en combustibles, fundente en soldaduras, materia prima para otros compuestos de Mn.
Roca Fosfórica	Roca fosfórica+ Acido sulfúrico	Acido fosfórico	1. Superfosfato triple 2. Fosfato mono y diamónico 3. Fosfatos de sodio 4. Fosfatos de calcio 5. Fosfatos de potasio	1. Fertilizantes 2. Fertilizantes especiales, alimento para ganado, retardante de flama y químicos para extinguidotes. 3. Tratamiento de agua de calderas, tinturas, limpiador industrial, galvanizado, detergentes y suavizador de aguas. 4. Polvos para hornear harinas, anti-oxidante en alimentos enlatados y granulares, abrasivo en dentríficos, vidrios y porcelanas blancos. 5. Jabones líquidos, fertilizante.

Anexo I. 7., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.8.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Arena Sílica – cuarzo de veta - cuarcita	Arena + <i>Soda ash</i> o sosa cáustica + energía Cuarzo de veta o cuarcita + coque en horno eléctrico de arco	Silicato de sodio Silicio	1. Zeolita sintética 2. Sílica precipitada 3. Sílica coloidal o sílica gel 4. Tetracloruro de silicio	1. Detergentes, catalizadores, secante, filtro molecular para gases. 2. Hules, plásticos, dispersante y acarreador de pesticidas, anti-apelmazante en alimentos, medicamentos, químicos y fertilizantes, etc. 3. Aglutinante en fundición y refractarios fibrosos, abrasivo de laminas de silicio, agente tixotropico en lacas y barnices, secante de humedad ambiente. 4. Materia prima para la producción de silicio grado electrónico, sílica pirogenica (<i>silica fume</i>)
Caliza + halita o salmuera	Calcinación + carbonatación + carbón + amonia (Proceso Solvay)	<i>Soda ash sintética</i>	1. Carbonato de bario 2. Carbonato de litio 3. Benzoato de sodio 4. Bicarbonato de sodio 5. Compuestos de sodio: cromato, hidróxido, metabisulfto, fosfato, tripolifosfato, sesqui carbonato, silicato, sulfito. 6. Sulfato de zirconio	1. Vidrio, cerámica, ferritas electrónica 2. Vidrio, cerámica, baterías de Li. 3. Preservativo en alimentos 4. Alimento para ganado, alimentos, farmacéutico, polvo para extinguidotes 5. Curtido de cueros, papel, detergentes, tratamiento de agua, defloculante, procesamiento de textiles. 6. Opacificador en papel, sustitución de compuestos de cromo en curtido de cueros.
Ilmenita, rutilo, anatasa, leucóxeno	Concentrados (< 80% de TiO ₂) + ácido sulfúrico	Dióxido de titanio + ácido hidroyodico	1. Yoduro de titanio	1. Catalizador en polimerización de butadienos

Anexo I. 8., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

ANEXO I.9.

MINERAL	PROCESOS Y REACTIVOS	COMPUESTO BASICO	COMPUESTOS QUIMICOS	USO/ FUNCION
Ilmenita, rutilo, anatasa, leucóxeno	Concentrados (< 80% de TiO ₂) + ácido sulfúrico Concentrados (> 80% de TiO ₂) + coque + cloro	Dióxido de titanio + bario metálico Dióxido de titanio + carbonato de estroncio Tetracloruro de Titanio	2. Titanato de bario 3. Titanato de estroncio 4. Titanio metálico	2. Capacitores de cerámica, componentes electrónicos de armas de defensa, reproductores de sonido y filtros de aparatos de ultrasonido. 3. Láminas pulidas para substratos de superconductores y semiconductores 4. Materia prima para aleaciones especiales de bajo coeficiente de expansión, no magnéticas, alta resistencia/peso. Componentes para aviones civiles y militares.
Zircon y baddeleyita	Concentrados +sosa cáustica o soda ash + lixiviado con ácido sulfúrico	Sulfato de zirconio	1. Carbonato de zirconio 2. Zirconio	1. Pinturas, cerámica, antiprespirantes, catalizador químico. 2. Compuestos de zirconio con Mg, Ca, Y en solución sólida para abrasivos, cerámica y refractarios especiales y componentes electrónicos diversos.

Anexo I. 9., Minerales, compuestos químicos básicos, sus derivados y uso o función en la industria.

Nota: Esta lista no es exhaustiva, ya que existen muchos compuestos derivados de minerales industriales que no se citan. Además, no se incluyen los minerales de los siguientes elementos: bromo, yodo, nitrógeno, potasio, tierras raras, azufre y sodio.

RESUMEN Los recursos de minerales y rocas industriales de la provincia del Neuquén están íntimamente ligados a importantes unidades sedimentarias de interés económico. A estas formaciones geológicas, principalmente mesozoicas, se asocian depósitos de calizas, dolomías, arcillas, bentonitas, baritina y celestina, sal de roca y sales de potasio, yeso y diversas rocas calcáreas para la construcción y ornamentación. Vinculados a rocas del basamento paleozoico y a los ciclos volcánicos-sedimentarios del paleógeno-neógeno se presentan depósitos de azufre, cuarzo, diatomitas, tobas, pómez, granitos, Siam Minerals is pleased to announce that we are now an agent of Prime Drilling HDD Technology in Southeast Asia. Read more. 30 Jun.  Siam Minerals is now working with Munich, Germany-based Algerchem for the distribution of our drilling fluids in Germany. Read more. 27 Dec. News. Siam Minerals Expands to Indonesia. June 10, 2019. We re proud to announce the establishment of PT Siam Minerals to supply our chemicals and expertise for the dynamic Indonesian market.