

SEGUNDA PARTE

PILARES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE: ENERGÍA – SIDERURGIA - CIENCIA DE MATERIALES

1. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

Los países industrializados tornan sus ojos hacia el gas natural como fuente de energía, cuyas características son mucho más benignas para el medio ambiente, y que además de proporcionar energía, es la materia prima para infinidad de industrias.

Tabla 1. Fuentes de energía en el mundo (en %)

	1973	2004
Energía atómica	1	6
Hidráulica	2	6
Gas	19	24
Carbón	28	27
Petróleo	50	37

Fuente: Deutschland, mayo de 2006.

En la actualidad, 23,4% de la energía que consume el mundo proviene del gas natural, y se espera que para el 2015 su importancia en la estructura global de consumo pase del tercer al segundo lugar. Los precios del energético acompañarán este crecimiento. La revista The Economist, estima que el gas puede sobrepasar al petróleo como la más importante fuente de energía en el año 2025.

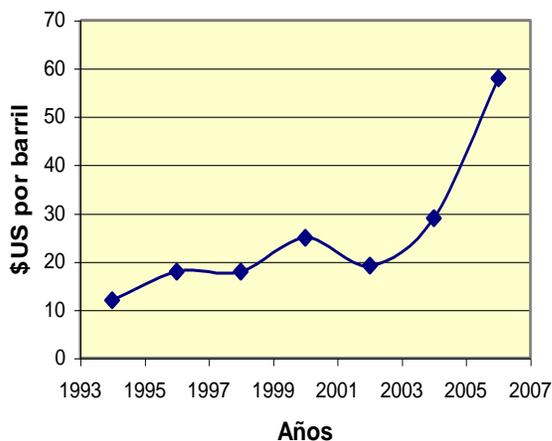


Figura 1. Evolución del precio del crudo de petróleo

Por esta razón, la búsqueda de yacimientos de gas natural en el mundo se ha intensificado. En los últimos 20 años prácticamente las reservas probadas de gas se han duplicado, pero aún más, aumenta su consumo. Las reservas mundiales en el 2003, llegaban a 5.300 TCF (International Energy Outlook, 2004), con Rusia como el país con más reservas (1.700 TCF).

2. ENERGÍA EN BOLIVIA

La matriz energética boliviana está basada fundamentalmente en el uso de petróleo y derivados; 61% de las necesidades energéticas del país son cubiertas por este combustible, que en muchos casos, como en el de diesel, tiene que ser importado debido a que la producción del país no cubre la demanda interna.

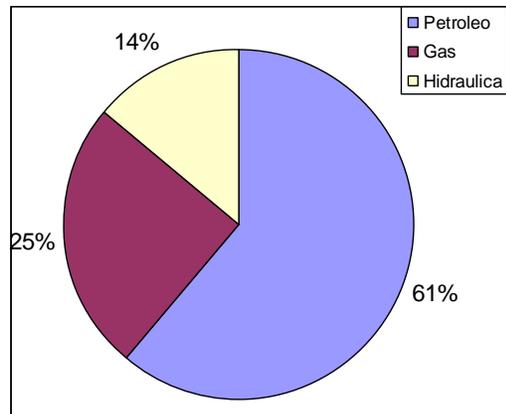


Figura 2. Matriz energética boliviana

Las reservas de petróleo y condensados al 1° de enero de 2005, son de 462 MMBbl en reservas probadas, y 446.5 MMBbl de reservas probables.

El gas ocupa el segundo lugar en consumo, y cubre el 25% del requerimiento energético nacional; a pesar de que Bolivia tiene una de las mayores reservas de gas del subcontinente.

Actualmente, con las últimas certificaciones realizadas por la consultora estadounidense De Golyer & MacNaughton y que fueron confirmadas por YPFB, se ha confirmado que Bolivia posee 48,7 trillones de pies cúbicos como reservas certificadas.

Del total de las reservas probadas y probables, en Tarija se encuentran el 87.5%, en este departamento se encuentran los campos más grandes: San Alberto, San Antonio, Margarita e Itaú; quedando el 12.5% distribuido entre Santa Cruz (9.3%), Cochabamba (1.9%) y Chuquisaca (1.3%).

Otras formas de generación de energía, como la biomasa, la energía solar o la geotérmica, no tienen aún un uso masivo y por lo tanto su aporte a la matriz energética no es significativo.

Siendo un país esencialmente gasífero, debe ser política del Estado el cambiar la actual matriz energética e incrementar el uso de gas natural, que permitiría reducir el costo de energía y aumentar las posibilidades de industrialización del país.

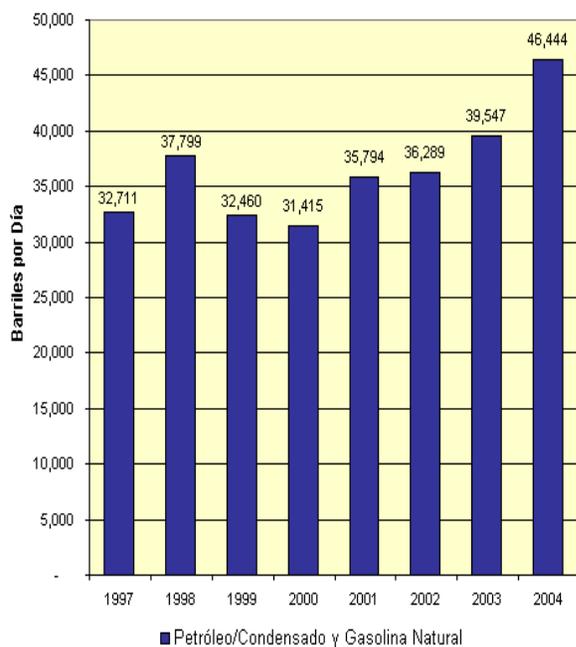


Figura 3. Producción de crudo y gasolina natural

3. DISPONIBILIDAD DE GAS NATURAL

En cuanto a la cantidad de gas que se podría utilizar libremente para la industrialización del país, se tiene actualmente la siguiente relación de producción y consumo:

Capacidad de producción y entrega actual de gas natural 35 millones m³/día.

Consumo interno: 1.2 millones m³/día

Exportaciones:

Brasil 23 millones m³/día

Argentina 6.5 millones m³/día

Total consumo: 30.7 millones m³/día

Que equivalen a 0.396 TFC por año. De mantenerse este ritmo de consumo, en 20 años se utilizarían 7.914 TCF.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el ex Presidente Carlos Mesa ha comprometido incrementar la venta de GN de 20 millones de m³ adicionales a los 6.5 actuales a la Argentina; y el ex-Presidente Rodríguez ha firmado una carta de intenciones para vender 5 millones de m³ diarios al Paraguay. Para cumplir estos compromisos, la capacidad de producción debe ampliarse a 60 millones m³/día, o sea, un 71.4% adicional.

Con estos datos, la proyección de consumo en los siguientes 20 años es:

Demanda al Brasil	7.92 TCF
Demanda Cuiabá	1.29 TCF
Demanda Argentina	6.83 TCF
Demanda Paraguay	1.29 TCF
Conexión de gas domiciliario	0.92 TCF
<u>Mercado Interno</u>	<u>1.43 TCF</u>
Total en 20 años	19.68 TCF

Puesto que las reservas probadas son 28.7 TCF, se dispondrían efectivamente de 9.02 TCF, sólo el 31.4% de las reservas probadas, para utilizarlos en petroquímica, GTL, termoeléctricas y el desarrollo de la siderurgia, entre otros usos. Este valor podrá ir creciendo en la medida en que las inversiones en exploración vayan certificando como probadas las reservas probables.

4. EL GAS NATURAL Y LA METALURGIA

Las diferentes plantas metalúrgicas de nuestro país, utilizan el gas natural principalmente como combustible para proporcionar la energía térmica a los reactores, en los cuales se realiza el procesamiento de minerales, metales y aleaciones, principalmente porque su bajo precio incide notablemente en una disminución de los costos de producción, además del menor impacto ambiental que se genera con su uso.

Por otra parte, el gas natural es apto para ser utilizado como reductor, ya que tiene la ventaja que posee un bajo contenido de azufre, buenas condiciones para su manejo y transporte y puede ser fácilmente convertido a hidrógeno y monóxido de carbono.

La tecnología utilizada para la producción de estaño metálico, requiere la utilización de un agente reductor para transformar la casiterita en estaño metálico. En nuestro país, se utiliza carbón vegetal con este fin.

La cantidad de carbón que utiliza la E.M. Vinto es de aproximadamente 0.75 Tn de carbón vegetal por tonelada de estaño producido. De esta cantidad, el carbón que puede ser sustituido por gas natural reformado es el utilizado directamente en procesos de reducción de casiterita, o sea, en los hornos reverbero y en el horno eléctrico de baja ley, que hacen el 89.26% del carbón utilizado. Por consiguiente, el radio de carbón vegetal/estaño utilizado en los procesos de reducción es de $0.75 * 0.8926 = 0.67$.

El carbón vegetal que adquieren las fundiciones, contiene por lo menos 70% de carbono fijo, de donde se puede ver que es necesario sustituir $0.67 * 0.7 = 0.47$ Tn de este elemento por tonelada de estaño metálico producido en la fundición.

Los requerimientos de gas natural por tonelada de estaño producido son de 21.070 pies³/Tn de estaño.

El consumo anual estimado de gas, con una producción de las fundidoras del país de 20.000 TMF de estaño al año, es por tanto:

$$20.000 * 21.070 = 421,4 \text{ millones de pies}^3$$

El requerimiento de gas, para los próximos 20 años, con el mismo volumen de producción es:

$$20 * 421,4 = 8.42 \text{ BPC}$$

Sin embargo, el uso más importante que se le puede dar al gas natural es en el desarrollo de la siderurgia y la petroquímica.

Es bien conocido que la siderurgia es la base para el desarrollo industrial. Permite la fabricación de los medios de producción y de este modo constituye así la llamada industria pesada. La industria siderúrgica es, en todos los países, por escaso que sea su desarrollo, objeto de un trato excepcional por considerarla como factor estratégico de la economía, sobre todo en su condición de fuente de generación de otras actividades productivas.

Bajo este punto de vista, los yacimientos de hierro de nuestro país, principalmente el Mutún, revisten una enorme importancia para nuestro desarrollo económico.

5. EL GAS NATURAL Y LA CIENCIA DE MATERIALES

El procesamiento industrial del gas da como resultado la obtención de una serie de materiales, entre ellos, diferentes tipos de plásticos, combustibles líquidos, resinas, lubricantes, etc.

El procesamiento parte de los dos componentes principales del gas natural:

- a) **Etano:** Materia prima para la industria petroquímica tradicional. A partir del etano se fabrican etileno, propileno, metanol, tolueno, benceno, xilenos, y una variedad muy grande de productos, (figura 1). El gas natural que sale de los pozos de explotación, contiene alrededor de 5% de etano, por lo que es necesaria una explotación intensiva para conseguir los volúmenes que hagan rentable la instalación de una planta petroquímica tradicional.
- b) **Metano:** Materia prima para una industria petroquímica de nueva tecnología, se encuentra aproximadamente en una proporción del 90% en volumen en el gas natural. La primera etapa de su procesamiento consiste en la obtención a partir del metano del gas de síntesis o gas reformado, que es una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, que se obtiene a partir de la disociación de la molécula de metano. Como su nombre lo indica, el gas de síntesis es la base para sintetizar muchos compuestos de importancia económica e industrial.

A partir de la reacción entre los componentes del gas de síntesis, mediante diferentes catalizadores, se pueden fabricar muchos productos, como se muestra en la figura 1. Entre los productos más importantes, dependiendo de la relación monóxido de carbono/hidrógeno del gas de síntesis, se puede obtener:

- Gas licuado de petróleo (GLP), gasolina, diesel, jet fuel, parafinas ultrapuras, todos ellos mediante el proceso Fischer-Tropsch. La transformación del gas natural a los productos mencionados, todos líquidos, es lo que se denomina el proceso GTL (gas to liquids).
- Hidrógeno, el combustible del futuro.
- Amoníaco, base de la industria de fertilizantes, que se obtiene mediante la reacción del nitrógeno del aire con el hidrógeno proveniente del metano.
- Éter di metílico, sustituto del diesel y del GLP, y que además se utiliza para la generación de la electricidad.
- Metanol, a partir del cual se pueden sintetizar olefinas, como el etileno y el propileno, y a partir de ellas, todos los productos descritos en la figura 1, entre los cuales se encuentran los plásticos, comúnmente denominados plásticos.

6. EL MUTÚN y EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA

La siderurgia en Bolivia ha tenido sus primeros pasos a través de inversiones realizadas por la COMIBOL en sus plantas de fundición de acero de Catavi, Pulacayo y Oruro, además de hombres visionarios que incursionaron en la instalación de acerías en base a chatarra, como Aceros TESA en Oruro, LAMINOR, SIDERCO, Industrias Eduardo, Mafuqui, Chavarría, Taunus, Funtrat, etc.

Un índice muy elocuente de la relación de la siderurgia con la economía general de un país es la relación entre el consumo de acero y el producto interno bruto. Es así, tanto en los países desarrollados y con tradición de producción siderúrgica, como en casi todos los países en desarrollo deseosos de dar una base sólida a sus programas de industrialización y de ocupación de mano de obra, el conseguir el abastecimiento fluido de acero se ha convertido en el eje de una política moderna.

Bajo este punto de vista, los yacimientos de hierro de nuestro país, principalmente el Mutún, revisten una enorme importancia para nuestro desarrollo económico.

El Mutún está situado en la región sudeste del territorio boliviano, en la región fronteriza entre Bolivia y Brasil, a 32 km de Puerto Suarez. En esta región se encuentran localizados grandes depósitos de minerales de hierro, que se caracterizan por su elevada pureza y la magnitud de sus reservas.

Sus recursos, entre positivos y probables suman 40.000 millones de toneladas con un contenido promedio de 50% de hierro, por lo que se considera al Mutún como el yacimiento de hierro más grande del mundo.

La factibilidad de instalar una industria siderúrgica en nuestro país en base al mineral de hierro del yacimiento del Mutún, ha sido desde la década de los 70's objeto de diferentes estudios técnico-económicos, en los que el país ha invertido una abundante cantidad de recursos económicos y humanos para determinar la potencialidad del yacimiento, la caracterización del mineral y su comportamiento en los procesos de reducción directa, y la factibilidad técnico-económica para la instalación de una industria siderúrgica.

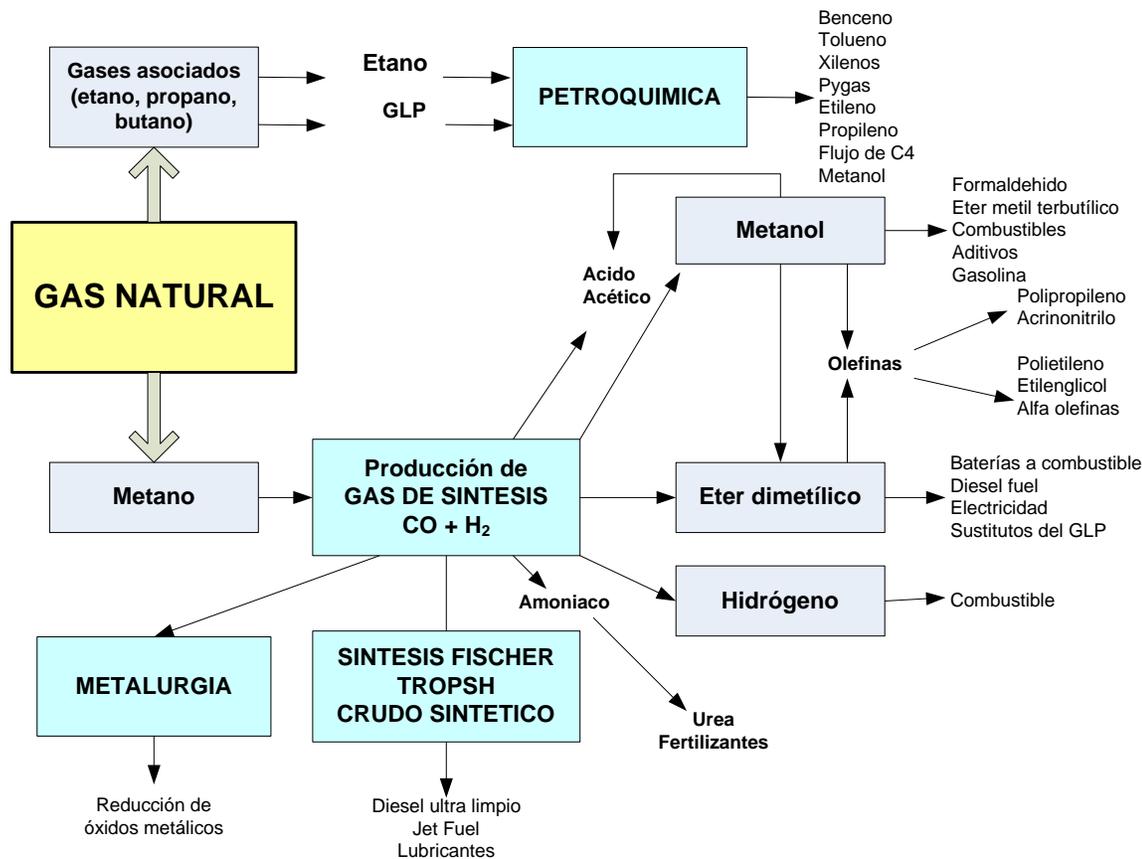


Figura 4. Aplicaciones del gas natural.

Ya en 1963, el Gobierno Nacional, mediante la Ley 291 del 19 de diciembre, declaraba de prioridad nacional la explotación del Mutún y autorizaba la conformación de sociedades mixtas para aprovechar e industrializar este recurso.

De esta forma se daba el primer paso, con la creación de SIDERSA, quien a su vez encomendó a la consultora Mc Kee, la realización de una evaluación en la década de los setenta, sobre la factibilidad de instalar ya sea una acería por la vía clásica (alto horno – convertidor) o bien emplear el camino de la reducción directa (producción de hierro esponja – horno de arco eléctrico), para la explotación del yacimiento del Mutún.

Luego de haber terminado este estudio, el esfuerzo se limitó a la exportación de mineral de hierro a la República Argentina, concretamente a la planta de Altos Hornos Zapla, ubicada cerca de Jujuy. Con el correr del tiempo incluso esta exportación de mineral de hierro fue detenida.

Desde ese entonces a la fecha, se han promulgado una serie de disposiciones legales con el fin de promover el desarrollo de este yacimiento.

En el gobierno de Carlos Mesa, por Decreto 28150 se crea la Empresa Siderúrgica del Mutún como empresa pública, cuya misión será la de dirigir y administrar la explotación e industrialización de este yacimiento. La licitación para la adjudicación del yacimiento para la producción de esponja y/o arrabio constituye el inicio para la creación de una industria siderúrgica en nuestro territorio patrio.

Los siguientes factores de carácter internacional justifican la instalación a corto plazo de una planta para la reducción de hierro, y la fabricación de acero en nuestro territorio:

1. Un incremento de la demanda china, que se prevé ocasionará un déficit de metálico en el mundo al año 2010, de 120.000.000 TM.
2. Existe una reactivación de la economía mundial.

3. En el mundo, existe una escasez crónica de carbón de coque, insumo indispensable para la producción de arrabio.
4. Aumento en los costos de los fletes de transporte marítimo.
5. Elevado precio del petróleo.

En nuestro país, se dan las siguientes condiciones favorables:

1. **El yacimiento.** La reserva del Mutún cuenta con 40.000 millones de toneladas de mineral de hierro, con una ley promedio del 50%.
2. **El reductor y combustible.** El gasoducto de exportación al Brasil, pasa a 15 km del Mutún, lo que permitiría la instalación de la planta de obtención de hierro en el mismo yacimiento. Si bien el gasoducto es de propiedad de Petrobras y está dedicado integralmente para la exportación de gas a territorio brasilero, la instalación de un gasoducto paralelo tendría un costo menor y muchas facilidades; por ejemplo, no se tendrían que realizar estudios ambientales a detalle de un nuevo gasoducto.
3. **Energía eléctrica.** Se proyecta instalar en Puerto Suárez una termoeléctrica binacional, la que proporcionaría la energía eléctrica para este proyecto.
4. **Vías de comunicación.** En la zona se cuenta con infraestructura ferroviaria (ferrocarril Santa Cruz – Corumbá), fluvial (río Paraguay - Puerto Buch) y vial, que permitiría la salida de la esponja producida hacia los mercados de los países vecinos.

Finalmente, en este tiempo se ha licitado y adjudicado la explotación por un periodo de 40 años, a una empresa indú, Jindal Steel & Power Limited, la que informa haberse adjudicado la explotación de 20.000 millones de toneladas en ese tiempo. Anunció también que producirá 6 millones de toneladas de hierro esponja, 10 millones de toneladas de pellets y 1.7 millones de toneladas de acero al año. La compañía tiene previsto invertir 2.300 millones de dólares americanos en los próximos 10 años. Para ello, informa también que requerirá de alrededor de 440 MW de energía.

Si consideramos el ciclo o la cadena productiva siderúrgica, esto permite visualizar cuáles sectores están siendo tomados en cuenta y qué otros deben ser considerados, para de esta manera aportar al desarrollo sostenible del país.

Cadena productiva siderúrgica

Extracción y beneficio del mineral

- Empresas y plantas productoras de mineral de hierro y pellets, se producirán 10 millones de toneladas de pellets al año.

Producción del metal crudo

- Empresas productoras del hierro esponja, se producirá 6 millones de toneladas al año

Producción siderúrgica

- Producción de acero crudo, se indica que la producción alcanzará a 1.7 millones de toneladas anuales.
- Productos semielaborados, (planchones y palanquillas), no se indica nada, por lo que se puede suponer que no está prevista la instalación de una planta de esta naturaleza.

- Aceros laminados, (planos, no planos y tubos sin costura), también se puede inferir que para este eslabón de la cadena no se tienen previstas inversiones.

Industria metal-mecánica ferrosa

- Existen algunas en el país, que alcanzan una producción de alrededor de las 10.000 toneladas anuales.

En cuanto a los aspectos técnicos, los estudios realizados deben ser la base para la elección de la tecnología de reducción de estos minerales. Los procesos de reducción directa, no constituyen en la actualidad un secreto ni limitación alguna para el tratamiento de estos minerales.

Se puede obtener acero usando como materia prima la esponja de hierro obtenida en el Mutún en miniaceras en base a hornos eléctricos, cuya energía puede ser provista a partir de plantas termoeléctricas, en base a gas natural.

El consumo interno de hierro es de aproximadamente 100.000 TM/año, y el precio en Bolivia por Kg de hierro de construcción (\$us 1.0), es el precio que tiene un Kg de acero especial en Brasil o Venezuela.

El alto impacto económico de una industria de este tipo, que genera una tasa elevada de empleos directos e indirectos tan necesarios actualmente en el país, junto a las razones anteriormente mencionadas, justifican sobradamente la instalación de una planta siderúrgica en nuestro territorio patrio.

Adicionalmente, se conoce que el gobierno brasileño en febrero del 2005 ha firmado una carta de intenciones con la empresa inglesa Río Tinto Zinc, para la construcción de un polo siderúrgico en la localidad brasileña de Corumbá, al frente de la ciudad boliviana de Puerto Suárez, donde se utilizará el mineral de hierro del yacimiento brasileño de Urucum, serranía gemela al Mutún en el lado boliviano. El proyecto tendrá una inversión de 3.200 millones de dólares americanos y aprovechará la cercanía del gas boliviano. De concretarse este proyecto, Bolivia tendría que olvidarse de su propio Proyecto Siderúrgico, con la agravante que el gas boliviano serviría para desarrollar el proyecto de un país vecino.

6.1. TECNOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE HIERRO DE REDUCCIÓN DIRECTA

Todos los métodos de producción de hierro mediante la reducción de materiales que contienen hierro, a temperaturas inferiores al punto de fusión del hierro o de las impurezas en el mineral, se conocen como procesos de “reducción directa”.

El hierro de reducción directa es un producto intermedio de la industria siderúrgica, que utiliza como insumo básico los pellets de hierro y el gas como agente reductor, es utilizado como carga metálica en los procesos de manufactura de los distintos productos de acero.

El hierro de reducción directa es un producto poroso, obtenido de la reducción directa de pellets o mineral crudo, que por su grado de metalización es adecuado para emplearse como sustituto total o parcial de la chatarra, directamente en los procesos de aceración.

El hierro de reducción directa se presenta en dos formas: una de ellas es el hierro esponja, que mantiene la forma original del pellet, y la briqueta que se origina en una aglomeración en caliente por vía mecánica del material reducido, originando unas almohadillas en caliente de alta densidad.

Tanto el hierro esponja como la briqueta tienen la misma utilización, la de servir de carga metálica para las acerías eléctricas de palanquillas, planchones y tochos, que corresponden a productos semiterminados para la fabricación de productos planos, no planos y tubulares; sin embargo, estas presentaciones se diferencian en la capacidad de ser comercializadas, puesto que el hierro esponja al ser pirofosfórico se hace propenso a incendiarse en el manejo y transporte. Las empresas que producen este tipo de producto, generalmente lo hacen con la finalidad de consumirlo en su propio proceso de fabricación de acero. Para que el hierro de reducción directa sea comercializable debe ser briqueteado, para así evitar la

reoxidación del metálico y su posible combustión; en este sentido, la briqueta se convierte en un producto seguro que no tiene problemas para ser transportado, convirtiéndose así en el prereducido transable por excelencia.

Como etapa previa a la producción del hierro esponja, el gas natural debe ser reformado a fin de convertirlo en hidrógeno y monóxido de carbono, gases que posteriormente son utilizados como reductores en el reactor de “reducción directa”.

Entre los procesos de reducción directa basados en gas natural y más comúnmente conocidos y utilizados hoy en día, se encuentran el proceso Midrex, el Fior y los procesos H y L (en sus versiones I, II y III), además se encuentran dos nuevos procesos, el proceso de carburo de hierro, que genera un producto diferente de los prereducidos convencionales, y el proceso Finmet. Sus características principales se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 2. Tipos de procesos para la producción de Hierro de Reducción Directa

PROCESO	CARACTERÍSTICAS	INSUMO BÁSICO UTILIZADO
Midrex	Baja presión, alimentación continua, un solo reactor.	Gruesos de mineral de hierro y pellets
H y L I	Mediana presión, alimentación por lotes, tres reactores.	Gruesos de mineral de hierro y pellets
H y L II, III	Mediana presión, alimentación continua, un solo reactor.	Gruesos de mineral de hierro y pellets
Fior	Alimentación continua, cuatro reactores	Finos de mineral de hierro.

Tanto los procesos Midrex como el HyL, utilizan como insumo principal los gruesos del mineral de hierro y los pellets, que hacen que estos resulten más costosos en relación al proceso Fior, que utiliza como insumo básico finos de mineral de hierro; sin embargo, los costos energéticos de las tecnologías Midrex y HyL, resultan menores que los de la tecnología Fior.

El proceso Midrex ha sido propuesto en varios trabajos como el más adecuado para la reducción de los minerales del Mutún. Acindar, la mayor empresa siderúrgica de la Argentina, utiliza un horno de cuba vertical de tecnología Midrex para producir 450.000 ton/año de hierro esponja, con un grado de metalización de 94,5% y 1.9% C. Los consumos específicos de esta planta son 323.4 m³ estándar/ton en gas natural y 124.5 Kwh/ton en energía eléctrica.

El proceso FINMET (finos metalizados), es un proceso de reducción directa basado en el proceso FIOR mejorado, tecnología patentada por FIOR de Venezuela [20]. Este proceso usa finos de mineral de hierro para obtener un producto altamente metalizado. La calidad físico-química del producto es similar a las briquetas FIOR, lo cual constituye una excelente fuente metálica para complementar o sustituir la chatarra.

Las ventajas tecnológicas del proceso FINMET proveen, entre otras propiedades un alto grado de flexibilidad operativa, bajo consumo energético, utilización de finos de mineral y producto con alto contenido metálico.

Los consumos unitarios de los procesos FINMET y FIOR son los siguientes:

TABLA 3. Comparación de los consumos unitarios por proceso

	PLANTA FIOR	PLANTA FINMET
Mineral	2.0 t/t	1.6 t/t
Gas Natural	5.0 Gcal/t	3.0 Gcal/t
Electricidad	250 Kwh/t	150 Kwh/t
Agua	7.5 m ³ /t	2.5 m ³ /t
Fuerza laboral	1.25 hh/t	0.4 – 0.5 hh/t

Una comparación de los requerimientos de energía para una planta de producción de 1'000.000 ton/año de esponja por los tres procesos considerados, es mostrado en la siguiente tabla:

El requerimiento de gas natural mostrado en la tabla 4, corresponde sólo a la etapa de reducción. El mismo puede ser mayor si se decide producir la energía eléctrica necesaria para el procesamiento mediante una planta termoeléctrica.

TABLA 4. Requerimientos de energía para la producción de hierro esponja.

PROCESO	REQUERIMIENTO POR AÑO	
	Gas Natural BPC	Energía Eléctrica Mwh
FIOR	18.8	250.000
FINMET	11.90	150.000
MIDREX	11.40	124.500

El tamaño de planta, puede ser considerada grande desde el punto de vista del consumo interno de hierro en el país, por lo que la planta deberá estar equipada para producir briquetas de hierro para exportación. Sin embargo, a este ritmo de explotación del yacimiento, el Mutún puede alimentar mineral a la planta por los próximos 40.000 años.

El Dr. Saul Escalera, ha estimado que una planta que produzca un millón de TM/año de fierro y acero costaría unos 640 millones de \$us, y garantizaría un precio de \$us 0.35 por Kg de hierro producido en Bolivia.

En la perspectiva de conseguir productos con mayor valor agregado, es importante para el país la producción en nuestro territorio de acero. En esta perspectiva, no debiera cerrarse la posibilidad de producir también arrabio, debido a que el arrabio sólido mezclado con hierro esponja briqueteado, se presta mejor para la aceración, sobre todo en hornos eléctricos.

La producción de arrabio tiene la dificultad de que como país no tenemos yacimientos de carbón de origen mineral para la fabricación de coke, materia prima indispensable para el trabajo del alto horno.

La región de Puerto Suárez es una región con abundante riqueza forestal a la que podría recurrirse para la fabricación de carbón vegetal; sin embargo, esta actividad es considerada como depredadora y dañina para el medio ambiente, debido que a pesar de que se considere operaciones de silvicultura para reponer los árboles utilizados en la fabricación de carbón, no es posible la reposición de

la biodiversidad sino es a un alto costo y en periodos largos de tiempo; además, las emanaciones de CO₂ y otros gases producto de la carbonización de la madera, afectarían la atmósfera de la región, que es uno de los pulmones naturales del planeta.

Se ha mencionado que una alternativa para la producción de carbón vegetal podría ser la utilización de eucalipto, que es una especie que hasta los siete años absorbe del ambiente el monóxido de carbono producido por el alto horno y la pirólisis de la madera, y a partir de los siete años se produce la reacción inversa, pero el árbol es maderable y está listo para su corte y la producción de carbón vegetal.

6.2. CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS PARA UNA PLANTA DE ACERO

Por lo que se puede concluir que en Bolivia al presente todos los eslabones constituyen campos de inversión prácticamente vírgenes, y en los que es necesario invertir si en verdad se quiere despegar en un proceso de industrialización que permita estructurar un proceso de desarrollo sostenible en el país y por ende mejorar la calidad de vida de los bolivianos.

Sin embargo, proyectos de esta envergadura, requieren de ingentes cantidades de energía para cada una de estos eslabones, a continuación se presenta un análisis inicial de estos requerimientos, para luego conjugar estos datos con las disponibilidades de gas natural con que se contaría para la generación de energía y su efecto sobre el conjunto.

Siderúrgica del Mutún

Producción	t/a	t/d	t/h
Pellets	10.000.000,00	27.777,78	1.157,41
DRI	6.000.000,00	16.666,67	694,44
Acero	1.700.000,00	4.722,22	196,76
Consumo de energía	550,00	KWh/t	
	30,30	Kg/MW.min	

Horno de arco eléctrico

	550,00	KVA/t	cos φ = 0,85
Potencia aparente requerida	381,94	MVA	449,35 MW
Unidades requeridas	1	2	5
Capacidad, t/h	694	347	139
Diámetro del horno, m	13	10	7

Colada continua

sección	capacidades, (t/h)		
	velocidad, m/min	línea	máquina / líneas
cuadrada: 80 - 160		8 - 22	64 - 170 / 8
100 x 100	2,8 - 3,0		

1 máquina de 8 líneas

Producción anual, (t/año)	190.080,00	por línea
	1.520.640,00	por máquina

Este análisis en primer lugar muestra que es fundamental contar con políticas y planes integrales que prevean y garanticen cumplimientos internacionales contraídos por el país, aseguren los requerimientos futuros para la cobertura de energía, así como la cantidad suficiente de materia prima para el sector petroquímico.

7. CIENCIA DE MATERIALES

La ciencia de materiales como tal, comprende los siguientes campos:

- Metales y aleaciones
- Materiales cerámicos
- Materiales poliméricos
- Materiales compuestos
- Materiales semiconductores
- Biomateriales

Metales y aleaciones

En cuanto se refiere a este sector, en el país se ha desarrollado el mismo de una manera muy incipiente ya que al presente sólo existen plantas metalúrgicas en las que se produce estaño metálico y algunas que agregan valor al metálico con la producción de peltre, por una parte; por otra, existe una planta en la que se produce metal doré y varias pequeñas fundiciones que producen su materia prima a partir del tratamiento de chatarra, tal el caso de las fundiciones no ferrosas que producen piezas en base a aleaciones de cobre, (diversos tipos de bronce y latón), por una parte y otras piezas en base al aluminio y alguna de sus aleaciones (silumin), por otra.

La no existencia de políticas de fomento, ha impedido la diversificación de la producción de metales base, tales como el zinc, plomo, wolfram y otras tradicionales, amén de aquellos metales no tradicionales para la minería boliviana como por ejemplo la producción de titanio y otros. Esto, sin tomar en cuenta la explotación de los recursos evaporíticos con que se cuenta.

Materiales cerámicos

El desarrollo producido en el campo de los materiales cerámicos en las últimas décadas es digno de ser destacado. Ello ha obligado a un replanteo continuo de conceptos y metodologías y exige el uso de métodos experimentales más sofisticados.

Todo material es el resultado de un proceso de fabricación que partiendo de determinadas materias primas obtenidas mediante el procesamiento estrictamente controlado y a través de determinados ciclos térmicos y diferentes técnicas de conformado, llegue a una determinada estructura. Esta estructura es la responsable de las propiedades del material y estas propiedades son las que determinan su comportamiento en sus diversos usos y aplicaciones.

Las crecientes exigencias de estos últimos, obligan a reformular los procesos de fabricación para ajustar la estructura y obtener mejores propiedades.

La cerámica es la industria más antigua del mundo y los productos cerámicos tienen una enorme variedad de aplicaciones. Es necesario estudiar con mayor detenimiento el método de preparación de los productos cerámicos, que el de los productos metálicos, ya que en general, las cerámicas no se pueden forjar o maquinar a partir de

barras ó láminas para obtener una pieza determinada. En la mayoría de los casos se debe manejar materia prima moldearla o prensarla, para darle forma y luego desarrollar la estructura en la forma deseada calentándola.

Posiblemente el desarrollo de la producción de cerámicas en nuestro país se ha dado a partir de la loza de barro que se hace de arcilla (caolín), aunque en algunos casos están presentes la sílice y los feldspatos. Existen diversidad de productos que producen nuestros campesinos utilizando arcilla y hornos rudimentarios.

En la época actual, son muchos los ensayos realizados para sustituir los clásicos ladrillos de arcilla cocida por materiales de construcción nuevos. Si se quiere que ladrillos, tejas y otros materiales de cerámica roja mantengan su posición, eso sólo ha de lograrse a través del mejoramiento de los métodos de producción, surgidos de esta competencia y de la calidad, y con ello perfeccionar los productos cerámicos.

Una medida de esta calidad la constituyen las normas y especificaciones, las cuales han de ser consideradas como un programa de exigencias mínimas. Los procedimientos de fabricación de los productos ladrilleros han cambiado y se han creado procesos de trabajo completamente nuevos y los métodos antiguos han experimentado una amplia mecanización y control del medio ambiente.

Se ha dado un paso significativo en nuestro medio en la producción de baldosas, pisos y revestimientos cerámicos (nuevas tecnologías), donde la elección de las materias primas y su tratamiento, vienen determinadas siempre por las características exigidas al producto acabado.

El uso de mezcla triaxial u otras mezclas para la producción de loza china, porcelana, etc., que se cuecen a mayores temperaturas, no ha tenido un desarrollo en el sector productivo del país; y no tenemos actualmente una producción de vajilla de mesa, de cocina, artículos de decoración y adorno.

Por otra parte, la producción de artículos sanitarios es de pequeña escala y no satisface la demanda interna del país tanto en calidad como en cantidad. Se trata de piezas de gran tamaño que se fabrican por colada de barbotinas tradicionalmente en moldes de yeso y se están aplicando con éxito moldes de plástico.

Es necesario desarrollar la producción de materiales refractarios y aislantes para revestimientos de hornos, cucharas, etc., es decir, para manejar metales líquidos y escorias, ya que las que se tienen actualmente no satisfacen la demanda de calidad y propiedades exigidas.

La fabricación y el uso de los pigmentos para la cerámica tiene más de arte que de ciencia. Es cierto que en los últimos años se ha obtenido mucha información general sobre los pigmentos, pero para muchas aplicaciones todavía prevalece el criterio artesanal y la experiencia.

Por otra parte, se producen vidrios planos, templados que aparentemente no satisfacen la demanda y en el mercado existe gran cantidad de oferta de vidrios importados. Se debe mejorar la producción de vidrio plano e introducirnos en la producción de vidrio para vehículos de transporte, ya que este renglón requiere de vidrios especiales para asegurar la máxima visibilidad y seguridad, así

como el confort acústico y térmico; sin embargo, no se debe descuidar la producción de envases diversificados, (vasos, botellas, etc.) y vajilla.

Se habla cotidianamente de materiales nuevos y avanzados y se los reconoce como la base que sustenta los grandes avances tecnológicos de la actualidad, muchos están por el momento fuera de nuestro alcance (producción de ferroeléctricos, semiconductores, lentes, sensores, fibras ópticas, termistores, etc.), pero otros pueden ser desarrollados, tales como aisladores grandes, como los que se emplean en las líneas de transmisión de alta tensión y componentes electrónicos pequeños como condensadores e imanes; las porcelanas dentales, la producción de abrasivos para corte y pulido en la producción de discos o muelas abrasivas como en la fabricación de papel lija.

El desarrollo de la industria de la cerámica en el país se encuentra en un estado relativamente incipiente, concentrando su actividad en el segmento tradicional.

Sin embargo, los nuevos campos de aplicación de los materiales cerámicos, que se obtienen con tecnología de punta, no están siendo tomados en cuenta.

La industria del vidrio, está al presente subsistiendo, en los renglones tradicionales, con serios problemas de competitividad con empresas del extranjero.

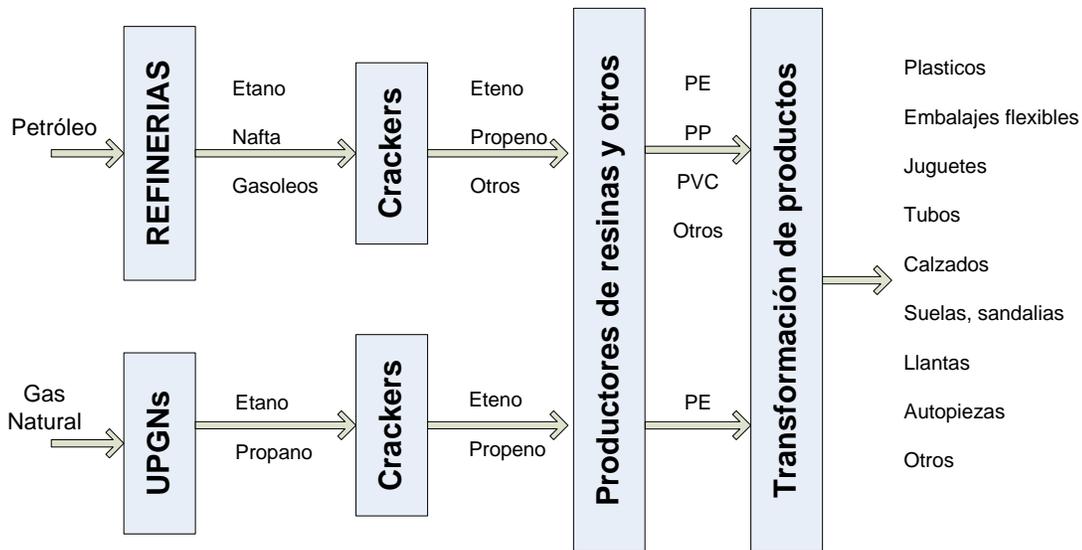
Materiales poliméricos (plásticos)

Un polímero es lo que se conoce en el lenguaje común como “plástico”, el cual es un material sólido, cuyo principal ingrediente es un compuesto orgánico de alto peso molecular, que puede contener aditivos como rellenos de espacios moleculares, plastificadores o ablandadores que hacen mas o menos flexibles a estos materiales, retardadores de inflamación o fuego y cosas parecidas.

En Bolivia actualmente se hace uso de productos, comprados del extranjero, resinas poliméricas y otros, llamados productos de SEGUNDA GENERACIÓN, algunos de ellos son los poliestirenos o la goma de butadieno y estireno o los polietilenos, los polipropileno, los elastómeros, estos materiales están en forma de plástico o polvos. Estas resinas usadas en plantas pequeñas en Bolivia sirven para producir plásticos para embalaje, botellas de plástico y otros usos simples.

El 95% de los productos de plástico que se consume en nuestro país son importados, el 5% corresponde a lo indicado ó sea a la fabricación de bolsas de plástico y botellas para bebidas, y envases de otros productos, a partir de las resinas importadas.

Un esquema de cómo se produce esta materia prima podemos ver en el siguiente cuadro preparado por Suzano Petroquímica del Brasil, que resume el estado actual de la Petroquímica en Bolivia:



Como puede observarse del cuadro, Bolivia tiene Petroquímica cero, una industria fundamental para el desarrollo como lo es la siderúrgica.

Es imperioso desarrollar estas industrias en nuestro país para salir del subdesarrollo. El gas natural que actualmente vende Bolivia a

los países vecinos contiene líquidos, etano y propano, que pueden ser separados en forma líquida del gas que principalmente es metano para usarse como materia prima para la petroquímica y de este modo tener los insumos o resinas para producir los productos de ‘tercera generación’ y otros para el país y lo restante exportar.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos en su mayor parte gaseosa que tiene componentes esenciales para la industria petroquímica que son el etano y el propano, materia prima para la producción de polietilenos como también polipropileno.

En su utilización comercial el gas natural, después de ser extraído, es alimentado en las UPGNs, en las cuales será separado en dos fracciones: a) una gaseosa denominada gas seco constituida principalmente por metano, y b) una fracción líquida, denominado líquido de gas natural (LGN), que posteriormente será fraccionada en etano y propano, además de servir de base para el GLP (gas de cocina) y el condensado de gas natural también llamado de gasolina natural del proceso, el etano y el propano son encaminados a los productores de segunda generación que serán usados como insumos petroquímicos, para productos finales ya indicados como los polietilenos, los polipropilenos y otros ya indicados que sería la materia prima para la tercera generación de lo que se hace una muy pequeña parte, embalajes plásticos, algunas utilidades domésticas, pero no se hace uso en la fabricación de calzados, suelas de sandalias de plástico y de goma, llantas, auto piezas, tubos de plástico y otros.

El procesamiento industrial del gas da como resultado la obtención de una serie de materiales, entre ellos, diferentes tipos de plásticos, combustibles líquidos, resinas, lubricantes, etc.

Aplicaciones del gas natural

Todo esto muestra cuan importante es tener una industria petroquímica, considerada la madre de las industrias, para tener materia prima para la TERCERA GENERACIÓN y producir todos los productos de plástico que se consume en el país.

Al presente el país está transformando polímeros en productos terminados en las diferentes ciudades de Bolivia.

Para el proceso se está importando todos sus insumos de diferentes puntos del planeta, con el consiguiente efecto negativo en la balanza comercial del país.

En este contexto, se plantea la necesidad de dimensionar de una forma seria y responsable la venta de gas natural, con el propósito principalmente de:

1. Generar capital que permita la implementación de plantas petroquímicas en base a los líquidos presentes en el gas natural boliviano así como en base al compuesto mayoritario, (metano).
2. Generar la energía necesaria para el desarrollo de la industria siderúrgica boliviana y cubrir la demanda energética de la renaciente industria minera, así como de otros segmentos de la industria manufacturera.
3. Instalación de plantas petroquímicas con el propósito de generar como productos, aquellas materias primas, que hoy por hoy son importadas por la incipiente industria manufacturera nacional.

Se plantea la instalación de una planta petroquímica que en una primera etapa produzca principalmente polietileno, polipropileno, PVC y otras materias primas para el sector.

A manera de referencia se citan algunos datos:

- Inversión: \$us 1.200 millones
- Producción: 40 MMmpd
- 600,000 T/M año de polietileno
 - 500.000 t/m Brasil
 - 100,000 t/m Argentina, Paraguay

esta planta consumiría el etano que se genere al procesar el gas natural y en 20 años se consumirían 0.62 TPC.

Materiales semiconductores

Se deberá fomentar la investigación de campos de aplicación de nuestros productos metálicos en el clúster de la producción de materiales semiconductores, orientando a los productores para que estos puedan diversificar su producción, dirigiendo la misma a satisfacer las necesidades de este nuevo mercado.

Biomateriales

Este segmento no ha sido considerado hasta el momento y debe ser impulsado, comenzando quizá con la producción de materiales para el sector dental y luego ir incursionando en otros campos, aplicando el concepto de sustitución de materiales que al presente son importados.

MINERALES INDUSTRIALES

Aprovechamiento de minerales industriales

Los minerales industriales en la actualidad no tienen un papel activo de la economía nacional, pues su aporte en el aspecto económico no es significativo. Si hacemos una revisión de las estadísticas nacionales, veremos que no figuran en los puestos importantes. Los minerales industriales principales son los relacionados con la industria del cemento y la cerámica, que explotan yacimientos de caliza y arcillas. Otro tipo de minerales industriales no se los explota ya que no se han hecho prospecciones de los posibles yacimientos y su posterior explotación en forma económica. Otro tipo de minerales industriales son las piedras preciosas que existen en el oriente del país (lagunas Mandiore y la Gaiba).

CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES NO METÁLICOS

Estos materiales pueden ser agrupados de la siguiente manera:

- Grupo I. Materiales Cerámicos: arcilla, feldespato y cuarzo.
- Grupo II. Materiales para la construcción: cal, arena, y grava, yeso y piedra de construcción.
- Grupo III. Materiales químicos: azufre, sal gema, piedra caliza, fluorita, baritina y bórax.
- Grupo IV. Materiales metalúrgicos y refractarios: fluorina, cal, bórax y arcilla (caolín).
- Grupo V. Materiales Industriales: arena silíceo, baritina, piedra caliza, turba, bórax, fluorita.
- Grupo VI. Materiales fertilizantes y abonos: fosfatos, yeso, cal y azufre.

Materiales cerámicos

Los materiales cerámicos existentes, son de tres clases y están compuestos principalmente de illita y montmorillonita, utilizándose en la fabricación de ladrillos tejas y tubos de mediana capacidad. En cuanto a los feldespatos se ha detectado su presencia en el oriente boliviano, yacimiento de importancia comercial que permitiría el establecimiento de una industria cerámica en esa región. El cuarzo, como yacimiento no existe, encontrándose este como acompañante de muchos minerales metálicos como mineral de ganga. Existen además otras variedades de cuarzo en algunas minas junto con otros minerales.

Materiales para la construcción

La cal es de mayor uso en la industria del cemento y menores volúmenes se usan en la industria del vidrio o otros productos químicos. La cal se obtiene a partir de calizas en pequeños hornos al estado del cal viva para su aplicación, es apagada con agua. El yeso, es otro material de construcción muy empleado en la construcción. En la industria de la construcción sirve para fabricar el estuco. Las fábricas de cemento se ubican cerca de los depósitos de calizas y cerca de los depósitos de yeso, de ese modo, para Viacha se tiene los mantos de yeso de Achachicala.

En Cochabamba se provee de los yacimientos de Orcoma y la fábrica de Cal Orko. Los materiales de construcción en esencia está compuesta grava y arena que es la principal consumidora de minerales metálicos y no metálicos. Las rocas industriales son de gran volumen y bajo valor. Entre las rocas usadas están las rocas ígneas que no absorben agua. Las areniscas son utilizadas como piedra de construcción y decorativa. Otras, como la areniscas silúricas hasta las cretácicas conocidas como "piedra Tarija", son usadas como placas de revestimiento. Las cuarcitas dimensionadas son empleadas en fachadas de edificio. Existe también la posibilidad de industrializar granito rojo de Tata Sabaya y gneis de Uyari Turco como rocas ornamentales.

Materiales para la industria química

El azufre es uno de los elementos químicos de más importancia y se presenta como azufre nativo. Los depósitos se deben a la acción de fumarolas y solfataras en las regiones donde existió volcanismo. Existen enormes depósitos de azufre volcánico en la cordillera occidental, donde se carece de buenos caminos. Otro mineral no metálico importante es la sal y que existe abundantemente en los salares de Coipasa y el salar de Uyuni, la forma de presentación en estos depósitos es como la sal común, conteniendo alrededor de 96% de cloruro de sodio. Se puede considerar estos salares Como una fuente inagotable de sal debido a su constante formación.

Materiales para metalurgia y refractarios

Algunos minerales no metálicos, de los que no son empleados en la industria metalúrgica, son la fluorina, la cal, boratos arenas y arcilla. La fluorita llamada también espatoflúor se utiliza principalmente como fundente en nuestras fundiciones. El caolín es otro tipo de arcilla que eventualmente en la fabricación de refractarios.

Materiales industriales

Existen muchos depósitos de arena no consolidada en Oruro en forma de acumulaciones denominadas dunas. Cuarzo para refractarios serían los de Paria (Oruro). A 30 Km de Cochabamba, sílice rojo y blanco con 98% de SiO₂ para la fabrica de refractarios SIM-SA de Cochabamba. Las arenas puras permiten la fabricación de vidrio, así las arenas de la isla del Sol son blancas de 95% de sílice. Existen también arenas eólicas al norte de San José de Chiquitos y del valle de Tucavas que son aptas para la fabricación de vidrio.

La baritina, es otro elemento apto para uso industrial, se encuentra como mineral de ganga en las minas de wólfram y antimonio. Existen vetas gruesas poco explotadas se encuentran alrededor de las ciudades de Oruro, Cochabamba, La Paz y Potosí. Barolivia Ltda., es la compañía minera que tiene una planta procesadora de baritina y bentonita, destinada a abastecer de estos aditivos a compañías de hidrocarburos para lodos de perforación de pozos.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se considera que es vital contar con políticas que permitan consolidar el desarrollo sostenible del sector productivo, su diversificación, modernización y adecuación a nuestra realidad; en ese contexto, se sugieren los siguientes lineamientos que deberían ser parte de la nueva política del sector productivo minero-metalúrgico, siderúrgico, manufacturero y petroquímico :

1. El Estado boliviano debe implementar una política para el sector productivo de fomento al valor agregado en los segmentos tradicionales del sector metalúrgico, siderúrgico y manufacturero, privilegiando a industriales que asuman el reto, tanto de realizar nuevas inversiones como de reinvertir, con una política tributaria adecuada y moderna.
2. Las utilidades que genere la explotación de los recursos naturales no renovables (mineros e hidrocarbúferos) primero deben garantizar la industrialización del país en el marco del desarrollo sostenible para mejorar o elevar el nivel de calidad de vida del pueblo boliviano, porque de lo contrario cuando estos recursos se agoten o las condiciones de mercado no sean favorables no tendremos oportunidad de diversificar nuestra economía.
3. El uso irracional de las utilidades pondría en peligro la calidad de vida de las generaciones futuras, por lo que la distribución de excedentes debe estar supeditada y priorizada por los proyectos nacionales de desarrollo.
4. Se debe adecuar la legislación tributaria, aduanera y otras conexas, para ser un país conveniente para invertir en desarrollo sostenible privilegiando los proyectos que generen mayor valor agregado para nuestros recursos naturales no renovables.
5. Para los casos de exportación de materias primas o semi-elaboradas, la tributación debe considerar todos los componentes valorables que las acompañen, a objeto de que se

- oriente en el futuro a su elaboración completa en territorio nacional.
6. El sector minero debe ser reactivado apoyando el desarrollo de la minería estatal (COMIBOL), privada (Mineros medianos y chicos) y cooperativas, en base a una minería altamente diversificada y competitiva aprovechando los enormes recursos del precámbrico y del occidente.
 7. La construcción del país requiere del esfuerzo y concurso de todos, y en esa tarea debe valorarse a cada sector en sus fortalezas y oportunidades, así por ejemplo la producción de un minero artesanal puede ser mínima pero junto a la de miles de otros mineros chicos se alcanzan valores y cantidades que superan indicadores de grandes corporaciones.
 8. Para ello son necesarias las siguientes acciones: (a) Capitalización y fuentes de financiamiento, (b) Mercadeo (desde la búsqueda de nichos de mercado hasta los canales de comercialización), (c) Apoyo tecnológico y transferencia de tecnología, (d) seguridad jurídica para las inversiones, (e) Capacitación y actualización de mano de obra calificada nacional.
 9. El Estado boliviano debe fomentar la investigación en las Universidades y otras instituciones nacionales con el objetivo de orientar y alentar las inversiones, promoviendo nuevos campos de aplicación de nuestras materias primas, metales, nuevos productos de exportación y otros.
 10. Será necesario hacer una revisión y actualización del Código de Minería para adecuar estas políticas a esta nueva realidad, garantizando viabilidad y pertinencia en el mismo.
 11. Las concesiones mineras deben responder a un modelo de desarrollo sostenible, porque la política anterior del minifundio de concesiones y la actual del latifundio in viabilizan la explotación racional y oportuna de yacimientos.
 12. El Estado debe reasumir su rol protagónico en la prospección y exploración de nuevos yacimientos y su cuantificación recurriendo para ello a nuevas tecnologías y a la cooperación internacional
 13. Se debe estimular la instalación de plantas de beneficio de minerales y materiales incorporando nueva tecnología para hacerlas competitivas.
 14. Fomentar la inversión del sector privado tanto nacional como internacional en proyectos de tipo clúster (cadenas productivas) minero, metalúrgico, siderúrgico, manufacturero, energético, petroquímico e industrial.
 15. Promover la realización de proyectos complementarios que garanticen el desarrollo de las actividades del sector productivo (transporte, provisión de materiales auxiliares, energía, etc.)
 16. Sustituir gradualmente todas las importaciones de insumos y materiales requeridos para la actividad productiva y respaldar la defensa del mercado interno fomentando la producción nacional.
 17. El Estado debe reasumir su rol promotor de la producción, transformación y comercialización de materias primas y elaboradas creando los mecanismos e incentivos necesarios.
 18. La coyuntura actual favorable de buenos precios de las materias primas tanto minerales como hidrocarbúferas debe ser aprovechada rápida, eficaz y eficientemente para que el país se beneficie de éste ciclo favorable sin caer en la tentación del cuento de la lechera ni en el interminable discurso político de un modelo de Estado ideal que nos haga perder el tren de la oportunidad actual.