



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingeniería y negocios

Ingeniería en minas

**“FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN, PROCESOS Y
COMERCIALIZACIÓN DE TIERRAS RARAS EN CHILE.”**

Informe de Titulación para ser
presentado como requisito para optar
al título de Ingeniero en Minas.

Profesor Responsable:

Alejandro Ramírez.

**Isabel Pinilla B.
Concepción, Chile.**

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis abuelos y a mis padres que me estuvieron apoyando, y confiando en mi en todo momento.

También expresar mi agradecimiento a mis profesores que me enseñaron, aconsejaron e instruyeron en mi formación profesional como ingeniero en minas.

Y finalmente agradezco a todos mis compañeros, quienes hicieron más agradable mi estadía por la universidad.

DEDICATORIA

A mi familia y amigos.

RESUMEN

La presente tesis se basa en la factibilidad para la extracción de Tierras Raras desde relaves de Hierro en Chile, debido a la necesidad de obtener estos Elementos con altos grados de pureza. A pesar de que Chile es un país minero, se tiene poca experiencia y mucho desconocimiento del mercado de las Tierras Raras.

Para este proyecto se ha decidido contextualizar en la Industria nacional y posteriormente estudiar, con el FODA y el modelo estratégico de las 5 fuerzas de Porter la industria, con el objetivo de poder demostrar si es o no factible realizar un tipo de mercado así en Chile.

Finalmente se realizara una evaluación costo-beneficio para definir si es económicamente factible este tipo de proyecto en este país.

SUMMARY

This thesis is based on the feasibility of the extraction of Rare Earth Elements from Iron tailings in Chile, due to the need to obtain these Elements with high degrees of purity. Although Chile is a mining country, there is little experience and much ignorance of the Rare Earth Elements market.

For this project it has been decided to contextualize in the national industry and subsequently study, using SWOT and Porter's 5 forces strategic model, the industry, in order to be able to demonstrate whether or not it is feasible to develop this kind of market in Chile.

Finally, a cost-benefit analysis will be made to define if this type of project is economically viable in this country.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. METODOLOGÍA.....	3
CAPITULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. LA MINERÍA EN CHILE	4
2.2. TIERRAS RARAS.....	6
2.3. PROPIEDADES GENERALES DE LAS TIERRAS RARAS	8
2.3.1. Estructura Cristalina	8
2.3.2. Estructura y configuración electrónica	9
2.3.3. Propiedades magnéticas.....	9
2.4. PROPIEDADES Y APLICACIÓN DE LOS ELEMENTOS	10
2.4.1. Lantano.....	10
2.4.2. Cerio	11
2.4.3. Praseodimio.....	12
2.4.4. Neodimio.....	13
2.4.5. Prometio.....	14
2.4.6. Samario.....	15
2.4.7. Europio	16
2.4.8. Gadolinio	17
2.4.9. Terbio	18
2.4.10. Disprosio.....	19

2.4.11.	Holmio.....	20
2.4.12.	Erbio.....	21
2.4.13.	Tulio.....	22
2.4.14.	Iterbio.....	23
2.4.15.	Lutecio.....	24
2.4.16.	Escandio.....	25
2.4.17.	Itrio.....	26
2.6.	MODELO DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER.....	29
2.6.1.	Amenaza de entrada de nuevos competidores.....	29
2.6.2.	Poder de negociación de los proveedores.....	30
2.6.3.	Poder de negociación de los compradores.....	30
2.6.4.	Amenaza de ingreso de productos sustitutos.....	31
2.6.5.	La rivalidad entre los competidores.....	31
2.6.6.	Barreras de entradas.....	32
2.7.	FODA.....	35
2.7.1.	Objetivos.....	35
2.7.2.	Análisis Interno.....	36
2.7.3.	Análisis externo.....	37
2.8.	MERCADO.....	38
2.9.	FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	39
2.10.	INDICADORES FINANCIEROS.....	40
2.10.1.	VAN.....	40
2.10.2.	TIR.....	41
2.10.3.	PRC.....	42
CAPITULO III.....		43
ANÁLISIS DE MERCADO.....		43
3.1	TIERRAS RARAS EN CHILE.....	43
3.2	ANÁLISIS DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER.....	45
3.2.1.	Amenaza de entrada de nuevos competidores.....	45
3.2.2.	Poder de negociación de los proveedores.....	46

3.2.3.	Poder de negociación de los compradores	46
3.2.4.	Amenaza de ingreso de productos sustitutos	47
3.2.5.	La rivalidad entre los competidores.....	47
3.3	ANÁLISIS FODA	49
3.3.1	Fortalezas	49
3.3.2	Debilidades.....	49
3.3.3	Oportunidades.....	49
3.3.4	Amenazas	49
CAPITULO IV	51
MÉTODO DE SEPARACIÓN	51
4.1.	INSTALACIÓN DE FAENAS	51
5.1.	Oficinas Administrativas	51
5.2.	Bodega de Materiales de Construcción	52
5.3.	Comedor	52
5.4.	Servicios Higiénicos	52
5.5.	Vestidores.....	52
5.6.	Gabinete de Primeros Auxilios.....	53
5.7.	Almacenamiento de Combustible	53
5.8.	Agua Potable	53
4.2.	OBRAS PERMANENTES	54
4.2.1.	Planta de Procesamiento de Mineral.....	54
4.2.2.	Descripción de la fase de construcción.....	54
4.2.3.	Construcción de la Planta de Procesamiento de Mineral	55
4.3.	METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN Y SEPARACION.....	55
4.3.1.	Lixiviación en botadero.....	57
4.3.2.	Extracción con solvente	57
4.3.3.	Purificación	58
4.3.4.	Re-extracción.....	58
4.3.5.	Precipitación.....	58
4.3.6.	Calcinación.....	58

4.3.7. Envasado del Producto	59
4.3.8. Cantidad de Mineral a Procesar.....	59
CAPITULO V	60
FACTIBILIDAD ECONOMICA	60
5.1. Ingresos	60
5.1. Costos.....	60
5.2. Inversiones	61
5.3. Depreciación.....	62
5.4. Financiamiento	62
5.5. Flujo de caja proyectado a 5 años	63
5.6. Indicadores Financieros.....	64
CAPITULO VI	65
CONCLUSIÓN.....	65
CAPITULO VII	66
BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA	66
CAPITULO VIII	68
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recursos REE, prospecto Cerro Carmen	59
Tabla 2. Ingresos por venta Año 1.	60
Tabla 3. Ingresos por venta desde el año 2.	60
Tabla 4. Costos Variable año 1.	60
Tabla 5. Costos variables desde el año 2.	61
Tabla 6. Costos Fijos.	61
Tabla 7. Inversión.	61
Tabla 8. Depreciación lineal.	62
Tabla 9. Amortización del crédito.	62
Tabla 10. Flujo de Caja Operacional.	63
Tabla 11. Flujo de Capital.	63
Tabla 12. Flujo de Caja.	64
Tabla 13. Flujo de Caja Acumulado.	64
Tabla 14. VAN, TIR, PRI del Proyecto	64

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tierras Raras	7
Ilustración 2. Los mayores depósitos de Tierras Raras a nivel mundial.	28
Ilustración 3. Las 5 Fuerzas de Porter.	34

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está enfocado en la factibilidad de la extracción, procesos y la comercialización de Tierras Raras en Chile.

Durante la última década el rubro minero se ha abierto gradualmente hacia la exploración y extracción de minerales cada vez más novedosos y estratégicos, entre éstos se encuentran las Tierras Raras, un grupo de 17 elementos constituido principalmente por los Lantánidos, esenciales en la economía actual debido a que diariamente son usados en la fabricación de tecnología de punta.

Las Tierras Raras durante muchos años fueron poco conocidos y a la vez, resultan difíciles de separar por algún método de concentración tradicional, dado esto, se han desarrollado nuevas tecnologías que han hecho posible su explotación.

Se debe destacar que China tiene el 48% de las reservas mundiales de tierras raras, las cuales se extraen mayoritariamente de los relaves que genera la minería del hierro.

En Chile se ha descubierto un nuevo yacimiento a cargo de la Minera Biolantánidos que tras analizar muestras de arcillas encontró la presencia de Tierras Raras, en el fundo "El Cabrito", en la comuna de Penco.

Este proyecto se basará en la extracción de tierras raras desde relaves de Hierro.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de que Chile es un país minero, se tiene poca experiencia y mucho desconocimiento del mercado de las Tierras Raras, algo que también es complicado, es la tecnología necesaria para poder separar las Tierras Raras del mineral.

Otro aspecto importante y que es desfavorable son los costos ambientales de producción y los salarios altos, ya que lo primero es fundamental para el momento de poner en marcha un proyecto de este calibre y lo segundo influye directamente en el costo de producción de los elementos de Tierras Raras, disminuyendo así la rentabilidad que puede tener nuestra empresa y por último, pero no menos importante es el momento político inestable, ya que al comenzar una empresa se necesitan inversiones y que posiblemente sean del extranjero, sin embargo con esta situación los capitalistas no estarían muy convencidos en invertir en un país con una situación política inestable.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de obtener Elementos de Tierras Raras con altos grados de pureza y a costos menores motiva la generación de nuevas metodologías de obtención y purificación.

Las Tierras Raras son de gran importancia, debido a que con el desarrollo de la nanotecnología prácticamente todos los dispositivos de última generación contienen en algunas de sus piezas estos minerales, es por este motivo que son utilizadas ampliamente en la industria informática, militar y en la generación de energías renovables.

Por esta razón es trascendental que el mercado de las Tierras Raras se desarrolle en países que posean estos minerales, incluido Chile, y comiencen a desarrollar e implementar tecnología con el motivo de la producción de estos elementos. La minería en Chile se caracteriza particularmente por el tratar algunos minerales tales como el oro, plata, cobre y molibdeno. Sin embargo, es necesario diversificar este campo debido a que en Chile existen otros minerales con gran potencial económico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

El objetivo del proyecto consiste en determinar la factibilidad para la extracción y procesos de separación de Tierras Raras en Chile, y posterior comercialización como materia prima.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar la existencia y los lugares donde hay concentración de Tierras Raras en Chile.
- Determinar la factibilidad de mercado de esta industria.
- Determinar qué proceso de separación es más conveniente utilizar.
- Determinar la factibilidad económica.

1.5. METODOLOGÍA

La metodología con que se desarrollará será a través de una investigación para determinar la existencia y cuáles son los lugares donde se concentran las Tierras Raras en Chile.

Luego se procederá a realizar un análisis FODA y del modelo de las 5 Fuerzas de Porter con el objetivo de poder demostrar si hay o no un mercado factible para este tipo de proyecto.

Una vez terminado estos análisis de mercado se indagará en las nuevas metodologías de obtención y purificación para obtener estos elementos con altos grados de pureza y a costos menores.

Para finalizar se llevará a cabo una evaluación costo-beneficio con conocimientos adquiridos en clases.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1. LA MINERÍA EN CHILE

La minería forma parte de la identidad de Chile como nación, y ha sido y sigue siendo clave para el desarrollo del país. Su importancia ha sido evidente durante la historia, es innegable su aporte presente y futuro por ser una industria de largo plazo.

Chile ha llegado a ser líder en diversos rubros de la minería mundial, como sabemos es el primer productor de cobre, molibdeno, nitratos naturales, yodo y litio, así como su destacada producción de plata.

La minería ha sido protagonista de la senda de crecimiento que ha tenido la economía chilena en las últimas décadas. En la minería no metálica, es el único productor mundial de salitre natural que da origen a una enorme variedad de productos de valor agregado.

Luego de una producción de cobre estancada en torno a 1,4 millones de toneladas anuales durante los años '80, en la década siguiente se observó un crecimiento sostenido, alcanzando más de 4 millones de toneladas. Posteriormente ese crecimiento continuo, aunque a menor ritmo, y en los últimos años la producción se está acercando a 6 millones de toneladas anuales. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de los '90 a un 32% en años recientes, y un 30% durante el 2015.

Cabe destacar que el crecimiento se observó tanto en la minería privada de capitales extranjeros y capitales nacionales, como en la minería estatal, dando origen quizás al caso más notable de convivencia entre los tres modelos de propiedad.

Aunque, muy marcado por las fluctuaciones de precios, la participación de la minería en el PIB se ha ubicado en torno al 9%, desde mínimos en torno al 7% en algunos años de los '90, hasta máximos sobre el 20%, en algunos años de la segunda mitad de la década del 2000.

Desde la promulgación del Estatuto de Inversión Extranjera en 1974 hasta el año 2012 se han materializado inversiones por más de 90 mil millones de dólares, de los cuales un tercio corresponden a minería.

Por otra parte, la participación de las exportaciones mineras en relación al total de envíos de Chile sigue siendo la más importante de nuestra economía, el cobre representa más del 90% de las exportaciones mineras del país, mientras que un 55% de las exportaciones corresponden a productos mineros. De igual modo, la minería es el sector económico con mayor contribución a los ingresos fiscales, con una participación cercana al 15% durante el 2012, presentando una baja durante el 2013 en adelante. Hoy se sitúa en torno al 7,8%.

Junto con las condiciones jurídico–institucionales, reforzadas por el marco de estabilidad democrática y consensos políticos, el despegue de la minería también se hizo posible por la calidad de sus capital humano.

Un último factor que cabe destacar y que facilitó la expansión minera es la adecuada infraestructura vial, portuaria, energética y de comunicaciones, que en parte ha sido provista a partir de la propia actividad minera (SONAMI y El Mercurio, 2012-2013).

2.2. TIERRAS RARAS.

La palabra “tierra” viene de la antigua denominación que se daba a los óxidos y minerales que presentaban aspecto terroso, y lo de “raras”, no se refiere a la dificultad de encontrarlos, sino a la dificultad para separar los elementos desde sus minerales; los yacimientos de estos elementos normalmente se mezclan con otros materiales geológicos y resulta complicado extraerlos individualmente.

Se conoce mundialmente como tierras raras, también llamados metales especiales, a un conjunto de 17 elementos que tiene propiedades particulares dentro de la tabla periódica (il.1), 15 de los 17 elementos que componen las tierras raras provienen del grupo de los lantánidos, se ubican en la sexta fila de la tabla periódica y sus números atómicos van entre el 58 y 71, los lantánidos se dividen según su peso atómico, por un lado, en “Tierras Raras Livianas”, a los que pertenecen el lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometeo y el samario; por otro lado están las “Tierras Raras Pesadas”, y son el europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio. Todos se hallan como óxidos, encapsulados dentro de minerales, menos el Prometeo.

A los lantánidos, se suman el escandio (21) e itrio (39), se encuentran en otro lugar de la tabla pero tienen características muy parecidas, por esta razón la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (Iupac) considera que los elementos que forman las tierras raras son 17.

El primer elemento de la lista de las tierras raras fue descubierto por el químico finlandés Johan Gadolin en 1792, después de recibir y analizar un mineral pesado de la aldea sueca de Ytterby, del análisis del mineral los químicos suecos aislaron varios elementos, entre los cuales estaba uno que no conocían, al que bautizaron iterbio en honor al pueblo donde lo encontraron; los elementos subsiguientes fueron identificados y aislados a lo largo de 150 años, la última tierra rara en ser descubierta, en 1945, es el prometeo, que es radiactivo y es el más escaso de todos los elementos del grupo (BBC mundo,2014).

CLASIFICACIÓN DE LAS TIERRAS RARAS



Ilustración 1. Tierras Raras

2.3. PROPIEDADES GENERALES DE LAS TIERRAS RARAS

Todas las tierras raras tienen propiedades físicas y químicas semejantes, debido al hecho que todas ellas forman iones trivalentes estables de tamaño similar, aunque estas propiedades varían cuando las sustancias derivadas de las tierras raras presentan impurezas o se hallan en combinación de otros elementos, y sus puntos de fusión y ebullición cambian drásticamente.

Estos metales son todos densos moderadamente y blandos, con puntos de fusión que oscilan en torno a los 1000°C, y puntos de ebullición cerca de los 3000°C. Químicamente hablando, los metales poseen una reactividad muy similar a la de los elementos que conforman el grupo de los alcalinotérreos

Además, son un grupo de elementos de muy baja movilidad durante los procesos de alteración a baja temperatura.

Los elementos del grupo f poseen radios iónicos similares, así como el comportamiento químico, hasta el punto que no pueden separarse mediante los métodos químicos corrientes de precipitación selectiva sino mediante una laboriosa cristalización fraccionada (Ángeles Méndez, 2011).

2.3.1. Estructura Cristalina

Los lantánidos se pueden clasificar según su estructura cristalina en cinco grupos: con estructura hexagonal cerrada, hexagonal doble cerrada, cubica centrada en las caras, cubica centrada en el cuerpo y una estructura única para el samario tipo romboide rhom.

Al haber un cambio en la temperatura del metal, este puede sufrir una transformación en su estructura; gradualmente pasa de una estructura hexagonal a una cubica centrada en las caras, en 1982, skriver intento explicar este fenómeno atribuyendo su comportamiento a la variación en el número de ocupación de la banda d en la serie.

2.3.2. Estructura y configuración electrónica

Las tierras raras son elementos que se comparan con los metales de transición a través de su estructura electrónica. Las celdas electrónicas se deben llenar progresivamente en ambos casos al aumentar el número de electrones por átomos, en el caso de los metales de transición se llaman orbitales 3d, 4d o 5d, mientras que en los lantánidos se deben llenar la capa 4f. Dicha configuración hace que los electrones de las últimas capas se localicen dentro del orbital 4f y sus tres electrones de valencia provengan de los niveles 5d y 6s, mientras que para el escandio y el itrio se encuentren en los niveles 3d4s y 4d5s, respectivamente.

Esta configuración puede variar en ciertos elementos al unirse dos o más átomos para formar metales simples.

El potencial que experimentan los electrones en la capa 4f se determina mediante la densidad de carga del total de electrones del metal. Los electrones 4f de los lantánidos tienen características muy diferentes a aquellos electrones de valencia en niveles s, p y d de otros átomos. Especialmente, la función de onda de los electrones 4f asemejan más a las de los electrones del core en comparación de la función de onda de los electrones de valencia.

2.3.3. Propiedades magnéticas

Las propiedades magnéticas de las tierras raras depende de la contribución del espín de los electrones 4f que se encuentran muy localizados en el átomo; esta propiedad también se encuentra en función de la temperatura a la cual se encuentre el sólido. Algunos como el gadolinio, mantienen su estructura magnética constante de 0 a 300 K, mientras otros como el erbio tienen tres fases dentro de un rango menor de temperatura.

2.4. PROPIEDADES Y APLICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

2.4.1. Lantano

Símbolo: La

Número atómico: 57

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica [Xe]5d¹ 6s²

Masa atómica: 138,91 g/mol

Densidad: 4,47 g/ml

Punto de ebullición: 3470 °C

Punto de fusión: 920 °C

El estado del lantano en su forma natural es sólido, es un elemento del tipo metálico, de un característico color blanco y plateado, dúctil, considerablemente maleable y pertenece al grupo de los lantánidos, se puede encontrar en diversos minerales, aunque también se produce de forma artificial mediante la reducción de fluoruro anhidro con calcio.

Usos:

- ✓ Aleado con cerio, neodimio, praseodimio, gadolinio e iterbio forma la aleación llamada mischmetal, utilizada para fabricar piedras de encendedor.
- ✓ El óxido de lantano confiere al vidrio resistencia a las bases y se emplea para la fabricación de vidrios ópticos especiales. Además se usa para fabricar crisoles y lentes de visión nocturna.
- ✓ Es utilizado como componente de las pantallas intensificadoras de las unidades de rayos X.
- ✓ El Carbonato de Lantano es utilizado en el tratamiento de la insuficiencia Renal Crónica por su capacidad de formar complejos insolubles con fosfatos, reduciendo así la hiperfosfemia.
- ✓ En motores híbridos, baterías híbridas y aleaciones metálicas.

2.4.2. Cerio

Símbolo: Ce

Número atómico: 58

Valencia: 3,4

Estado de oxidación: +4

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^1 5d^1 6s^2$

Masa atómica: 140,12g/mol

Densidad: 6,67g/ml

Punto de ebullición: 3468 °C

Punto de fusión: 795 °C

Es uno de los 15 elementos químicos de los lantánidos, es el lantánido más abundante y económico. Se trata de un metal maleable de color gris, plateado y brillante, que tiene gran facilidad para oxidarse tornándose pardo rojizo, es buen conductor del calor y la electricidad, reacciona con los ácidos diluidos y con el agua (produciendo hidrógeno) y es inestable en el aire seco, cubriéndose de una capa de óxido en el aire húmedo.

Usos

- ✓ Convertidores catalíticos para motores de combustión interna.
- ✓ Como catalizador del proceso de cracking en la industria del petróleo.
- ✓ En mischmetal utilizado en encendedores.
- ✓ El óxido de cerio se usa para el pulido de lentes, instrumentos ópticos y semiconductores.
- ✓ En las aleaciones de los imanes permanentes.
- ✓ En el tratamiento de quemaduras bajo el nombre comercial de Flammacerium.
- ✓ En motores híbridos y baterías híbridas.

2.4.3. Praseodimio.

Símbolo: Pr

Número atómico: 59

Valencia: 3,4

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^3 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 140,907g/mol

Densidad: 6,77g/ml

Punto de ebullición: 3127 °C

Punto de fusión: 935 °C

El praseodimio es un elemento metálico que cuando se pone en contacto con el agua forma una capa de óxido de un color verdoso muy característico, el cual de hecho le da su nombre.

El elemento puede obtenerse mediante modernas técnicas de extracción, como el intercambio iónico y el uso de compuestos disolventes, tal como ocurre con otras tierras raras.

Usos

- ✓ Usado para motores y piezas de aviones.
- ✓ Imanes.
- ✓ En motores y baterías híbridas.
- ✓ En discos duros de computadora, teléfonos móviles y cámaras.
- ✓ En reflectores.
- ✓ Aplicación en la industria de la cerámica para colorear esmaltes y vidrios.

2.4.4. Neodimio

Símbolo: Nd

Número atómico: 60

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^4 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 144,24 g/mol

Densidad: 7,00g/ml

Punto de ebullición: 3027 °C

Punto de fusión: 1024 °C

A temperatura ambiente se encuentra en estado sólido y tiene grandes propiedades magnéticas. Es una tierra rara que compone el metal de Misch aproximadamente en un 18% siendo una de las tierras raras más reactivas, posee un brillo metálico-plateado y brillante, oscurece rápidamente al contacto con el aire formando un óxido. Este elemento se puede encontrar en dos formas alotrópicas, una con estructura de doble hexagonal o una cúbica y de cuerpo centrado.

Usos

- ✓ Usado para colorear cristales y la fabricación de gafas de protección para los soldadores, pues absorben la luz ámbar de la llama, y otros tipos de cristales.
- ✓ Pueden ser utilizados en los láseres de radiación infrarroja.
- ✓ Es muy buen sustituto de la pintura metalizada de los coches.
- ✓ Sales de neodimio son usadas como colorantes de esmaltes.
- ✓ El neodimio se utiliza en los imanes de neodimio permanentes de gran intensidad de campo.
- ✓ En catalizadores de automóviles, refinerías de petróleo.
- ✓ En discos duros de computadora y laptops, teléfonos móviles, auriculares y cámaras.

2.4.5. Prometio

Símbolo: Pm

Número atómico: 61

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^5 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 147 g/mol

Punto de fusión: 1027°C

El prometio no se da naturalmente en la Tierra, aunque ha sido detectado en el espectro de una estrella en la constelación de Andrómeda, se genera artificialmente en reactores nucleares, ya que es uno de los elementos resultantes de la fisión del uranio, del torio y del plutonio. Todos los isótopos conocidos son radiactivos. También puede ser producido mediante el bombardeo de neodimio 146 con neutrones.

El isótopo más estable del prometio es el prometio 145, tiene una vida media de 17,7 años.

Usos

- ✓ Unidades portátiles de rayos X.
- ✓ Se utiliza principalmente en la investigación con trazadores.
- ✓ Su principal aplicación la encontramos en la industria del fósforo.
- ✓ También se usa en la manufactura de calibradores de aberturas y en baterías nucleares empleadas en aplicaciones espaciales.

2.4.6. Samario

Símbolo: Sm

Número atómico: 62

Valencia: 2,3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^6 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 150,35g/mol

Densidad: 7,54 g/ml

Punto de ebullición: 1900 °C

Punto de fusión: 1072 °C

Es miembro del grupo de las tierras raras y son 7 los isótopos que se encuentran en la naturaleza; ^{147}Sm , ^{148}Sm y ^{149}Sm son radiactivos y emiten partículas A. El óxido de samario es de color amarillo pálido; muy soluble en la mayor parte de los ácidos, dando sales amarillo-topacio en solución.

Usos

- ✓ En las lámparas de arco voltaico de carbono las cuales son usadas en la industria del cine para la iluminación de los estudios y las luces de los proyectores.
- ✓ También compone sobre el 1 % del metal Misch, un material que es usado para hacer piedras de mecheros.
- ✓ El óxido de samario se utiliza en óptica para absorber la luz infrarroja.
- ✓ Como catalizador en la deshidratación y en la deshidrogenación de etanol.
- ✓ Se utilizan en radioterapia paliativa para la disminución del dolor en pacientes terminales.

2.4.7. Europio

Símbolo: Eu

Número atómico: 63

Valencia: 2,3

Estado de oxidación: +2

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^7 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 151,96g/mol

Densidad: 5,26 g/ml

Punto de ebullición: 1439 °C

Punto de fusión: 826 °C

El metal es el segundo más volátil de las tierras raras, es un metal de color gris acerado, bastante blando y maleable. Se oxida rápidamente en el aire y es el más reactivo de los elementos de las tierras raras o elementos de transición interna y se obtiene por reducción del óxido con lantano.

Usos

- ✓ En la industria atómica puede usarse en barras de control y como veneno nuclear, los venenos son materiales adicionados al reactor nuclear para equilibrar el exceso de reactividad en el inicio.
- ✓ En la industria de la televisión emplea grandes cantidades de sustancias fosforescentes, como ortovanadatos de itrio activado con europio y otros que están patentados.
- ✓ Se emplea en la fabricación de pantallas de televisión, de computadora y fibra óptica.
- ✓ Usado en máquinas de rayos laser.

2.4.8. Gadolinio

Símbolo: Gd

Número atómico: 64

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^7 5d^1 6s^2$

Masa atómica: 157,25g/mol

Densidad: 7,89 g/ml

Punto de ebullición: 3000 °C

Punto de fusión: 1312 °C

El elemento natural está compuesto de ocho isótopos, el óxido, Gd O , en forma de polvo, es blanco y las soluciones de sus sales son incoloras. El gadolinio es un metal brillante que reacciona lentamente con el agua, soluble en ácidos diluidos e insoluble en agua, es paramagnético y se vuelve fuertemente ferromagnético a temperaturas inferiores a la ambiente.

Usos

- ✓ Incluido en discos compactos y reactores nucleares.
- ✓ Imanes.
- ✓ Los compuestos de gadolinio son usados para hacer fósforos para las televisiones en color.

2.4.9. Terbio

Símbolo: Tb

Número atómico: 65

Valencia: 3,4

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica [Xe]4f⁹ 5d⁰ 6s²

Masa atómica: 158,924 g/mol

Densidad: 8,27 g/ml

Punto de ebullición: 2800 °C

Punto de fusión: 1356 °C

En un metal poco común del grupo de las tierras raras, es un metal de color plateado y algo brillante que es relativamente estable en el aire, es fácilmente maleable y dúctil. El óxido común, Tb₄O₇, es de color café y se obtiene cuando sus sales se calientan en aire, todas sus sales son trivalentes y de color blanco; cuando se disuelven, dan soluciones incoloras, los óxidos mayores se descomponen lentamente cuando son tratados con ácido diluido para dar iones trivalentes en solución.

Usos

- ✓ Puede ser potencialmente usada para fósforos verdes en los tubos de las televisiones.
- ✓ El borato de sodio y terbio, otro compuesto del terbio, se usa para hacer luz láser.
- ✓ Imanes permanentes.
- ✓ En discos duros de computadora, teléfonos móviles y cámaras.

2.4.10. Disproso.

Símbolo: Dy

Número atómico: 66

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^{10} 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 162,50 g/mol

Densidad: 8,54 g/ml

Punto de ebullición: 2600 °C

Punto de fusión: 1407 °C

Elemento metálico de las tierras raras, ocupa el séptimo lugar en abundancia, reacciona lentamente con el agua, se disuelve fácilmente con ácidos diluidos y concentrados.

El elemento natural está compuesto por siete isótopos estables, el disproso forma un óxido blanco, Dy O que se disuelve en ácido para producir una solución amarillo verdosa.

El disproso es paramagnético, a muy baja temperatura muestra fuertes propiedades de anisotropía magnética.

Usos

- ✓ Para enfriar reactores nucleares.
- ✓ En los autos híbridos y para lámparas láser.
- ✓ Imanes permanentes.
- ✓ En discos duros de ordenador, teléfonos móviles y Cámaras.

2.4.11. Holmio.

Símbolo: Ho

Número atómico: 67

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica [Xe]4f¹¹ 5d⁰ 6s²

Masa atómica: 164,930 g/mol

Densidad: 8,80 g/ml

Punto de ebullición: 2600 °C

Punto de fusión: 1461 °C

Es un metal bastante suave y considerablemente maleable. Es estable en aire seco y a temperatura ambiente, pierde estabilidad con facilidad al hacer contacto con la humedad y temperaturas muy elevadas.

El isótopo estable Ho constituye el 100% del elemento en la naturaleza. El metal es paramagnético, pero a medida que la temperatura disminuye se convierte en antiferromagnético y luego al sistema ferromagnético.

Usos

- ✓ Imanes de gran potencia y procesos nucleares.
- ✓ Coloración de vidrio, láser.

2.4.12. Erbio.

Símbolo: Er

Número atómico: 68

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^{12} 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 167,26 g/mol

Densidad: 9,05 g/ml

Punto de ebullición: 2900 °C

Punto de fusión: 1497 °C

Es un sólido blanco, maleable de brillo metálico, soluble en ácidos e insoluble en agua. Presenta baja toxicidad y gran resistencia eléctrica.

El óxido rosa Er O se disuelve en ácidos minerales para dar soluciones color de rosa, las sales son paramagnéticas y los iones trivalentes, a temperaturas bajas el metal es antiferromagnético y a temperaturas aún más bajas se vuelve fuertemente ferromagnético.

Usos

- ✓ Componente de la fibra óptica.
- ✓ También se utiliza como filtro de revelado fotográfico.
- ✓ El erbio también tiene algunos usos en la industria de la energía nuclear.
- ✓ Se usa para dar color a cristales y vidrios.

2.4.13. Tulio.

Símbolo: Tm

Número atómico: 69

Valencia: 2,3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica $[\text{Xe}]4f^{13} 5d^0 6s^2$

Masa atómica: 168,934 g/mol

Densidad: 9,33 g/ml

Punto de ebullición: 1727 °C

Punto de fusión: 1545 °C

El tulio es un sólido de brillo metálico soluble en ácidos diluidos que reacciona lentamente con el agua, este elemento natural consta de un solo isótopo, las sales de tulio poseen un color verde pálido y sus soluciones toman un ligero tinte verdoso.

El tulio es un lantánido, la menos abundante de las tierras raras y su metal es fácil de trabajar, tiene un lustre gris plateado y puede cortarse con un cuchillo.

Usos

- ✓ Para aparatos médicos de rayos laser o de rayos x.
- ✓ Puede ser usado en equipos tales como televisiones en color, lámparas fluorescentes.
- ✓ Es útil para producir catalizadores y para pulir cristales.

2.4.14. Iterbio

Símbolo: Yb

Número atómico: 70

Valencia: 2,3

Estado de oxidación: +2

Configuración electrónica [Xe]4f¹⁴ 5d⁰ 6s²

Masa atómica: 173,04 g/mol

Densidad: 6,98 g/ml

Punto de ebullición: 1427 °C

Punto de fusión: 824 °C

El iterbio es un elemento metálico del grupo de las tierras raras, es un elemento blando y plateado, es completamente maleable, soluble en ácidos diluidos y en amoníaco líquido, reacciona lentamente con agua, y se oxida en el aire.

Usos

- ✓ Como fuente de radiación alternativa para una máquina de rayos X portátil cuando no se dispone de electricidad.
- ✓ Su metal también puede usarse para mejorar el refinamiento del grano, la resistencia y otras propiedades mecánicas del acero inoxidable.
- ✓ Algunas aleaciones de iterbio se usan en odontología.
- ✓ Su uso más común es como componente de los cables de fibra óptica, mediante una aleación con acero inoxidable, ya que mejora así las propiedades mecánicas de los cables.

2.4.15. Lutecio

Símbolo: Lu

Número atómico: 71

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica [Xe]4f¹⁴ 5d¹ 6s²

Masa atómica: 174,97 g/mol

Densidad: 9,84 g/ml

Punto de ebullición: 3327 °C

Punto de fusión: 1652 °C

Es un metal muy raro, es el miembro más pesado del grupo de las tierras raras, en estado natural, se compone del isótopo ¹⁷⁵Lu, 97.41%, y el emisor β de vida larga ¹⁷⁶Lu, con una vida media de 2.1 x 10¹⁰ años.

El metal es blanco plateado y relativamente estable en el aire, quizás el más caro de todos los elementos raros. Se encuentra en pequeñas cantidades con todos los metales de tierras raras, y es muy difícil de separar de otros elementos raros.

Usos

- ✓ En televisiones a color, lámparas fluorescentes y cristales.
- ✓ Es útil para producir catalizadores y para pulir cristales.
- ✓ Catalizadores en la refinación de petróleo.

2.4.16. Escandio

Símbolo: Sc

Número atómico: 21

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica [Ar] 3d¹ 4s²

Masa atómica: 44,956 g/mol

Densidad: 3,0 g/ml

Punto de ebullición: 2730 °C

Punto de fusión: 1639 °C

Es un metal de transición que se encuentra en minerales de Escandinavia y que se clasifica con frecuencia entre los lantánidos por sus similitudes con ellos.

Es un metal blando, muy ligero, resistente al ataque del ácido nítrico y fluorhídrico, de color plateado deslustra expuesto al aire adoptando un color ligeramente rosado, sus propiedades son más parecidas a las del itrio y los lantánidos que a las del titanio por lo que suele incluirse con frecuencia entre las tierras raras.

Usos

- ✓ El óxido de escandio Sc₂O₃, se utiliza en luces de alta intensidad, añadiendo yoduro de escandio en las lámparas de vapor de mercurio se consigue una luz solar artificial de muy alta calidad.
- ✓ El isótopo radiactivo Sc-46 se usa en el craqueo del petróleo como trazador.
- ✓ Aumenta la utilidad de la aleación, para aviación y vuelo espacial.
- ✓ Se emplean como catalizadores en la conversión de ácido acético en acetona, en la manufactura de propanol y en la conversión de ácidos dicarboxílicos en cetonas y compuestos cíclicos.

2.4.17. Itrio

Símbolo: Y

Número atómico: 39

Valencia: 3

Estado de oxidación: +3

Configuración electrónica [Kr] 4d¹ 5s²

Masa atómica: 88,906 g/mol

Densidad: 4,47 g/ml

Punto de ebullición: 2927 °C

Punto de fusión: 1509 °C

Es un metal plateado de transición del grupo IIIB, común en los minerales de tierras raras. El itrio tiene un brillo plateado metálico, es relativamente estable en el aire y las virutas de itrio se queman en el aire a temperaturas superiores a los 400 ° C.

Usos

- ✓ El óxido de itrio es un componente del fósforo usado para producir el color rojo en los tubos de rayos catódicos de las antiguas televisiones.
- ✓ El óxido de itrio se utiliza en la cerámica y el vidrio.
- ✓ Los granates de itrio y hierro se utilizan para filtrar las ondas de los microondas y la transmisión y transducción de energía acústica.
- ✓ Los granates de itrio y aluminio, con una dureza de 8,5, se utilizan para simular las piedras preciosas similares diamante.
- ✓ Componente de las unidades de rayos x.

2.5. DISTRIBUCIÓN INTERNACIONAL DE TIERRAS RARAS

A nivel internacional se advierte que hay grandes cantidades de elementos de tierras raras distribuidas en el mundo (il. 2), sin embargo, China sigue siendo la mayor concentración de estas reservas, además tiene el control del mercado por sus bajos costos de producción. La amplia gama de estos usos es lo que explica el esfuerzo que diversas economías de otros países quieran desarrollar para que puedan diversificar sus fuentes de abastecimiento (Centro de Investigaciones Navales y Marítimas, 2012).

No obstante, como la oferta no ha sido capaz de satisfacer la demanda, debido a que China bajo sus exportaciones, en consecuencia de esto, hubo una importante alza de precios.

Asia y el Pacífico fue el mercado regional más grande de elementos de tierras raras debido a la gran economía y reservas que tiene China.

China tiene las mayores reservas de tierras raras y también consume grandes cantidades debido a la presencia de las industrias de aplicación, China suministra el 97% del total de metales de tierras raras que representa sólo 36,5% de las reservas totales de metales de tierras raras y el resto es bastante repartidas por todo el mundo, hay muchos depósitos de tierras raras que están aún por descubrir.

Rusia tiene las segundas mayores reservas alrededor del 19%, seguido por los EE.UU. con el 13,2%, Australia con el 5,5% y la India, con el 3,1% de las reservas mundiales.

China mantiene el 42% de las reservas mundiales (55 millones de toneladas métricas de 130 millones de toneladas métricas) y los Estados Unidos mantienen alrededor del 13% de acuerdo a los datos más recientes por la USGS. Sudáfrica y Canadá tienen un potencial significativo de ETR, según el USGS.

También hay reservas de elementos de tierras raras en Australia, Brasil, India, Rusia, Sudáfrica, Malasia, y Malawi. Según algunos geólogos, una cuidadosa consideración se debe dar a la viabilidad de la minería y el procesamiento de ETR como un subproducto de los depósitos de fósforo y de titanio y niobio minas en Brasil y en otras partes del mundo, las empresas de China y Estados Unidos tienen recientemente varios depósitos de REE evaluados asociados con el desarrollo de minerales primarios tales como el oro, mineral de hierro, arena y proyectos de minerales en los Estados Unidos.

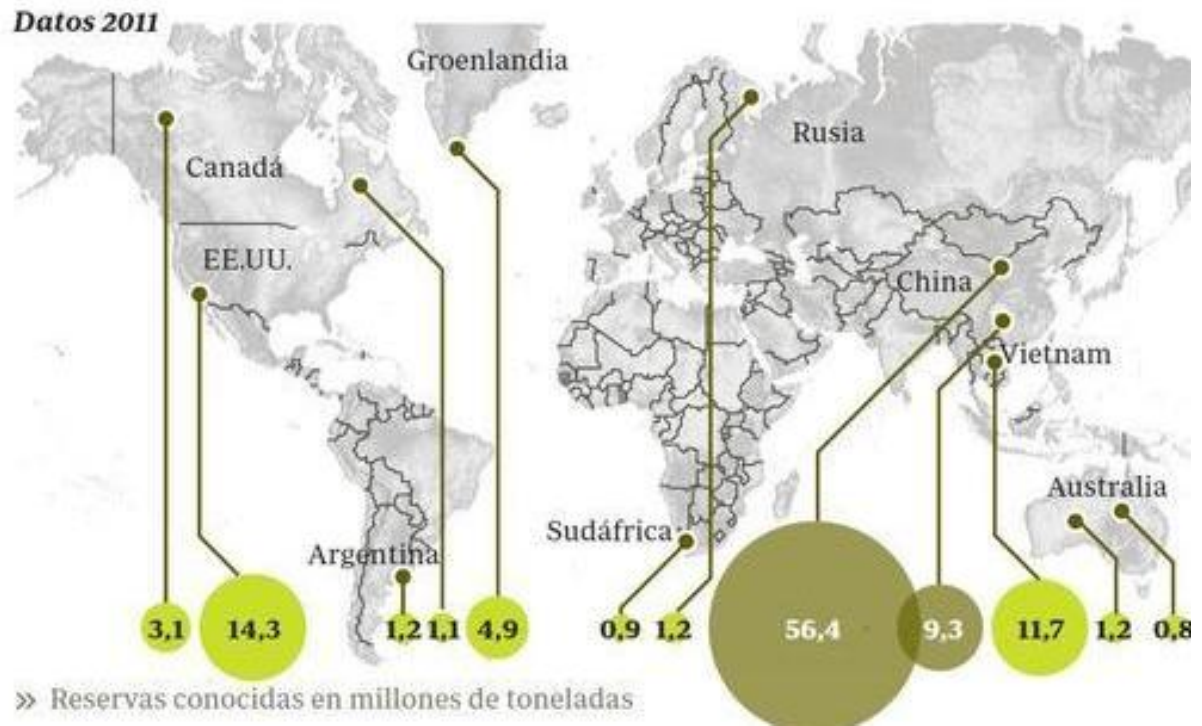


Ilustración 2. Los mayores depósitos de Tierras Raras a nivel mundial.

2.6. MODELO DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER

Es un modelo estratégico creado por el economista y profesor de la Universidad de Harvard, Michael Porter. El punto de vista de Porter es que existen cinco fuerzas que delimitan precios, costos y requerimientos de inversión, que constituyen los factores básicos que explican la expectativa de rentabilidad a largo plazo, por lo tanto, el atractivo de la industria.

El ser capaz de clasificar y usar estas fuerzas es lo que hace que se pueda conseguir un mejor análisis de tu empresa en todos los sentidos. Se pueden diseñar nuevas estrategias y se puede comenzar a usar junto a las fuerzas Porter para poder detectar nuevas amenazas o encontrar un sin fin de nuevas oportunidades. Este análisis hace referencia sobre todo a las empresas que compiten con el mismo producto.

De su análisis se deduce que la rivalidad entre los competidores viene dada por cuatro elementos o fuerzas que, combinadas, la crean a ella como una quinta fuerza (il.3).

2.6.1. Amenaza de entrada de nuevos competidores

Es una de las fuerzas más famosas y que se usa en la industria para detectar empresas con las mismas características económicas o con productos similares en el mercado.

Cuando en un sector de la industria hay muchas ganancias y muchos beneficios por explorar entonces no tardará la llegada de nuevas empresas para aprovechar las oportunidades que ofrece ese mercado, y como es obvio lanzarán sus productos, aumentará la competencia y bajará la rentabilidad.

Lo mismo sucede con otros sectores mientras se vean atractivos pues las empresas tratarán de sacar provecho a las oportunidades del mercado y maximizar sus ganancias, pero también hay que tener en cuenta que existen barreras de entrada que prácticamente son elementos de protección para las empresas que pertenecen a la misma industria tales como alto requerimiento de capital, altos costos de producción, falta de información, saturación del mercado, etc.

La existencia de barreras de entrada viene acompañada con los costos hundidos como la inversión en activos, costos por estudio de mercado, entre otros. Son costos que una empresa no podrá recuperar cuando decida salir del sector.

2.6.2. Poder de negociación de los proveedores

Esta fuerza hace referencia a la capacidad de negociación con que cuentan los proveedores, quienes definen en parte el posicionamiento de una empresa en el mercado, de acuerdo a su poder de negociación con quienes les suministran los insumos para la producción de sus bienes. Por ejemplo, mientras menor cantidad de proveedores existan, mayor será su capacidad de negociación, ya que al no haber tanta oferta de insumos, éstos pueden fácilmente aumentar sus precios.

Además de la cantidad de proveedores que existan, su poder de negociación también podría depender del volumen de compra, la cantidad de materias primas sustitutas que existan, el costo que implica cambiar de materias primas, etc.

Tener capacidad de negociación permite a los proveedores mejores precios, pero también mejores plazos de entrega, compensaciones, formas de pago. En una empresa la capacidad de negociación de los proveedores puede lastrar su competitividad, por lo que es otro factor a tener en consideración.

Proporciona a los proveedores de la empresa, las herramientas necesarias para poder alcanzar un objetivo.

2.6.3. Poder de negociación de los compradores

La competencia en un sector industrial está determinada en parte por el poder de negociación que tienen los clientes con las empresas que producen el bien o servicio.

En los mercados de productos son dos los factores que influyen en la determinación de la fortaleza del poder de negociación de una empresa frente a sus clientes: sensibilidad al precio y poder de negociación

Un mercado o segmento no será atractivo cuando los clientes están muy bien organizados, el producto tiene varios o muchos sustitutos, el producto no es muy diferenciado o es de bajo costo para el cliente, lo que permite que pueda hacer sustituciones por igual o a muy bajo costo. A mayor organización de los compradores mayores serán sus exigencias en materia de reducción de precios, de mayor calidad y servicios y por consiguiente la corporación tendrá una disminución en los márgenes de utilidad. La situación se hace más crítica si a las organizaciones de compradores les conviene estratégicamente integrarse hacia atrás.

2.6.4. Amenaza de ingreso de productos sustitutos

Los productos sustitutos son aquellos que realizan las mismas funciones del producto en estudio. Constituyen también una fuerza que determina el atractivo de la industria, ya que pueden reemplazar los productos y servicios que se ofrecen o bien representar una alternativa para satisfacer la demanda. Representan una seria amenaza para el sector si cubren las mismas necesidades a un precio menor, con rendimiento y calidad superior.

Las empresas de un sector industrial, pueden estar en competencia directa con las de un sector diferente si los productos pueden sustituir al otro bien.

Una empresa ha de estar muy pendiente de aquellos productos que puedan sustituir a los producidos por ella. Por ejemplo, si dicha empresa vende refrescos tiene presente la amenaza de los vendedores de agua mineral, fabricantes de jugos naturales, batidos, etc.; pero no sólo eso, su competencia también serían los jugos que las familias se pueden hacer en casa. En ese sentido estarían compitiendo casi con los agricultores que producen naranjas y con los fabricantes de exprimidores

La situación se complica si los sustitutos están más avanzados en tecnología o pueden entrar a precios más bajos, reduciendo los márgenes de utilidad de la corporación y de la industria.

2.6.5. La rivalidad entre los competidores

De acuerdo con Porter, ésta quinta fuerza es el resultado de las cuatro fuerzas anteriores y la más importante en una industria porque ayuda a que una empresa tome las medidas necesarias para asegurar su posicionamiento en el mercado a costa de los rivales existentes.

Es la fuerza con que las empresas emprenden acciones, de ordinario, para fortalecer su posicionamiento en el mercado y proteger así su posición competitiva a costa de sus rivales en el sector.

La situación actual del mercado en cualquiera de los sectores viene marcada por la competencia entre empresas y la influencia de esta en la generación de beneficios. Si las empresas compiten en precios, no solo ellas generan menos beneficios, sino que el sector se ve perjudicado, de forma que no atrae la entrada de nuevas empresas. En los sectores en los que no se compite en precios se compite en publicidad, innovación, calidad del producto/servicio.

La rivalidad entre los competidores define la rentabilidad de un sector: cuanto menos competido se encuentre un sector, normalmente será más rentable y viceversa.

Una empresa que destaca, a su vez, presiona a las empresas que están a su alrededor, por lo que siempre existirá una rivalidad latente entre las empresas de un mismo sector.

2.6.6. Barreras de entradas

Para éste tipo de modelo tradicional, la defensa consistía en construir barreras de entrada alrededor de una fortaleza que tuviera la corporación y que le permitiera, mediante la protección que le daba ésta ventaja competitiva, obtener utilidades que luego podía utilizar en investigación y desarrollo, para financiar una guerra de precios o para invertir en otros negocios.

Porter identificó seis barreras de entrada que podían usarse para crearle a la corporación una ventaja competitiva:

Economías de Escala

Consiste en reducir costos al aumentar la producción, también abarca extender el rubro de las actividades de la organización, ampliando la gama de sus productos a modo de crecer en forma horizontal.

Hoy, por ejemplo, la caída de las barreras geográficas y la reducción del ciclo de vida de los productos, nos obliga a evaluar si la búsqueda de economías de escala en mercados locales nos resta flexibilidad y nos hace vulnerables frente a competidores más ágiles que operan globalmente.

Diferenciación del Producto

Asume que si la corporación diferencia y posiciona fuertemente su producto, la compañía entrante debe hacer cuantiosas inversiones para reposicionar a su rival. Hoy la velocidad de copia con la que reaccionan los competidores o sus mejoras al producto existente buscando crear la precepción de una calidad más alta, erosionan ésta barrera.

Inversiones de Capital

Considera que si la corporación tiene fuertes recursos financieros tendrá una mejor posición competitiva frente a competidores más pequeños, le permitirá sobrevivir más tiempo que éstos en una guerra de desgaste, invertir en activos que otras compañías no pueden hacer, tener un alcance global o ampliar el mercado nacional e influir sobre el poder político de los países o regiones donde operan.

Hoy en día en la mayoría de los países del mundo se han promulgado leyes antimonopólicas tratando por lo menos en teoría de evitar que las fuertes concentraciones de capital destruyan a los competidores más pequeños y más débiles.

La creación de barreras competitivas mediante una fuerte concentración de recursos financieros es un arma muy poderosa si la corporación es flexible en la estrategia, ágil en sus movimientos tácticos y se ajusta a las leyes antimonopólicas. No obstante su fuerza financiera, la corporación debe tener en cuenta que los pequeños competidores pueden formar alianzas o recurrir a estrategias de nichos.

Desventaja en Costos independientemente de la Escala

Sería el caso cuando compañías establecidas en el mercado tienen ventajas en costos que no pueden ser emuladas por competidores potenciales independientemente de cuál sea su tamaño y sus economías de escala. Esas ventajas podían ser las patentes, el control sobre fuentes de materias primas, la localización geográfica, los subsidios del gobierno, su curva de experiencia. Para utilizar ésta barrera la compañía dominante utiliza su ventaja en costos para invertir en campañas promocionales, en el rediseño del producto y evitar el ingreso de otros.

Acceso a los Canales de Distribución

En la medida que los canales de distribución para un producto estén bien atendidos por las firmas establecidas, los nuevos competidores deben convencer a los distribuidores que acepten sus productos mediante reducción de precios y aumento de márgenes de utilidad para el canal, compartir costos de promoción del distribuidor, comprometerse en mayores esfuerzos promocionales en el punto de venta, etc, lo que reducirá las utilidades de la compañía entrante. Cuando no es posible penetrar los canales de distribución existentes, la compañía entrante adquiere a su costo su propia estructura de distribución y aún puede crear nuevos sistemas de distribución y apropiarse de parte del mercado.

Política Gubernamental

Las políticas gubernamentales pueden limitar o hasta impedir la entrada de nuevos competidores expidiendo leyes, normas y requisitos. Los gobiernos fijan, por ejemplo, normas sobre el control del medio ambiente o sobre los requisitos de calidad y seguridad de los productos que exigen grandes inversiones de capital o de sofisticación tecnológica y que además alertan a las compañías existentes sobre la llegada o las intenciones de potenciales contrincantes. Hoy la tendencia es a la desregularización, a la eliminación de subsidios y de barreras arancelarias, a concertar con los influyentes grupos de interés político y económico supranacionales y en general a navegar en un mismo océano económico donde los mercados financieros y los productos están cada vez más entrelazados.



Ilustración 3. Las 5 Fuerzas de Porter.

2.7. FODA

La matriz FODA (acróstico de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, empresa, etc. que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado del tiempo.

Es como si se tomara una “radiografía” de una situación puntual de lo particular que se esté estudiando. Las variables analizadas y lo que ellas representan en la matriz son particulares de ese momento. Luego de analizarlas, se deberán tomar decisiones estratégicas para mejorar la situación.

Un análisis FODA se puede utilizar para:

- ✓ Explorar nuevas iniciativas o solucionar problemas en las ya existentes.
- ✓ Tomar decisiones sobre el mejor camino a seguir por parte de su iniciativa.
- ✓ Identificar las oportunidades y amenazas presentes para alcanzar el éxito podría aclarar la dirección y las decisiones a tomar.
- ✓ Determinar dónde el cambio es posible.
- ✓ Ajustar y afinar los planes a mitad del camino. Así como una amenaza puede cerrar un camino ya existente, una nueva oportunidad puede abrir grandes avenidas.

El análisis FODA ofrece a su programa o iniciativa una vía simple de comunicación y una excelente forma de organizar la información que usted ha recolectado de estudios e investigaciones previas.

2.7.1. Objetivos

El principal objetivo de un análisis DAFO es ayudar a una organización a encontrar sus factores estratégicos críticos, para una vez identificados, usarlos y apoyar en ellos los cambios organizacionales:

- ✓ Consolidando las fortalezas.
- ✓ Minimizando las debilidades.
- ✓ Aprovechando las ventajas de las oportunidades.
- ✓ Y eliminando o reduciendo las amenazas.

2.7.2. Análisis Interno

Las debilidades y fortalezas son los aspectos internos de la empresa o del emprendedor que afectan las posibilidades de éxito de una estrategia. Por ejemplo, el desconocimiento del mercado, la falta de capital y la inexperiencia suelen ser debilidades de muchos negocios que se inician; mientras que el entusiasmo, la capacidad de trabajo y las ganas de crecer están entre las fortalezas comunes.

Fortalezas

Son las capacidades especiales con que cuenta la empresa, y que le permite tener una posición privilegiada frente a la competencia. Recursos que se controlan, capacidades y habilidades que se poseen, actividades que se desarrollan positivamente, etc.

Para identificarlas podemos responder a preguntas como:

¿Qué ventajas tenemos respecto de la competencia?

¿Qué recursos de bajo coste tenemos disponibles?

¿Cuáles son nuestros puntos fuertes en producto, servicio, distribución o marca?

Debilidades

Son aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente a la competencia, recursos de los que se carece, habilidades que no se poseen, actividades que no se desarrollan positivamente, etc.

Para identificar las debilidades de la empresa podemos responder a preguntas como:

¿Qué perciben nuestros clientes como debilidades?

¿En qué podemos mejorar?

¿Qué evita que nos compren?

2.7.3. Análisis externo

Las oportunidades y amenazas surgen del contexto, es decir, de lo que ocurre o puede ocurrir fuera de la empresa. Por lo general estos eventos no pueden ser influenciados, sino que se dan en forma independiente.

Un cambio en el Marco legal o impositivo, una tendencia en el consumo, la llegada de una nueva tecnología o un cambio de estrategia por parte de un competidor pueden aumentar las posibilidades de éxito (oportunidades) o disminuirlas (amenazas).

Oportunidades

Representan una ocasión de mejora de la empresa, son aquellos factores que resultan positivos, favorables, explotables, que se deben descubrir en el entorno en el que actúa la empresa, y que permiten obtener ventajas competitivas.

Para identificar las oportunidades podemos responder a preguntas como:

¿Existen nuevas tendencias de mercado relacionadas con nuestra empresa?

¿Qué cambios tecnológicos, sociales, legales o políticos se presentan en nuestro mercado?

Amenazas

Se define como toda fuerza del entorno que puede impedir la implantación de una estrategia, o bien reducir su efectividad, o incrementar los riesgos de la misma, o los recursos que se requieren para su implantación, o bien reducir los ingresos esperados o su rentabilidad.

Para identificar las amenazas de nuestra organización, podemos responder a preguntas como:

¿Existen problemas de financiación?

¿Cuáles son las nuevas tendencias que siguen nuestros competidores?

¿Qué obstáculos legales, impositivos o normativos enfrenta tu negocio?

2.8. MERCADO

Un mercado es un grupo de compradores y vendedores de un bien o servicio en particular.

Los compradores son el grupo que determina la demanda del producto y los vendedores son el grupo que determina la oferta de dicho producto.

Los mercados adoptan formas diversas; algunas veces están muy organizados, tal es el caso de los productos agrícolas, ya que en estos mercados los compradores y los vendedores se encuentran a una hora determinada, en un lugar específico y allí un subastador ayuda a fijar los precios y a organizar las ventas. En general, es frecuente que los mercados estén menos organizados.

El equilibrio de este mercado es posible gracias a que alguien tiene un bien o servicio que puede ser útil para otro individuo y, a su vez el otro puede ofrecerle algo que le sirve. A través del intercambio parejo.

2.9. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El estudio de factibilidad es el análisis de una empresa para determinar:

- ✓ Si el negocio que se propone será bueno o malo, y en cuales condiciones se debe desarrollar para que sea exitoso.
- ✓ Si el negocio propuesto contribuye con la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y el ambiente.

Iniciar un proyecto de producción o fortalecerlo significa invertir recursos como tiempo, dinero, materia prima y equipos, como los recursos siempre son limitados, es necesario tomar una decisión; las buenas decisiones sólo pueden ser tomadas sobre la base de evidencias y cálculos correctos, de manera que se tenga mucha seguridad de que el negocio se desempeñará correctamente y que producirá ganancias.

En esta etapa, hay que comprobar que el proyecto es sustentable económicamente, justificar que la inversión genera una ganancia, demostrar que si el sistema no cumple con su objetivo no habrá pérdidas económicas o serán las mínimas.

Para ello es necesario trabajar con un esquema que contemple los costos y las ventas:
Costos: Debe presentarse la estructura de los costos contemplando costos fijos y variables.

Ventas: En este punto el precio del producto o servicio es fundamental, ya que determina el volumen de ventas, por lo que debe explicarse brevemente cómo se ha definido éste. Debe mostrarse también estimaciones de ventas (unidades y en dinero) para un periodo de al menos 1 año, justificando cómo se han calculado (a través de investigaciones de mercado y estadísticas anteriores)

Se debe elaborar una lista de todos los ingresos y egresos de fondos que se espera que produzca el proyecto y ordenarlos en forma cronológica. El horizonte de planeamiento es el lapso durante el cual el proyecto tendrá vigencia y para el cual se construye el flujo de fondos e indica su comienzo y finalización. Es importante utilizar algunos indicadores financieros.

2.10. INDICADORES FINANCIEROS

Los índices financieros son razones que nos permiten analizar los aspectos favorables y desfavorables de la situación económica y financiera de una empresa.

2.10.1. VAN

El valor actual neto (VAN) es el valor de la inversión en el momento cero, descontados todos sus ingresos y egresos a una determinada tasa, se define como la sumatoria de los flujos netos anuales actualizados menos la Inversión inicial.

Indica un monto que representa la ganancia que se podría tomar por adelantado al comenzar un proyecto, considerando la "tasa de corte" establecida (interés del mercado, tasa de rentabilidad de la empresa, tasa elegida por el inversionista, tasa que refleje el costo de oportunidad).

El van se determina de la expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{k=1}^{k=n} \frac{B_k - C_k}{(1+i)^k}$$

Dónde:

I_0 : Inversión inicial.

B_k : Beneficio o ingresos netos del periodo k (año k).

C_k : Costos netos del periodo K.

i : tasa de interés (llamada tasa de descuento).

n : años de duración del Proyecto.

La tasa de descuento es aquella medida de rentabilidad mínima exigida por el proyecto y que permite recuperar la Inversión inicial, cubrir los costos efectivos de producción y obtener beneficios. La tasa de descuento representa la tasa de interés a la cual los valores futuros se actualizan al presente.

Un valor significativo se produce para $VAN = 0$ y que representa que el proyecto cumple con las exigencias del inversionista, es decir es la alternativa mejor que las del mercado en ese momento.

Los criterios para la toma de decisión son:

$VAN > 0$, el proyecto es rentable

$VAN = 0$, es indiferente realizar

$VAN < 0$, el proyecto no es rentable

2.10.2. TIR

Se define como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. La TIR se determina de la expresión:

$$0 = -I_0 + \sum_{k=1}^{k=n} \frac{B_k - C_k}{(1+TIR)^k}$$

La TIR muestra al inversionista la tasa de interés máxima a la que puede comprometer préstamos, sin que incurra en futuros fracasos financieros, para lograr esto se busca aquella tasa que aplicada al Flujo neto de caja hace que el VAN sea igual a cero. A diferencia del VAN, donde la tasa de actualización se fija de acuerdo a las alternativas de Inversión externas, aquí no se conoce la tasa que se aplicara para encontrar la TIR; por definición la tasa buscada será aquella que reduce que reduce el VAN de un Proyecto a cero.

En virtud a que la TIR proviene del VAN, primero se debe calcular el valor actual neto. La TIR se determina mediante aproximaciones sucesivas hasta acercarnos a un $VAN = 0$.

Los indicadores relevantes son:

$TIR > i$, el proyecto es rentable

$TIR = i$, es indiferente su realización

$TIR < i$, el proyecto no es rentable

En general las decisiones no se toman sólo con un indicador sino que con ambos y bajo la condición:

$$VAN > 0$$

$$TIR > i$$

2.10.3. PRC

El periodo de recuperación (payback, paycash, payout o payoff) indica el tiempo que la empresa tardará en recuperar la inversión con la ganancia que genera el negocio (meses o años).

La factibilidad financiera se calcula sumando los resultados netos al monto de la inversión inicial hasta llegar a cero, en este caso no se estaría considerando el "valor tiempo del dinero", por esto también es útil calcular el periodo de repago compuesto en el que se incorpora una tasa al flujo de fondos que refleja las diferencias temporales.

$$-I_0 + \sum_{k=1}^{k=T} \frac{B_k - C_k}{(1+i)^k} = 0$$

Donde la expresión a la izquierda de la igualdad representa los flujos actualizados desde el año 0 (donde se realiza la inversión I_0) hasta el año T que hace que el flujo total sea cero. En este caso se dice que:

$$T = \text{PRC}$$

CAPITULO III

ANÁLISIS DE MERCADO

3.1 TIERRAS RARAS EN CHILE

En Chile, se han realizado una serie de estudios y caracterizaciones de residuos que indican la presencia de sectores que presentan minerales portadores de tierras raras entre la II y IV región asociados principalmente a la ocurrencia de hierro y otros elementos de valor asociados a la producción de cobre oro, plata entre otros. Así por ejemplo lo demuestra el estudio geológico del proyecto "Cerro Carmen" III Región, realizado por la comisión chilena de energía nuclear CCHEN, para ENAMI en el año 1995. En este estudio se advierte la presencia de uranio y tierras raras livianas. Estudios recientes efectuados en la Universidad de Atacama con muestras obtenidas desde depósitos de rípios y tranques de relaves de diferentes Plantas de tratamiento de minerales de la Empresa Nacional de Minería – ENAMI, han mostrado que la abundancia total de tierras raras en dichas muestras varía desde 100 a 250 ppm para los tranques de relaves y desde 100 a 600 ppm para los rípios, concentraciones que no son muy elevadas, pero que pueden ser compensadas por la densidad y la granulometría de las partículas presentes, así como, por el gran volumen de material existente en estos depósitos. De igual modo en trabajos realizados en el Centro de Investigación Minero Metalúrgico CIMM, con residuos mineros, especialmente con relaves se ha advertido la presencia de elementos de valor como oro, plata, tierras raras, galio, germanio, cesio, tantalio, entre otros(CORFO,2013).

Investigaciones de prospección minera han destacado la importancia de los elementos de tierras raras contenidos en los minerales de hierro, así como también en los minerales de titanio y fosfato situados en las regiones de Atacama y Coquimbo de nuestro país. Las reservas y su potencial no se han cuantificado todavía, pero se calcula que son de importancia. Las fuentes minerales que contiene las mayores concentraciones de ETR se encuentran en las apatitas distribuidas en los depósitos de hierro "El Algarrobo", cerca de Vallenar.

Los elementos presentes en mayor proporción son lantano, cerio, itrio y neodimio, que constituyen más del 80% de este grupo. A través de un proyecto de investigación de CORFO-Chile (Corporación de Fomento de la Producción) en el Salar de Atacama se detectó la presencia de tierras raras por encima de los niveles normales en la corteza terrestre, alcanzando un contenido total de ETR, expresado como óxido, cercano o superior a 8,000

ppm. Este valor se considera de interés económico. Por ende, es posible pensar que la extracción y enriquecimiento de metales de tierras raras puede llegar a ser una alternativa para la minería tradicional en Chile.

En Marzo de 2013 geólogos tomaron muestras de arcilla en Penco y tras su análisis descubrieron la presencia de “tierras raras” o lantánidos, un grupo de 17 elementos químicos utilizados para fabricar tecnología de punta. Desde septiembre de 2014, la minera Biolantánidos se instaló en el fundo “El Cabrito” para trazar el proyecto definitivo, y único en Chile, con el que se busca construir plantas comerciales para extraer el recurso (MCH, 2015).

3.2 ANÁLISIS DE LAS 5 FUERZAS DE PORTER

Este método permite evaluar el mercado y entender cómo puede reaccionar la industria con la introducción de una nueva empresa.

3.2.1. Amenaza de entrada de nuevos competidores

En la amenaza de nuevos competidores Japón cumple un papel fundamental, ya que es el mayor importador mundial de especies de tierras raras, debido a que es el hogar de varios de los principales fabricantes de alta tecnología del mundo, este ha conformado una estrategia nacional de tierras raras centrado en el aumento de las existencias, el reciclaje de electrónicos desechados y la búsqueda de nuevas fuentes.

El gobierno japonés también ha introducido US \$ 1.31 mil millones de dólares para desarrollar nuevas tecnologías con la esperanza de reducir la dependencia del país sobre las importaciones de tierras raras en un 30 por ciento en la a mediano y largo plazo. También está llevando a cabo un conjunto de inversiones en otros países de conocidas reservas de tierras raras en Vietnam y Canadá.

Además Canadá quiere asegurar el 20% de la oferta mundial el 2018. Por el momento China produce alrededor del 90% de las tierras raras del mundo, las cuales se utilizan en una variedad de industrias, incluyendo las tecnologías verdes, sistemas de defensa y electrónica de consumo e impone cuotas de exportación (mining, 2014).

En un esfuerzo por superar el casi monopolio de China en el suministro de elementos de tierras raras, Japón y Vietnam han puesto en marcha un centro de investigación conjunta en Hanoi para mejorar la extracción y el procesamiento de los materiales.

Finalmente se puede decir que la entrada de nuevos competidores está abierta, lo cual es malo para una industria ya posicionada, pero para la industria chilena este es un punto a favor.

Por otro lado están las barreras de entrada de las cuales se han identificado para nuestra industria y que en un principio nos podría dificultar la inserción del producto como son el alto costo de los recursos energéticos y la mano de obra, también las políticas ambientales son un punto complicado, debido a que la separación de estos elementos trae consigo una serie de daños al medio ambiente, otro punto es la diferenciación de este producto debido a que en este mercado no hay mayor diferencia a parte del precio en que se venden los elemento.

3.2.2. Poder de negociación de los proveedores

Aquí se hace referencia al poder que tienen los proveedores de los materiales que se utilizan para la extracción, separación y que dan la materia prima para trabajar, sin embargo, la extracción y la materia prima no son costos involucrados para nuestra industria, debido a que el relave ya tiene estos elementos.

Como podemos ver en este fragmento de un artículo: “Los chinos comenzaron a extraer los elementos como subproducto de una mina de mineral de hierro llamada BayanObo, que se encuentra en la parte norte del país; la obtención de ambos productos en el mismo sitio les ayudó al principio a mantener los precios bajos.”(MIT technology review, 2010), por lo tanto el proceso de separación de relaves disminuye los costos asociado finalmente a la venta del producto, sin embargo hay otras variables que no tienen comparación, como lo es la ubicación, ya que Bayan Obo se encuentra en China, un país que tiene bajo salarios, y además bajos costos energético y recién en el 2010 se preocuparon por poner normas ambientales y en cambio la industria de Chile tiene todo lo contrario, por lo que aumentan significativamente el costo de producción de los elementos de tierras raras, en caso de poner en marcha un proyecto de tal magnitud.

3.2.3. Poder de negociación de los compradores

En este punto generalmente el comprador tiene mayor poder de negociación que el vendedor, sin embargo este no es el caso, debido a que hay una gran cantidad de compradores muy interesados en este producto, hay muy pocos vendedores de alta producción.

Los compradores no tienen mayor manejo de la negociación debido a que no hay mayor diferenciación del producto, por lo que no hay mucha competencia entre empresas, en estos últimos años hay una gran demanda a nivel mundial debido a su importancia estratégica y la gran cantidad de productos que pueden servir para el desarrollo de energías limpias.

3.2.4. Amenaza de ingreso de productos sustitutos

Un producto sustituto a los elementos de tierras raras puede venir por un tema de precio debido a las alzas que han sufrido por estrategias comerciales que se han desarrollado a lo largo de la última década o también por un motivo de no dañar tanto al medio ambiente, estos dos temas ya han sido clarificados anteriormente, sin embargo hay muchas empresas multinacionales que están dispuestas a invertir tiempo y dinero para no depender tanto de estos elementos, ya que las tierras raras se encuentran desde celulares hasta automóviles, aviones, entre otros productos.

Por ejemplo los imanes permanentes, que son los más fuertes que se encuentran en este momento y son parte integral de la industria de alta tecnología, utilizados para energías limpias, como son motores eléctricos y generadores de turbinas de viento.

Los esfuerzos para desarrollar tecnologías sustitutivas que no se basan en metales raros están en curso, y los gobiernos de todo el mundo se están movilizando recursos hacia el problema. El Departamento de Energía de Estados Unidos ha patrocinado 14 proyectos por una suma de 27.000.000 dólares, muchos de los cuales están examinando nuevos imanes que no necesitan metales de tierras raras (CHEMISTRY WORLD; 2014).

Como podemos ver hay un gran interés a nivel mundial en no depender de las tierras raras por diferentes motivos, sin embargo hasta el momento no hay información verídica que demuestre este hecho.

3.2.5. La rivalidad entre los competidores

La rivalidad que hay actualmente sobre los elementos de tierras raras es muy poco equilibrada, debido a que China maneja la mayor parte de oferta de este mercado.

En el Monte Weld depósito de tierras raras en Australia, se completó la fase inicial de la minería de tajo abierto en junio de 2008 se extraía un total de 773.000 toneladas de mineral a una ley promedio de 15,4% de REO; Sin embargo, no existía ninguna planta de beneficio para procesar el mineral en una de las tierras raras para concentrarlas. Basado en el grano fino del Monte Mineral de Weld, se esperaba sólo el 50% de recuperación de los óxidos de tierras raras (Lynas corporation LTD).

China continuó los esfuerzos para restringir el suministro de óxidos de tierras raras y la consolidación de su industria mediante un manejo económico-político manteniendo los últimos años una oferta mundial sobre el 90 %.

En Agosto del 2014, la Organización Mundial del Comercio confirmó una sentencia a favor de los Estados Unidos, la Unión Europea y las alegaciones del Japón, que China violó las reglas de comercio con respecto a la imposición injusta de restricciones a la exportación de tierras raras, a pesar de las alegaciones de China de que los controles fueron destinadas a proteger el medio ambiente y conservar los recursos.

Hasta la actualidad hay un dominio importante de China sobre este mercado de las tierras raras, sin embargo con los últimos acontecimientos esto no debería seguir en las mismas condiciones y hay nuevos competidores emergentes desde el año 2013, por lo tanto si se puede entrar a este mercado.

Por otro lado, están las ventajas competitivas de las cuales se han identificado 2 para la industria escogida, las cuales son:

La existencia de los elementos de tierras raras presentes en los relaves de hierro, ya que esto elimina todo el costo asociado a la extracción del producto.

Y la otra ventaja es la experiencia en el ámbito minero que se tiene de la industria chilena.

De las 5 fuerzas de Porter se puede concluir que no es tan fuerte la competencia entre rivales de esta industria, debido a que se ve un casi monopolio manejado por China, producto a sus bajos costos de explotación, sin embargo ya hay acciones de parte de los competidores más importantes para mitigar este hecho, otro punto es que hay una fuerte demanda la cual le quita poder a los compradores, este hecho hace que la industria maneje los precios.

Por otro lado se ve que a pesar de la poca rivalidad, si hay nuevos competidores entrantes en los últimos años, debido a que China ha perdido fuerza en el mercado de las tierras raras. Además hay un déficit entre la demanda y oferta que deja entrar a otros competidores, a pesar de esto, las barreras de entrada dan un resultado negativo para la industria de Chile, debido a los altos costos salariales, medio ambientales y energéticos.

3.3 ANÁLISIS FODA

3.3.1 Fortalezas

- ✓ Ser la única en su especie en Chile
- ✓ Accesibilidad a los lugares donde hay concentración de tierras raras
- ✓ La imagen de Chile es buena, en el sector minero

3.3.2 Debilidades

- ✓ Desconocimiento del mercado
- ✓ Producto o servicio sin características diferenciadoras
- ✓ Altos costos de separación
- ✓ Proceso tecnológico complejo

3.3.3 Oportunidades

- ✓ Necesidad de las tierras raras
- ✓ Tendencias favorables en el mercado
- ✓ Crear nuevas tecnologías

3.3.4 Amenazas

- ✓ Aparición de productos sustitutos
- ✓ Competencia consolidada en el mercado
- ✓ Inestabilidad económica
- ✓ Cambios políticos

Del análisis FODA se concluyen los siguientes aspectos básicos para el negocio:

De las fortalezas, se concluye que la minería chilena tiene una buena imagen en esta industria lo que es muy importante para poder vender un producto de esta categoría. En este sentido el mercado minero de Chile tiene las condiciones económicas y de calidad para una exportación al nivel de los competidores actuales.

De las debilidades, se puede concluir que a pesar de ser un país minero, tenemos poca experiencia y mucho desconocimiento del mercado de las tierras raras, algo que también es complicado es la tecnología necesaria para poder separar las tierras raras del mineral.

De las oportunidades, se puede concluir que es un buen negocio ingresar en esta industria, debido a que las tierras raras se utilizan cada vez más, lo que significa una tendencia favorable de este mercado a futuro.

Y finalmente de las amenazas se concluye que hay industrias muy bien consolidadas a nivel mundial que abarcan casi todo el mercado de las tierras raras, además de ser un mercado que se basa en que mientras a menor costo se produzcan los elementos de tierras raras, mayor margen de rentabilidad va a tener la industria, o sea mayor oportunidad de estar en este mercado, debido a que este es el factor más importante en este tipo de productos, por lo tanto se debe esperar, analizar y determinar el momento preciso para poder entrar a este mercado.

CAPITULO IV

MÉTODO DE SEPARACIÓN

4.1. INSTALACIÓN DE FAENAS

La Instalación de Faenas tiene como objetivo apoyar la ejecución de las actividades de construcción del Proyecto. Se considera la utilización de instalaciones modulares para todas las dependencias que conforman la Instalación de Faenas, que permiten un fácil montaje, desarme y transporte.

La Instalación de Faenas se encontrará dotada de los siguientes elementos:

- ✓ Oficinas administrativas.
- ✓ Bodega de materiales de construcción.
- ✓ Talleres de trabajo.
- ✓ Comedor.
- ✓ Servicios higiénicos.
- ✓ Vestidores.
- ✓ Gabinete de primeros auxilios.
- ✓ Grupos electrógenos.
- ✓ Estanque para almacenamiento.

5.1. Oficinas Administrativas

Esta instalación contará con elementos que permitan la correcta ventilación y luminosidad, además de sillas y mesas ergonómicas para facilitar el trabajo.

Albergará las actividades de oficina necesarias para el desarrollo de las actividades. Las oficinas (oficinas privadas y compartidas, sala de reuniones, baños, entre otros) se proyectan en base a módulos tipo contenedor equipadas con muebles (sillas, escritorios, mesas, entre otros), equipos de calefacción/aire acondicionado, fotocopiadora, red computacional, red telefónica, entre otros elementos.

5.2. Bodega de Materiales de Construcción

En la bodega se almacenarán materiales, herramientas, elementos de protección personal, entre otros elementos.

5.3. Comedor

Instalación constituida por contenedores metálicos diseñados para estos fines. La construcción y operación del comedor se ejecutará de acuerdo a las disposiciones del Artículo 28 del D.S. N° 594/1999 del Ministerio de Salud. Se destaca que el abastecimiento de la alimentación se encontrará a cargo de una empresa externa debidamente autorizada por el Servicio de Salud y que suministrará diariamente la alimentación para los trabajadores que no se contempla la preparación de alimentos en el área destinada para comedor ni en cualquier otra zona del Proyecto.

5.4. Servicios Higiénicos

Se tratará de instalaciones de carácter permanente.

El número de baños y duchas corresponderá a lo establecido en la normativa vigente (D.S. N° 594/1999 del Ministerio de Salud). Para su funcionamiento el Proyecto contempla utilizar un sistema particular de almacenamiento de agua potable y de alcantarillado. Estas instalaciones serán presentadas a la Seremi de Salud de la Región para su aprobación. En los frentes de trabajo, según corresponda al avance de las obras, se contará con baños químicos, que serán provistos y mantenidos por una empresa debidamente autorizada. La cantidad de servicios higiénicos (excusados, lavatorios y duchas) se cumplirá con lo estipulado en el Artículo 22 del D.S. N° 594/1999, de acuerdo a la cantidad de personas consideradas en obra.

5.5. Vestidores

Se contará con la habilitación de un contenedor para ser utilizado como vestidor. Esta instalación dará cumplimiento los artículos del Párrafo V del D.S. N° 594/99 del Ministerio de Salud. Estas dependencias serán cerradas.

5.6. Gabinete de Primeros Auxilios

Se habilitará, en uno de los contenedores de la Instalación de Faenas, un gabinete que contará el equipamiento necesario para primeros auxilios.

5.7. Almacenamiento de Combustible

Se contempla un estanque de 15 m³ surtidor para el almacenamiento de combustible. El estanque a utilizar contará con la certificación de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

5.8. Agua Potable

El agua para consumo humano directo será provista por medio de bidones de agua potable envasada. En los frentes de trabajo, los bidones de agua se mantendrán en estructuras de madera que proporcionen sombra. Por otro lado, el agua potable requerida para los servicios higiénicos (baños y duchas) será provista ya sea por medio de camiones aljibes debidamente autorizados, o desde las captaciones de aguas consideradas para la operación del Proyecto, previo a su potabilización (cloración y filtración). El agua potable será almacenada en un estanque de 15 m³, el que será abastecido según necesidad. El total de agua para uso de los trabajadores, no será inferior al mínimo establecido en la reglamentación vigente (D.S. N° 594/1999), esto es, 100 l/día.

4.2. OBRAS PERMANENTES

Las obras permanentes son aquellas que se encontrarán activas y apoyando el desarrollo de las actividades del Proyecto a lo largo de su vida útil.

De acuerdo a lo anterior, las obras permanentes del Proyecto son las siguientes:

- ✓ Accesos y caminos internos.
- ✓ Planta de Procesamiento de Mineral.
- ✓ Zonas de Extracción de Mineral.
- ✓ Zonas de Disposición de Mineral

Para el desarrollo de las actividades del Proyecto la lixiviación se realizara en botaderos.

4.2.1. Planta de Procesamiento de Mineral

La Planta de Procesamiento de Mineral tendrá una capacidad para procesar hasta 210 ton/h de mineral.

4.2.2. Descripción de la fase de construcción

Las actividades que se desarrollará durante la Fase de Construcción son las siguientes:

- ✓ Implementación de la Instalación de Faenas.
- ✓ Habilitación de accesos y caminos internos.
- ✓ Construcción de la Planta de Procesamiento de Mineral.
- ✓ Desarme y retiro de instalaciones temporales.
- ✓ Maquinarias y equipos.
- ✓ Insumos y servicios.

4.2.3. Construcción de la Planta de Procesamiento de Mineral

La construcción de la Planta de Procesamiento del Mineral consiste principalmente en la ejecución de radieres para la construcción de las dependencias de control de accesos, sala de control; oficinas administrativas; talleres; sala eléctrica; filtrado; calcinación y envasado; reacondicionamiento de agua; bodega de productos químicos y almacenamiento de residuos.

4.3. METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN Y SEPARACION

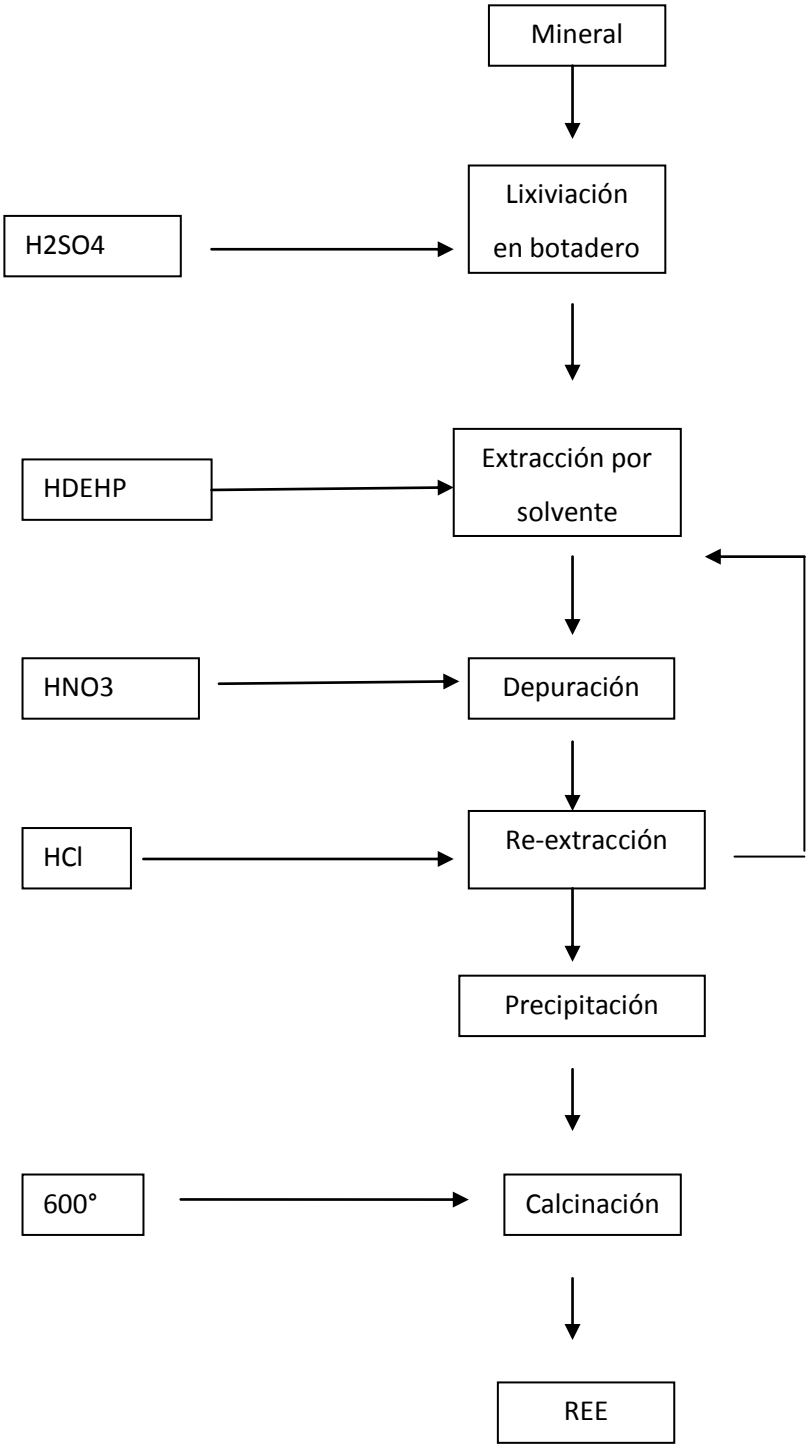
Los elementos del grupo de los lantánidos son muy difíciles de separar entre ellos por métodos tradicionales debido a la similitud de sus propiedades químicas.

Antes de la llegada de la extracción por solvente a escala industrial, en la década de 1960, la tecnología de intercambio iónico fue la única forma práctica para separar las tierras raras en grandes cantidades.

En la actualidad el proceso de extracción por solvente es una de las principales técnicas utilizadas a nivel industrial para la separación y purificación de elementos de tierras raras, principalmente debido a que permite el manejo de grandes volúmenes, este proceso inicia con la separación de diferentes grupos de elementos a partir de los lixiviados.

La extracción por solvente se basa en la reducción sostenida del radio iónico en el grupo de los lantánidos, que da lugar a un incremento en la acidez o a una reducción en la basicidad al incrementarse el número atómico, esto causa una ligera variación en los coeficientes de formación de los complejos metal-extractante, permitiendo la unión preferente a una resina de intercambio iónico o la extracción del complejo formado en la fase orgánica.

Proceso de recuperación de Tierras Raras



4.3.1. Lixiviación en botadero

Esta técnica consiste en lixiviar lastres, desmontes o sobrecarga de minas de tajo abierto, los que no pueden ser tratados por métodos convencionales. Este material, generalmente al tamaño que sale de la mina, es depositado sobre superficies poco permeables y las soluciones percolan a través del lecho por gravedad. Normalmente, son de grandes dimensiones, se requiere de poca inversión y necesita tiempos excesivos para extraer todo el metal. Las soluciones se alimentan por aspersión.

El concentrado de minerales de tierras raras son lixiviados químicamente con ácidos o álcalis en un proceso de disolución conocido como cracking, en este caso se utiliza ácido sulfúrico,

Terminando el proceso el sólido insoluble es filtrado, mientras que la solución que contiene los elementos de tierras raras, es cargada a una cama de resina de intercambio catiónico para la separación de dichos elementos.

En esta etapa se elimina aquellos metales que no se desean recuperar junto con los elementos de TR. Los botaderos, se rocía con agua y ácido sulfúrico, y se genera un goteo constante de solución ácida sobre la pila durante unos 45 o 60 días, si es mineral oxidados.

4.3.2. Extracción con solvente

El DEHPA (ácido di- (2-etilhexil) fosfórico) es un tipo de extractante de ácido fosfórico orgánico típico, ampliamente utilizado para la separación de tierras raras debido a su mayor eficacia de extracción. Este reactivo es un agente de extracción catiónico líquido y el metal es intercambiado por el ion hidrógeno de su grupo hidroxilo. y variando la temperatura, tales ajustes de temperatura a la cama de resina mejora la eficiencia en la separación de estos elementos, las tierras raras son convertidos a su correspondiente oxalato insoluble, por medio de la adición de de ácido oxálico.

La extracción por solvente es un proceso de separación, que consiste en poner en contacto un solvente orgánico con una solución acuosa que contiene los metales de interés. Durante el contacto, el metal deseado es transferido desde la fase acuosa a la fase orgánica, gracias a que las fases son inmiscibles, estas se separan cuando la agitación termina.

La solución acuosa es desechada y la fase orgánica cargada es purificada en el proceso conocido como scrubbing.

4.3.3. Purificación

Proceso en el cual las impurezas que se tengan en dicha fase son removidas por el tratamiento de esta con una fase acuosa, luego de esto la fase orgánica pasa a la re-extracción.

4.3.4. Re-extracción

En la re-extracción es donde el soluto deseado es removido, esto gracias a la variación de pH. Después de la re-extracción la fase orgánica es recirculada de nuevo a la etapa de extracción.

4.3.5. Precipitación

Precipitación iónica es la adición de un reactivo a una solución creando un compuesto de metal cuya solubilidad es tan baja que la precipitación tiene lugar inmediatamente, convierte solutos disueltos en sólidos,

En algunos casos, las condiciones de operación en la etapa de extracción pueden hacer que la recuperación de los elementos metálicos de las disoluciones de re-extracción sea problemática; este hecho se puede deber también, en algunos casos, a la necesidad de un elevado consumo de agentes neutralizantes con los consiguientes problemas de diversa naturaleza que este hecho conlleva.

Una forma de evitar este problema es la adición de una sal, en este caso HCl a la disolución de re-extracción con el fin de que precipiten los sulfatos dobles de estos elementos, sin que sea necesaria una neutralización de la disolución.

4.3.6. Calcinación

Los carbonatos húmedos provenientes de la re-extracción, son dispuestos en bandejas y llevados a los hornos eléctricos de secado donde se calientan hasta una temperatura de 105 °C; luego se enfrían y trasladan a crisoles de ladrillo refractario para ser llevados a los hornos eléctricos de calcinación para convertir los carbonatos en los óxidos respectivos. El proceso de calcinación se realiza por aproximadamente 6 horas a una temperatura de 600° C.

4.3.7. Envasado del Producto

Los Óxidos de Tierras Raras de los hornos son llevados al sistema de envasado, que consiste en una tolva y tornillo que descargan el mineral a tambores de 200 litros, los cuales se pesan al término del durante su proceso de llenado. El producto será envasado y almacenado temporalmente para su comercialización. Posteriormente, Para su comercialización será llevado en camiones

4.3.8. Cantidad de Mineral a Procesar

La cantidad de mineral a procesar se estima en 3.877.799 Toneladas

Tipo Mineral	Toneladas de Mineral	Ley Ponderada (%)	Fino en toneldas
Indicado	3.877.799	0,0759	294.324,9
Inferido	1.827.750	0,0396	72.378,9

Tabla 1. Recursos REE, prospecto Cerro Carmen

CAPITULO V

FACTIBILIDAD ECONOMICA

5.1. Ingresos

Para el año 1 se tiene estimado una producción de 50 toneladas de tierras, debido a que el proceso de lixiviación es largo, y desde el segundo año en adelante se estima una producción anual de 100 toneladas.

ton anual	50
precio pesos/ton	\$ 4.896.000
ingreso anual(pesos)	\$ 244.800.000

Tabla 2. Ingresos por venta Año 1.

ton anual	100
precio pesos/ton	\$ 4.896.000
ingreso anual(Pesos)	\$ 489.600.000

Tabla 3. Ingresos por venta desde el año 2.

5.1. Costos

En los costos fijos está considerado los sueldos, que abarca a los trabajadores de operación, un administrativo y al gerente general; también algunos trabajos de mantenimiento y gastos administrativos.

En los costos variables están considerados los insumos, que en este caso corresponde a los reactivos utilizados en el proceso de separación, y a los servicios industriales como son el agua y la electricidad, que son bastante utilizados en estos procesos.

costos variables	costo (pesos)
servicios industriales e insumos	\$ 136.000.000

Tabla 4. Costos Variable año 1.

costos variables	costo (pesos)
servicios industriales e insumos	\$ 214.200.000

Tabla 5. Costos variables desde el año 2.

costo fijo	costo (pesos)
sueldo	\$ 98.260.000
mantenimiento	\$ 1.700.000
gastos administrativos	\$ 2.040.000
Total	\$ 102.000.000

Tabla 6. Costos Fijos.

5.2. Inversiones

En inversiones, en equipos, están contemplados los Piping del proceso de lixiviación, filtros, Mezclador-Decantador, Horno de Calcinación.

En obras civiles piscinas, baños, comedores, oficinas administrativas, entre otras.

inversión	costo (pesos)
equipos	\$ 80.240.000
obra civil	\$ 39.440.000
activos diferidos	\$ 1.020.000
total	\$ 120.700.000

Tabla 7. Inversión.

5.3. Depreciación

Depreciación	Valor (pesos)	tiempo(Años)	Depreciación anual
equipos	\$ 80.240.000	15	\$ 5.349.333
obra civil	\$ 39.440.000	40	\$ 986.000
Total			\$ 6.335.333

Tabla 8. Depreciación lineal.

5.4. Financiamiento

El proyecto se realizara con financiamiento por un préstamo que corresponde al 67% aproximado de la inversión y el 33% restante será con financiamiento propio.

El crédito tiene una tasa de interés anual de 10,8 %.

periodos	inicial	interés	amortización	cuota	final
0					\$ 81.260.000
1	\$ 81.260.000	\$ 8.776.080	\$ 13.099.955	\$ 21.876.035	\$ 68.160.045
2	\$ 68.160.045	\$ 7.361.285	\$ 14.514.750	\$ 21.876.035	\$ 53.645.294
3	\$ 53.645.294	\$ 5.793.692	\$ 16.082.344	\$ 21.876.035	\$ 37.562.951
4	\$ 37.562.951	\$ 4.056.799	\$ 17.819.237	\$ 21.876.035	\$ 19.743.714
5	\$ 19.743.714	\$ 2.132.321	\$ 19.743.714	\$ 21.876.035	\$ 0

Tabla 9. Amortización del crédito.

5.5. Flujo de caja proyectado a 5 años

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	\$ 0	\$ 244.800.000	\$ 489.600.000	\$ 489.600.000	\$ 489.600.000	\$ 489.600.000
Costos Fijos	\$ 0	-\$ 102.000.000	-\$ 102.000.000	-\$ 102.000.000	-\$ 102.000.000	-\$ 102.000.000
Costos Variable	\$ 0	-\$ 136.000.000	-\$ 214.200.000	-\$ 214.200.000	-\$ 214.200.000	-\$ 214.200.000
Utilidad Bruta	\$ 0	\$ 6.800.000	\$ 173.400.000	\$ 173.400.000	\$ 173.400.000	\$ 173.400.000
Depreciación	\$ 0	-\$ 6.335.333	-\$ 6.335.333	-\$ 6.335.333	-\$ 6.335.333	-\$ 6.335.333
Interés	\$ 0	-\$ 8.776.080	-\$ 7.361.284	-\$ 5.793.691	-\$ 4.056.798	-\$ 2.132.321
UAI	\$ 0	-\$ 8.311.413	\$ 159.703.383	\$ 161.270.976	\$ 163.007.869	\$ 164.932.346
Impuesto (17%)	\$ 0	\$ 0	-\$ 27.149.575	-\$ 27.416.066	-\$ 27.711.338	-\$ 28.038.499
UDI	\$ 0	-\$ 8.311.413	\$ 132.553.808	\$ 133.854.910	\$ 135.296.531	\$ 136.893.847
Depreciación	\$ 0	\$ 6.335.333	\$ 6.335.333	\$ 6.335.333	\$ 6.335.333	\$ 6.335.333
Flujo de caja Operacional	\$ 0	-\$ 1.976.080	\$ 138.889.141	\$ 140.190.243	\$ 141.631.864	\$ 143.229.180

Tabla 10. Flujo de Caja Operacional.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión Fija	-\$ 120.700.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
préstamo	\$ 81.260.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Amortización	\$ 0	-\$ 13.099.955	-\$ 14.514.750	-\$ 16.082.343	-\$ 17.819.236	-\$ 19.743.714
Flujo de Capital	-\$ 39.440.000	-\$ 13.099.955	-\$ 14.514.750	-\$ 16.082.343	-\$ 17.819.236	-\$ 19.743.714

Tabla 11. Flujo de Capital.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de caja operacional	\$ 0	-\$ 1.976.080	\$ 138.889.141	\$ 140.190.243	\$ 141.631.864	\$ 143.229.180
Flujo de Capital	-\$ 39.440.000	-\$ 13.099.955	-\$ 14.514.750	-\$ 16.082.343	-\$ 17.819.236	-\$ 19.743.714
Flujo de Caja	-\$ 39.440.000	-\$ 15.076.035	\$ 124.374.391	\$ 124.107.900	\$ 123.812.628	\$ 123.485.466

Tabla 12. Flujo de Caja.

5.6. Indicadores Financieros

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de Caja	-\$ 39.440.000	-\$ 15.076.035	\$ 124.374.391	\$ 124.107.900	\$ 123.812.628	\$ 123.485.466
Flujo de caja Actualizado	-\$ 39.440.000	-\$ 13.705.486	\$ 102.788.753	\$ 93.244.102	\$ 84.565.691	\$ 76.674.759
Flujo de caja acumulado	-\$ 39.440.000	-\$ 53.145.486	\$ 49.643.267	\$ 142.887.369	\$ 227.453.060	\$ 304.127.819

Tabla 13. Flujo de Caja Acumulado.

VAN	\$ 304.127.819
PRI (Años)	1,52
TIR	118%

Tabla 14. VAN, TIR, PRI del Proyecto

CAPITULO VI

CONCLUSIÓN

En conclusión, en Chile si hay presencia de tierras raras, a través de varios estudios realizados, se encontró la presencia de estos elementos entre la II y IV región principalmente en depósitos de Hierro, en el salar de Atacama y en la octava región.

A nivel nacional no tiene mercado, ya que Chile no es un país creador de tecnología, pero a nivel internacional hay un buen mercado, el principal importador de tierras raras es Japón y el principal exportador es China.

El proceso de separación más conveniente es el de lixiviación en botaderos, extracción por solvente y Calcinación, debido a que es más económico.

También es económicamente factible debido a que el VAN es positivo, la TIR de 118% y el periodo de recuperación de 1,5 años.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA Y LINKOGRAFÍA

Chile, País Minero, extrayendo lo mejor de nosotros; SONAMI y El Mercurio; Cuerpo D; 2012-2013.

El secreto poder de las tierras raras; Justin Rowlatt , BBC Mundo;2014.

Propiedades de las Tierras raras; Ángeles Méndez; 2011;

<http://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/propiedades-de-las-tierras-raras>

Tabla periódica; Lentech; <http://www.lenntech.es/periodica/tabla-periodica.htm>.

El gran poder de unas tierras raras; Claudia Fonseca; Granma; 2014.

China y el monopolio de las tierras raras; Centro de Investigaciones Navales y Marítimas; BOLETÍN DE ACTUALIDAD 11/2012.

Plantillas análisis de porter; www.sanodelucas.cl/wp-content/uploads/2016/06/Análisis-de-Porter.pdf.

Plantilla análisis FODA; www.sanodelucas.cl/wp-content/uploads/2016/06/Análisis-FODA.pdf.

Indicadores Financieros; Evaluación de proyectos, material de apoyo,UDLA.

Tierras Raras destacan como resultado del primer Mapa Geoquímico de Chile; Sernageomin; 2015.

CHILE PAÍS MINERO, ADEMÁS DE COBRE; Sernageomin.

Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales; CORFO; 2013.

En Penco encuentran minerales que usa la tecnología de punta; MCH; 2015.

EL MERCADO DE “TIERRAS RARAS”: UN MERCADO ESTRATÉGICO; Gonzalo Sirvent Zaragoza; Instituto español de estudios estratégicos; 2012.

¿Es posible recuperar la industria estadounidense de tierras raras?; MIT technology review; 2010.

Canada wants 20% of global rare earth market by 2018; mining; 2014;

<http://www.mining.com/canada-wants-20-of-global-rare-earth-market-by-2018-27834/>.

Rare element substitution a tricky proposition; SIMON HADLINGTON, CHEMISTRY WORLD; 2014;

<https://www.chemistryworld.com/news/rare-element-substitution-a-tricky-proposition/6936.article>.

How We Mine Rare Earths; Lynas corporation LTD; <https://www.lynascorp.com/Pages/How-are-Rare-Earths-Mined.aspx>.

Decreto Supremo N° 594 (1999); Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo; Santiago; art. 12-15.

CAPITULO VIII
ANEXOS



TIERRAS RARAS Y SU POTENCIAL EN CHILE.

Plan Nacional de Geología

El Plan Nacional de Geología de SERNAGEOMIN incluye el Programa de Cartografía Geoquímica, en el cual se busca contribuir a promover la exploración minera y generar información geoquímica referencial a nivel nacional a través de la producción de hojas geoquímicas a escala 1: 250.000, estas se construyen a partir de muestreo de sedimentos en una grilla regular, con una densidad de una muestra cada 20 km² y posterior análisis geoquímico para determinar la abundancia 59 elementos químicos, de los cuales 16 pertenecen al grupo de las tierras raras. A la fecha se han publicado tres hojas geoquímicas de la Serie Geoquímica: Hoja Iquique (Lacassie y otros, 2012), Hoja Pisagua (Astudillo y otros 2014) y Hoja Arica (Baeza y otros 2014), además se dispone de una versión preliminar de la Hoja La Serena (Lacassie y otros, en elaboración).

SERNAGEOMIN ha reportado en sus documentos zonas con concentraciones anómalas de tierras raras, que pueden resultar interesantes de revisar.

Analizando los resultados obtenidos en todas las hojas geoquímicas, destaca en particular un sector de la Hoja Arica (Figura 22) ubicado en la vertiente occidental de la cuenca del río Lauca, entre el río Vizcachani, por el norte, hasta la pampa Citañane (Zona H en la Hoja Arica) por su alto contenido de tierras raras. En esta zona se detectaron altas concentraciones de tierras raras livianas (promedio La: 74,8 ppm, Ce 132,1 ppm, Pr 13,66 ppm, Nd 44,8 ppm) coincidente con altas concentraciones de uranio y torio (promedio 3,63 y 25,43 ppm respectivamente) circonio, hafnio, sílice, potasio y niobio. Además, algunas muestras, presentan altas concentraciones de tierras raras intermedias y pesadas, con valores promedio de: Sm=6,2 ppm; Gd=4,1 ppm; Er=1,5 ppm; Tm=0,2 ppm; Yb=1,8 ppm; Lu=0,3 ppm; Y=15 ppm; además de rubidio (Rb)=97 ppm y bario (Ba)=911 ppm.

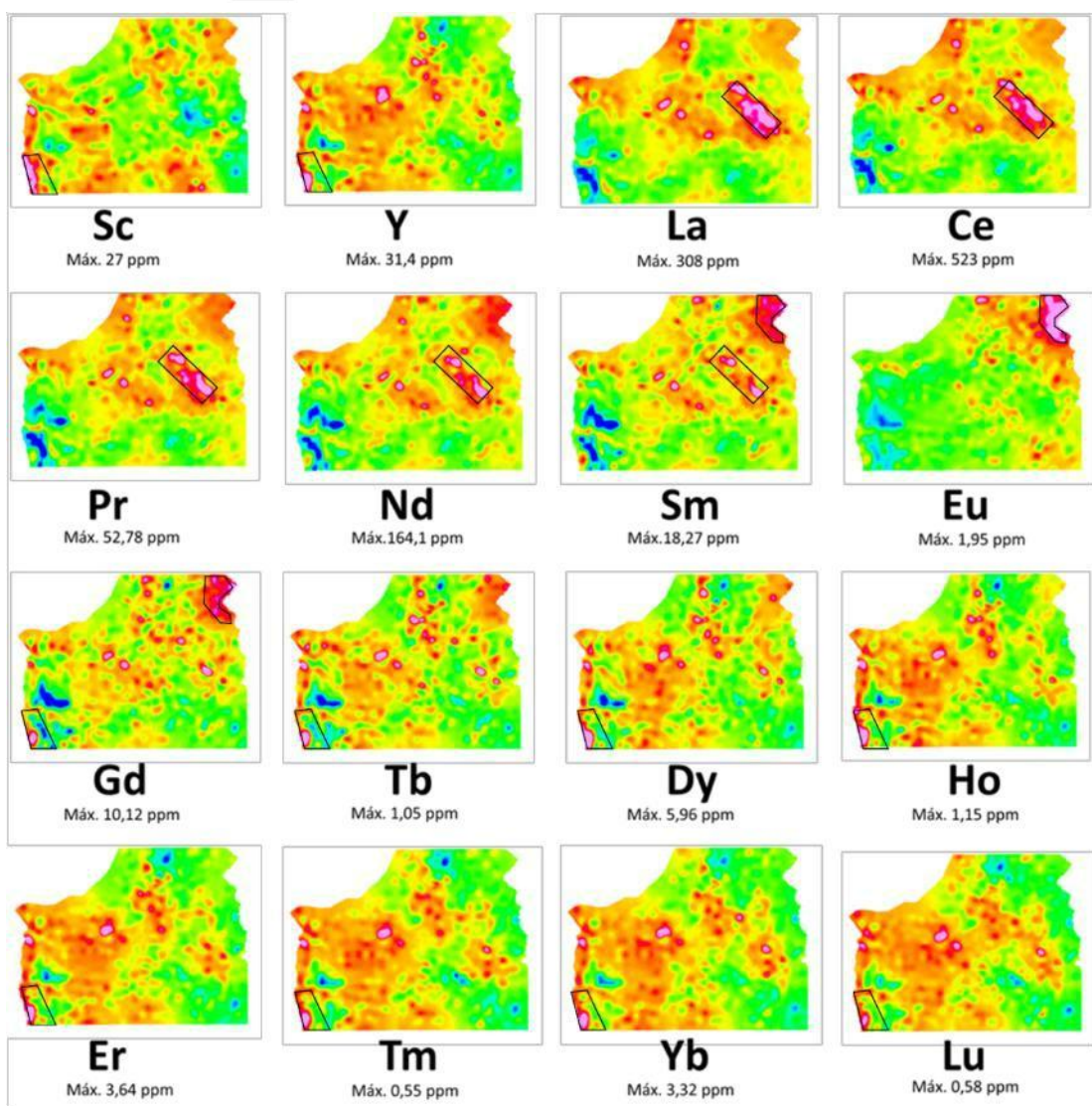
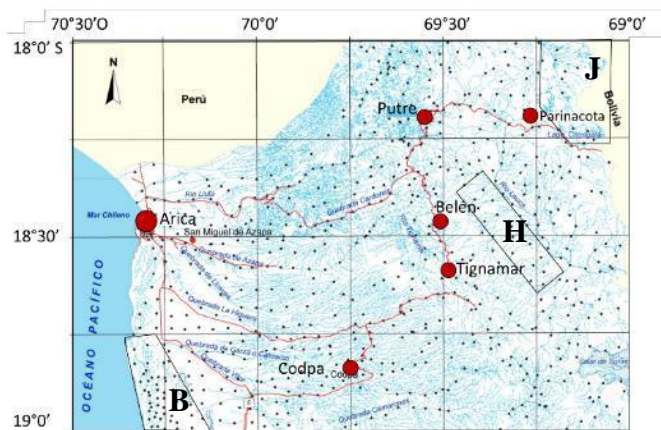
También en la Hoja Arica, en los dominios de los volcanes Pomerape y Parinacota (Zona J, Figura 22), se detectaron fuertes anomalías de tierras raras intermedias: europio (promedio de 1,71 ppm), gadolinio (promedio 4,84 ppm), samario (promedio 6,52 ppm) además de fósforo y estroncio. Además, a lo largo de la cordillera de la Costa, entre las quebradas Vitor y Camarones (Zona B, Figura 22) se encontraron anomalías positivas de cobre, oro, cromo y níquel, junto a una anomalía positiva de fósforo correlacionada con altas concentraciones de uranio y tierras raras intermedias y pesadas (Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) e itrio.

En la Hoja Pisagua (Figura 23) también destacan dos zonas de anomalías positivas de tierras raras. La primera se ubica en el extremo sureste de la carta (Zona L) con altas concentraciones de hierro, oro, plata, cobre, plomo y uranio junto a anomalías positivas de tierras raras livianas a medias (La-Ce-Pr-Nd-Sm-Eu-Gd-Tb) y anomalías aún más marcadas, en tierras raras pesadas (Dy-Ho-Er-Tm-Yb) e itrio (Y). La otra zona interesante en cuanto a su contenido de REE, se ubica en la costa, desde 10 km al N de Pisagua hasta la caleta Mejillones del Norte (Zona B) donde se detectaron anomalías positivas de cobre, oro y, periféricamente molibdeno y, además, marcadas anomalías positivas de magnesio y tierras raras intermedias y pesadas (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) e itrio (Y).

En la Hoja Iquique (Figura 24) y en la Hoja La Serena (resultados preliminares, Figura 25) los valores de REE son más bajos pero es posible reparar que las zonas de más alta concentración se encuentran hacia el oeste de la carta, en la Cordillera de la Costa. De todos modos los valores de concentraciones de REE mostrados en estas hojas son más bajos que en las dos primeras (Arica y Pisagua).



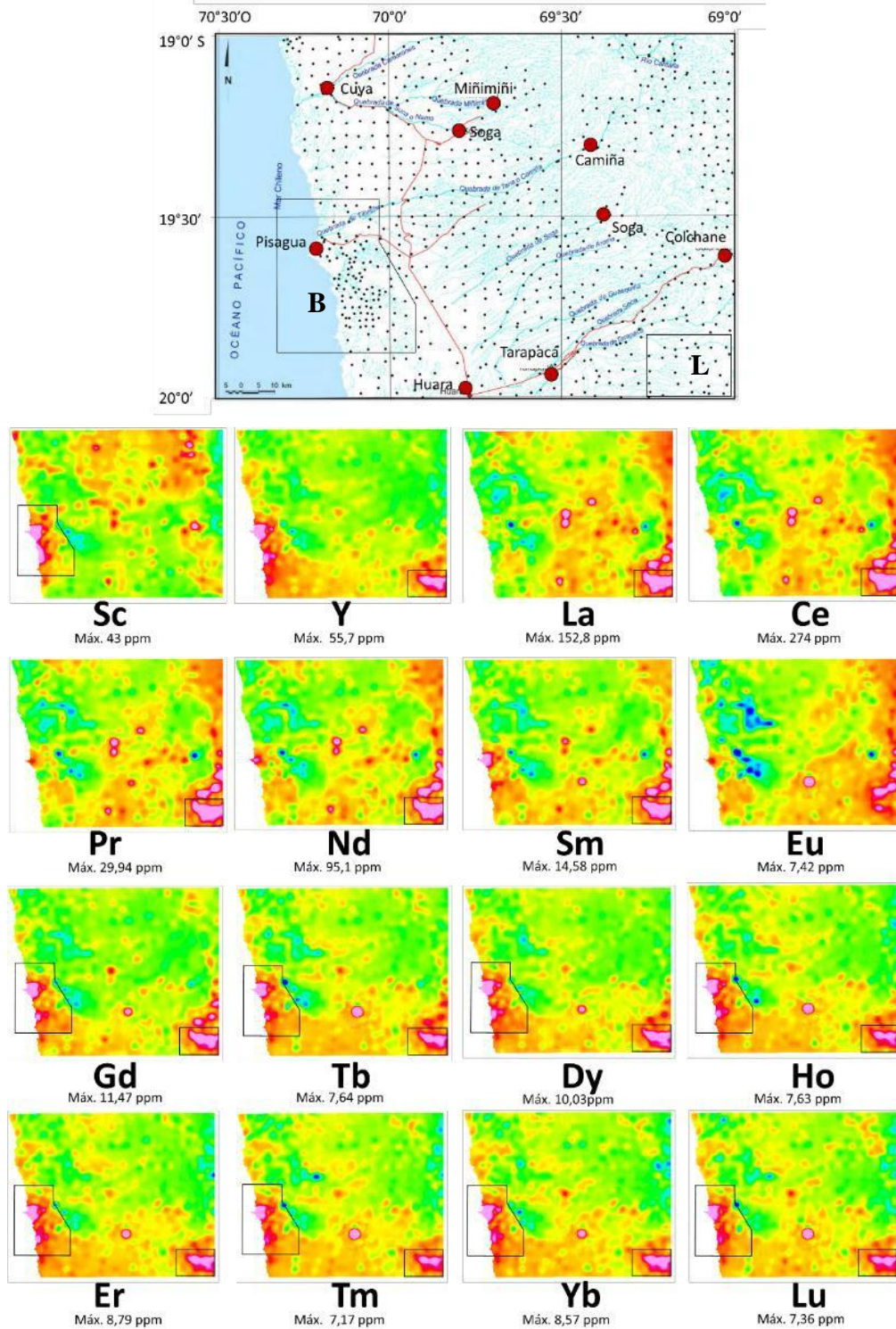
Interpolación de concentraciones de REE en Geoquímica de Sedimentos de la Hoja Arica (Baeza y otros, 2014), en rosado los máximos y en azul los mínimos.



Fuente: SERNAGEOMIN.



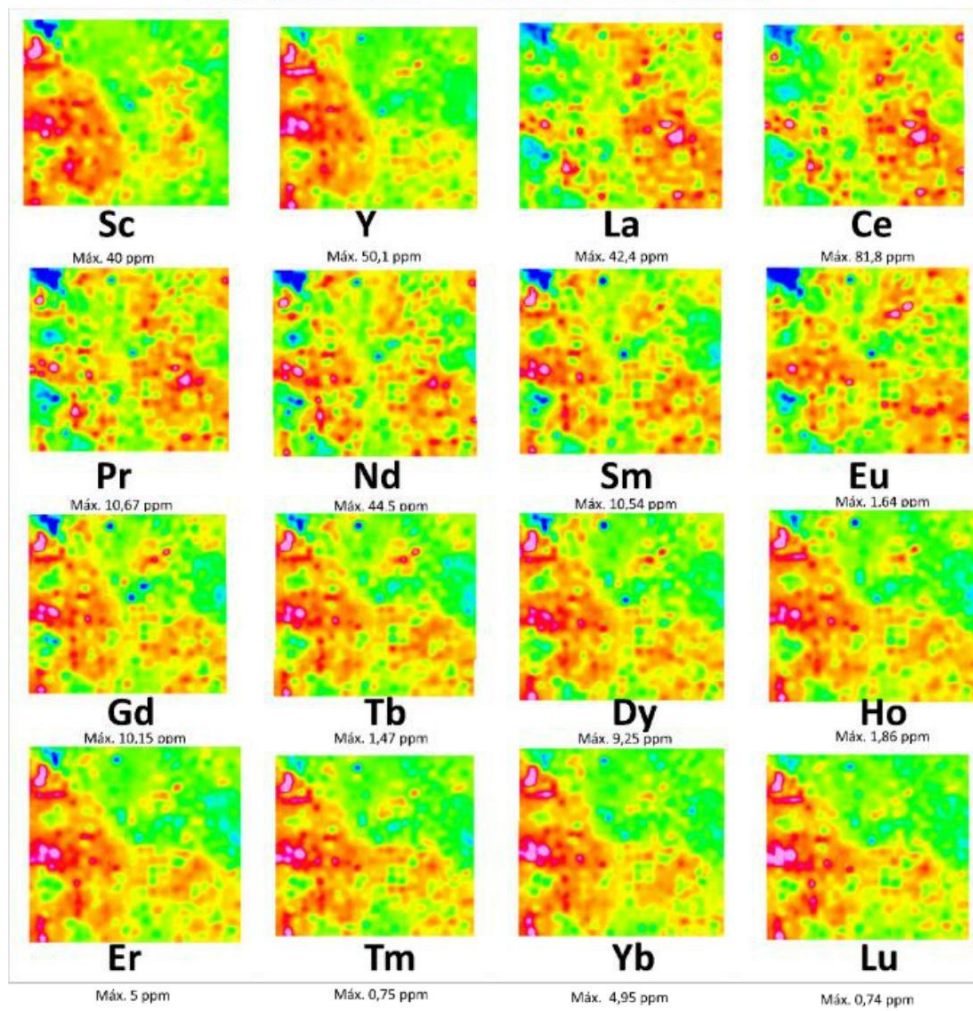
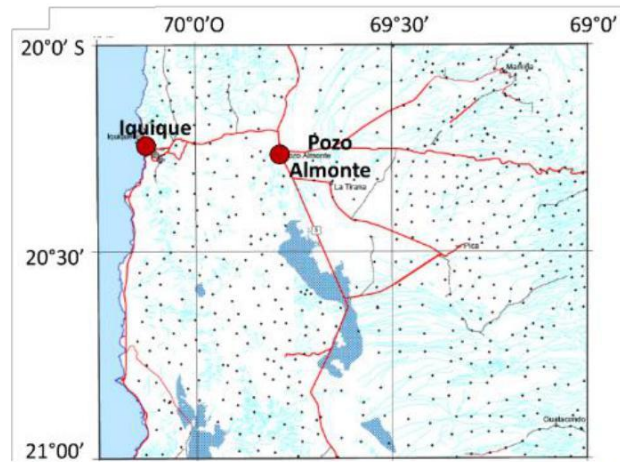
Figura 23. Interpolación de concentraciones de tierras raras en Geoquímica de Sedimentos de la Hoja Pisagua (Astudillo y otros, 2014), en rosado los máximos y en azul los mínimos.



Fuente: SERNAGEOMIN.



Interpolación de concentraciones de tierras raras en Geoquímica de Sedimentos de la Hoja Iquique (Lacassie y otros, 2012), en rosado los máximos y en azul los mínimos.



Fuente: SERNAGEOMIN.



Figura 25. Concentraciones de los elementos de tierras raras en subcuencas en Geoquímica de Sedimentos de la Hoja La Serena (Lacassie y otros, en elaboración). En verde oscuro concentraciones altas y, en verde claro, concentraciones bajas.



Fuente: SERNAGEOMIN.



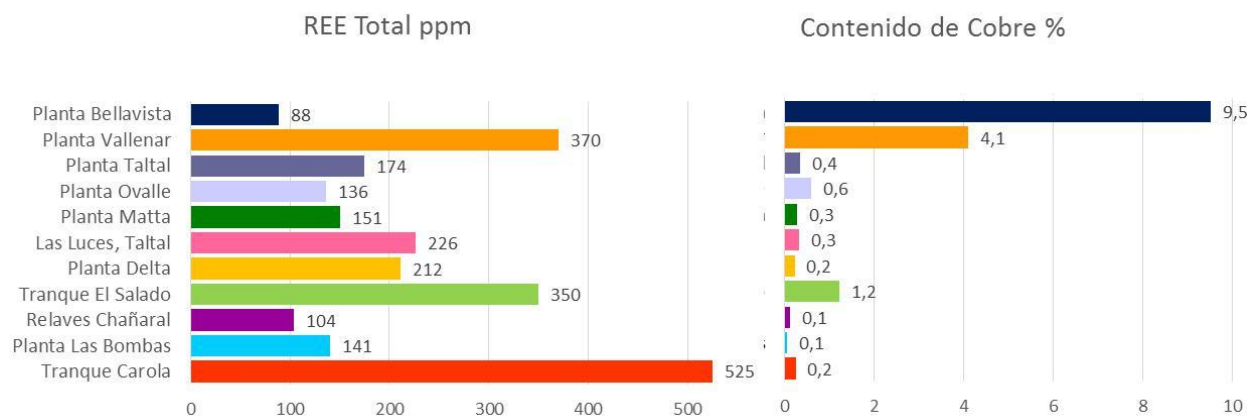
Cerro Carmen se realizó mapeo en superficie y se muestrearon zanjas, estimando recursos hipotéticos, inferidos e indicados, con un total de 19.805.549 toneladas de mineral con 8.203 toneladas de REE y 1.811 toneladas de uranio contenidos. Los recursos exclusivamente indicados en este prospecto son de 3.877.799 toneladas de mineral con 2.944 toneladas de elementos de tierras raras contenidos (leyes de 760 ppm aproximadamente), además de 595 toneladas de uranio.

Geológicamente, el depósito de Cerro Carmen corresponde a un depósito tipo skarn en rocas intrusivas y volcánicas cretácicas. Los principales minerales con elementos de tierras raras son óxidos de REE, de hierro, de uranio y de torio además de ilmenita¹³, davidita¹⁴ y esfeno¹⁵. Destacan particularmente sus altas concentraciones de tierras raras pesadas con 140 ppm de itrio, 20 ppm de disprosio, 5 ppm de holmio, 21 ppm de erbio, 36 ppm de iterbio.

En relación a las pruebas metalúrgicas fue posible producir un concentrado con 91,3% de óxidos de REE, además de un concentrado con un 59,43% de óxido de itrio y un 90,56% de la totalidad de los REOs (CCHEN).

Actualmente la CCHEN, en conjunto con ENAMI, busca dar continuidad y avanzar en la estimación de recursos de los prospectos y, además, buscan conformar un equipo de profesionales para desarrollar las tecnologías necesarias para obtener concentrados de óxidos de REE.

Contenido promedio de tierras raras y de cobre en relaves de la minería del cobre.



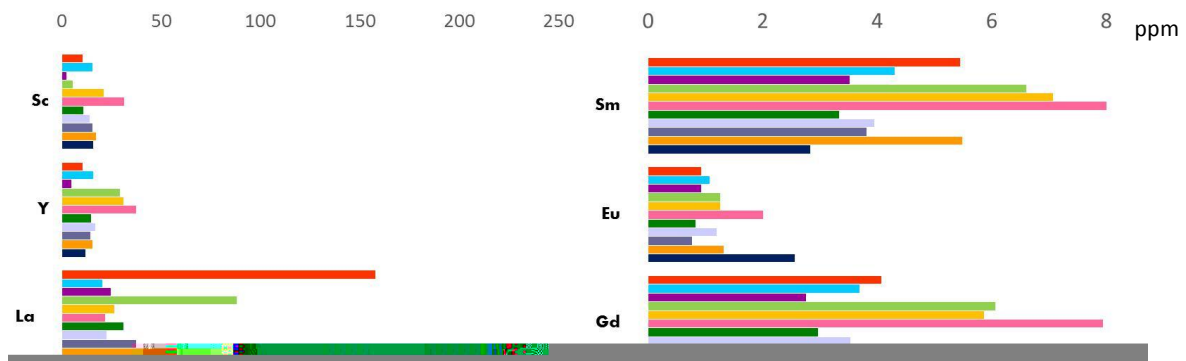
Fuente: Estudio CAMCHAL- AHK Business center S.A. (2015).

Analizando los elementos de tierras raras uno por uno (Figura 28), se observa que el tranque Carola tiene un alto contenido de tierras raras livianas, con 158 ppm de lantano en promedio y 260,52 ppm de cerio, pero es, comparativamente, pobre en tierras raras intermedias y pesadas. El relave de la Planta las Luces por su parte, presenta los valores más altos de tierras raras intermedias y pesadas, con valores promedio de 8,01 ppm de samario, 2,01 ppm de europio, 7,94 ppm de gadolinio, 1,31 ppm de terbio, 7,89 ppm de disprosio, 1,71 ppm de holmio, 4,65 ppm de erbio, 0,68 de tulio, 4,65 ppm de iterbio y 0,66 ppm de lutecio, además de 31,58 ppm de escandio y 37,75 ppm de itrio.

En tanto, los relaves de la Planta Delta y del tranque El Salado, tienen valores relativamente altos de todos los elementos de tierras raras.



Contenido de cada elemento de tierra rara en relaves de la minería del cobre en partes por millón.



Fuente: Estudio CAMCHAL- AHK Business center S.A. (2015).



Precios óxidos de tierras raras

Precios de óxidos de tierras raras en 2006, 2011 y 2016.

Precios de las principales tierras raras	31-12-2006	31-07-2011	31-03-2016
Óxido de cerio, min 99%, FOB, China, US\$/kg	1,7	140,5	1,6
Óxido de disprosio, min 99%, FOB, China, US\$/kg	107	3.092,5	275
Óxido de europio, min 99%, FOB, China, US\$/kg	550	6.290	260
Óxido de lantano, min 99%, FOB, China, US\$/kg	2,3	140,05	1,7
Óxido de neodimio, min 99%, FOB, China, \$/kg	23,75	369,75	39,5
Óxido de praseodimio, min 99%, FOB, China, US\$/kg	38,05	250,25	47,5
Óxido de samario, min 99%, FOB, China, \$/kg	2,4	136	1,9
Óxido de terbio, min 99%, FOB, China, US\$/kg	670	4.945	500
Óxido de escandio, min 99,5%, China, ¥/kg	n/d	29.500	9.750
Óxido de gadolinio, min 99%, China, ¥/kg	n/d	695,5	69,5
Óxido de holmio, min 99,5%, China, ¥/kg	n/d	3.745	250,5
Óxido de erbio, min 99%, FOB, China, US\$/kg	n/d	295	27,5
Óxido de itrio, min 99%, FOB, China, US\$/kg	26	216	36,5
Óxido de iterbio, US\$/kg	n/d	n/d	142,5
Óxido de lutecio, 99,9%, China, ¥/kg		5.900	4.550

***Nota:** FOB: Free on board.