



PROCESO DE REFINADO DE ALÚMINA DE LA BAUXITA

Ms. Ing. Miriam C. Marín

ALÚMINA

- ◆ La alúmina es un material cerámico muy versátil (de color blanco tiza de consistencia similar a la arena fina), sus propiedades la hacen especialmente apta para aplicaciones en donde la temperatura es un factor crítico.
- ◆ Su dureza ha permitido darle forma a la industria del abrasivo.
- ◆ La bauxita es el mineral más utilizado en la fabricación de alúmina.
- ◆ Este compuesto, de fórmula Al_2O_3 , se emplea para usos muy diversos: producción de corindón (Aluminio), fabricación de piedras semipreciosas (rubí, zafiro...), fabricación de materiales cerámicos resistentes a elevadas temperaturas, desecantes, abrasivos, entre otros...



ALUMINIO

◆ El aluminio es un elemento químico metálico.

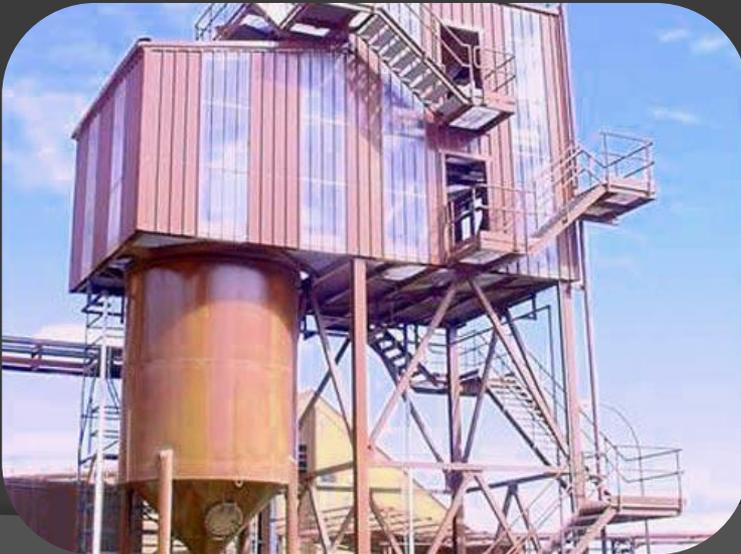
13	26,9815
2450	3
660	Al
2,70	
[Ne]3s ² 3p ¹	
Aluminio	

◆ Se encuentra en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de alúmino silicato.



EXTRACCIÓN DEL ALUMINIO

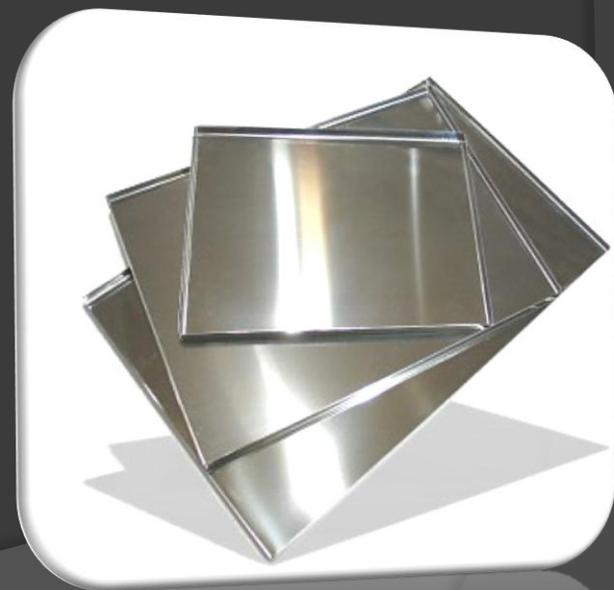
- ◆ El aluminio se puede extraer de la Bauxita, por los siguientes procesos:
 1. Mediante el proceso Bayer se transforma la Bauxita en Alúmina, y a continuación
 2. Mediante electrólisis se transforma la Alúmina en Aluminio .



Características Principales

El aluminio es estable al aire y resistente a la corrosión por el agua de mar, a muchas soluciones acuosas y otros agentes químicos.

Propiedades del Aluminio	
Símbolo	Al
Número atómico	13
Valencia	3
Densidad (g/ml)	2,70
Punto de ebullición (°C)	2450
Punto de fusión (°C)	660
Apariencia	Plateado



Usos del Aluminio

◆ **Transporte**: Por su ligereza, el aluminio es cada vez mas utilizado en coches, autobuses, trenes, bicicletas. Existen autos fabricados enteramente de aluminio como el Audi A-8.



Usos del Aluminio

- ◆ Envase y Embalaje: El aluminio es ligero e impermeable, con excelentes propiedades que protegen a los productos de la luz, humedad, el oxígeno y los microorganismos que pueden alterar la conservación, ya que no es toxico ni tiene sabor.



Usos del Aluminio

◀ Otros Usos:

El bajo peso del aluminio y su conductibilidad hacen que sea material de preferencia para la *industria de la electricidad*, y debido a su ligereza se utilizan menos postes para sostener los cables.

El uso de Al en el *cableado subterráneo* ha aumentado, al igual que en los *transformadores, cajas de fusibles, televisiones*, entre otros...

LA ALÚMINA Y EL PROCESO DE BAYER



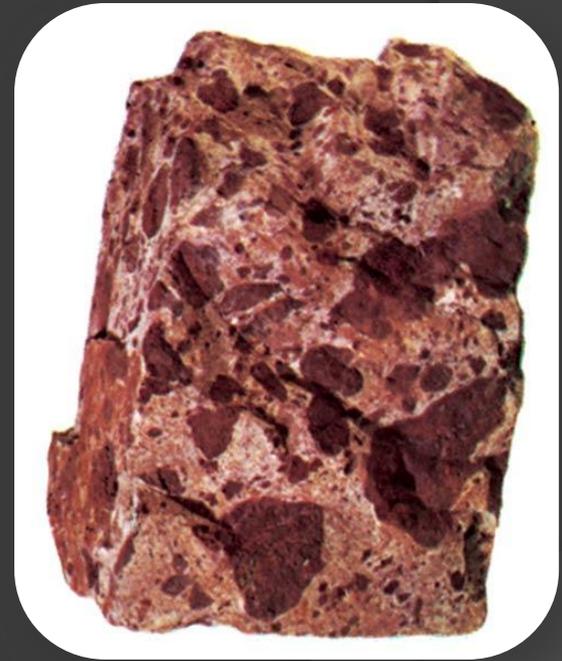
BAUXITA

☀ La bauxita es una roca sedimentaria de origen químico compuesta mayoritariamente por alúmina (Al_2O_3) y, en menor medida, óxido de hierro y sílice.

☀ Es de color rojizo.

☀ Es la principal fuente de aluminio utilizada por la industria.

☀ Es un residuo producido por la meteorización de las rocas ígneas en condiciones geomorfológicas y climáticas favorables.



La bauxita es un mineral descubierto en Baux (Francia), de origen secundario, formado por los restos de descomposición de distintos aluminosilicatos que constituyen la inmensa mayoría de rocas de la corteza terrestre, cuyos sedimentos conforman una especie particular de arcilla integrada por mezcla de diversos óxidos.

Extracción Bauxita

Método de obtención.

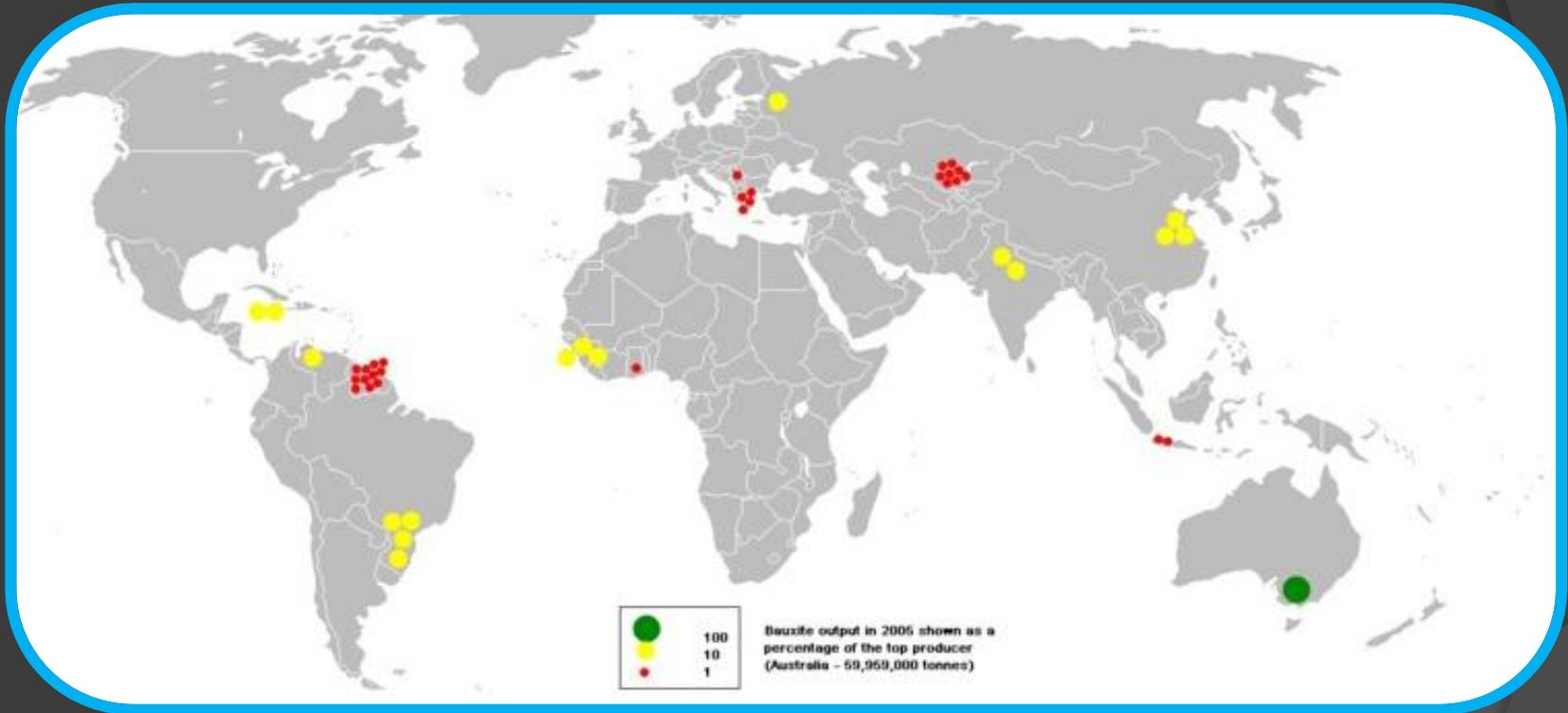
Se realiza con la explotación del yacimiento a cielo abierto, sin voladuras. El mineral se obtiene directamente de los diferentes bloques del yacimiento con el fin de obtener la calidad requerida del mineral, con palas que arrancan y cargan la bauxita en camiones que la transportan hasta la estación de trituración y molienda.

Trituración y molienda por vía húmeda

En el sistema de trituración se reducirá la bauxita a un tamaño de grano inferior a los 700 micrones, que es el tamaño de partículas apropiado para extracción de alúmina.

En los trituradores la bauxita se transforma en una pasta que fluye hacia los molinos por gravedad.

PRINCIPALES MINAS DE BAUXITA



Actualmente las principales minas de bauxita están ubicadas en el Caribe, Australia, Brasil y África.

OBTENCIÓN DEL ALUMINIO

☀ Es uno de los metales que se obtiene industrialmente en mayor escala.

☀ La metalurgia extractiva del aluminio consta de dos etapas:

- 1.- Transformación de la bauxita en alúmina lo mas pura posible.
- 2.- Electrolisis de esta alúmina disuelta en criolita fundida.



Para realizar la primera etapa, el procedimiento más corriente que se emplea es un método químico conocido como proceso de Bayer.

PROCESO DE BAYER

- ✿ El proceso Bayer es el principal método industrial para producir alúmina a partir de bauxita.
- ✿ Inventado por el austriaco Karl Bayer en 1889 y basado en la disolución de la bauxita con hidróxido sódico (SOSA CÁUSTICA).
- ✿ Las primeras plantas industriales de producción de alúmina basadas en el proceso Bayer se instalaron en Francia y en Irlanda en la década de 1890.
- ✿ Karl era hijo de Friedrich Bayer, fundador de la empresa química y farmacéutica Bayer.

DETALLES DEL PROCESO BAYER

☀ El proceso Bayer consiste en la solubilización de los óxidos de aluminio tratando la bauxita pulverizada con sosa cáustica (hidróxido sódico) a alta temperatura y bajo presión .

☀ La disolución , debidamente liberada de sólidos por desarenado, sedimentación y filtración , al enfriar precipita hidróxido de aluminio que se separa, deshidrata y calcina para producir alúmina calcinada.

☀ Si se eleva la temperatura por encima de 2.500 grados se produce corindón, y si se dopa con óxidos metálicos específicos se produce toda una gama de piedras semipreciosas (rubí, zafiros,...).

PROCESO BAYER RESUMIDO

- ☀ Se tritura la bauxita y luego se lava con una solución caliente de hidróxido sódico (sosa cáustica), NaOH .
- ☀ La sosa disuelve los minerales de aluminio pero no los otros componentes de la bauxita, que permanecen sólidos.
- ☀ Para luego pasar el licor por un precipitado y lavado.
- ☀ La Disolución y Separación de residuos (después De la Lixiviación y el Precipitado).
- ☀ El proceso final: la Calcinación.



PROCESO BAYER

Aunque las condiciones del proceso son influenciadas por el tipo de bauxita usada, hay 5 etapas principales en todas las plantas.

Las etapas de dicho proceso son:

1º - Preparación de la bauxita

- ✿ El primer paso en la planta de alúmina es la reducción del tamaño de partícula de la bauxita, para incrementar la superficie de reacción y facilitar su manejo, se realiza a través de triturador de placa y molino de bola, ambos de vía húmeda.
- ✿ Para obtener una suspensión de sólidos con un 80% en peso de partículas con diámetro inferior a 300 micras.
- ✿ En el triturador de placas se mezclan con cal para disminuir la concentración de fosfatos en la materia prima y se adiciona licor cáustico a la entrada del molino.
- ✿ Se obtiene bauxita en suspensión.

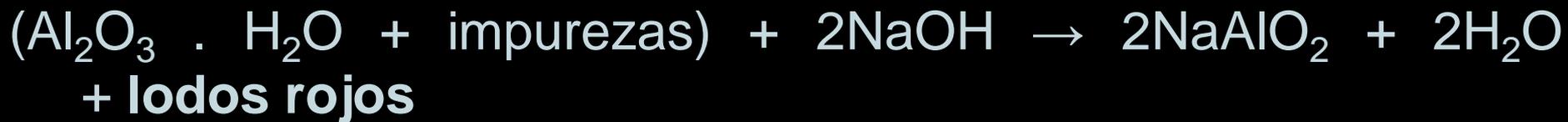


Foto N° 1: Molino de CVG Bauxilum, CxA

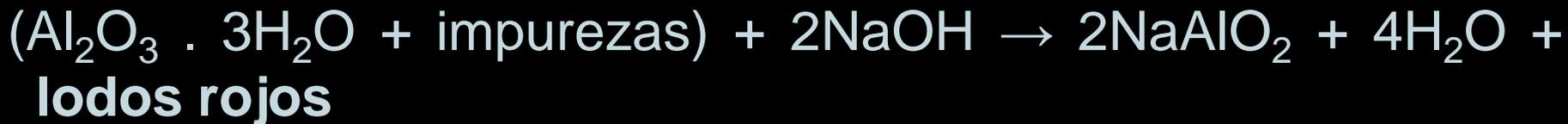
2º - Digestión o Lixiviación

Disolución de la alúmina de manera selectiva con NaOH (para no disolver el hierro). La carga se trata en autoclaves de acero durante un periodo que oscila entre 2-8 horas a una temperatura media de 140 -150 °C y a presiones absoluta de 5 bares:

- ✱ Para el monohidrato (Proceso Bayer Europeo):



- ✱ Para el trihidrato (Proceso Bayer Americano):



- ✱ De forma general:





Foto N° 2: Digestores CVG Bauxilum, CxA

3° - Dilución y separación de residuos.

- ✿ Al final de la digestión, la suspensión que abandona el último digester conteniendo la solución de aluminato, arenas y lodos rojos (partículas finas), está a una temperatura por encima de su punto de ebullición a presión atmosférica, de manera que es pasada a través de un sistema de enfriamiento por expansión en el cual ocurre una despresurización en forma escalonada hasta la presión atmosférica y una disminución de la temperatura hasta aproximadamente 105-100 °C.

LA DILUCIÓN Y SEPARACIÓN DE RESIDUOS SE COMPONE DE 3 ETAPAS

a) **Desarenado**. Donde la pulpa se somete a la separación de los lodos y arenas que contiene. Las arenas separadas en la operación anterior son pasadas a través de clasificadores y posteriormente lavadas. En cuanto a los lodos son enviados a tanques almacenadores para la alimentación de los espesadores. Es en estos tanques, donde se adiciona el agente floculante que va a facilitar el proceso de sedimentación en los espesadores.





Foto N° 3: Desarenador de la Planta CVG Bauxilum CxA

SEGUNDA ETAPA

b) Sedimentación, lavado y deshecho de lodos rojos.

La sedimentación se lleva a cabo en tanques espesadores, y el lodo rojo depositado en el fondo de éstos, es removido continuamente por un sistema de rastrilleo. Este lodo rojo saliente por la parte inferior de los espesadores, es lavado con el fin de recuperar la solución caústica (alcalina) y el licor que contiene alúmina disuelta, produciéndose simultáneamente un lodo que ha de ser desechado, mientras que el agua de lavado es enviada al área disolución.



Foto N° 4: Lavadores y Espesadores CVG Bauxilum, CxA

TERCERA ETAPA

c) **Filtración de seguridad.** Las partículas finas en suspensión deben ser separadas, de lo contrario contaminarían el producto, y ello es logrado mediante una filtración de seguridad. El proceso se realiza por medio de filtros a presión. Una vez que la solución pase a través de esta filtración, es enviada a una sección de enfriamiento por expansión instantánea, donde se le confiere al licor la temperatura requerida para la precipitación 50 °C ó 70 °C, según el tipo de proceso Bayer Europeo o Americano respectivamente.

Al salir del filtro el licor debe pasar por un sistema de Enfriamiento por Expansión Instantánea.

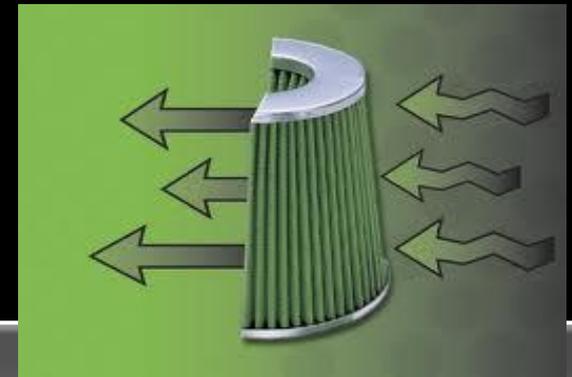




Foto N° 5: Filtro de Seguridad Kelly de CVG Bauxilum, CxA

3º – Precipitación

- ✿ La solución de aluminato sódico es conducida a grandes tanques de precipitación, donde se añade como cebo trihidrato de aluminio que procede de operaciones anteriores y se deja enfriar lentamente.
- ✿ Para la precipitación de la alúmina $\text{Al}(\text{OH})_3$, la disolución fértil se pasa primero a alta temperatura y se concentra a valores más bajos ($65\text{ }^\circ\text{C}$ – $40\text{ }^\circ\text{C}$ y 100 - 150 g/l de Na_2O).
- ✿ Luego se clasifican en Ciclones por tamaño los cristales para obtener un corte grueso que se conoce como producto y dos cortes más finos que determinan las semillas fina e intermedia, las cuales se reciclan a la fase de precipitación.



Foto N° 6: Tanques de Precipitado CVG Bauxilum, CxA



Foto N° 7: Ciclones de Clasificación de Hidratos Precipitados CVG Bauxilum, CxA

5º – Calcinación

- ✿ El Hidrato Grueso Lavado y Filtrado se somete a secado y calcinación. El secado se consigue aprovechando los gases calientes del calcinador y, una vez seco el mismo, se pone en contacto a alta temperatura ($>1000^{\circ}\text{C}$) en un horno. De esta forma se obtiene el producto final, la alúmina no higroscópica (Al_2O_3).
- ✿ La reacción es la siguiente:





Foto N° 8: Calcinador CVG Bauxitum, CxA

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

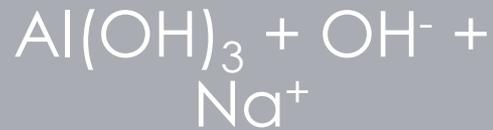
Bauxita

Acondicionamiento: Extracción y Trituración

NaOH

Digestión o Lixiviación

Precipitación



Lavado:
Recuperación de
Solución Alcalina y
Retirada Lodos
Rojos

Alúmina

Calcinación

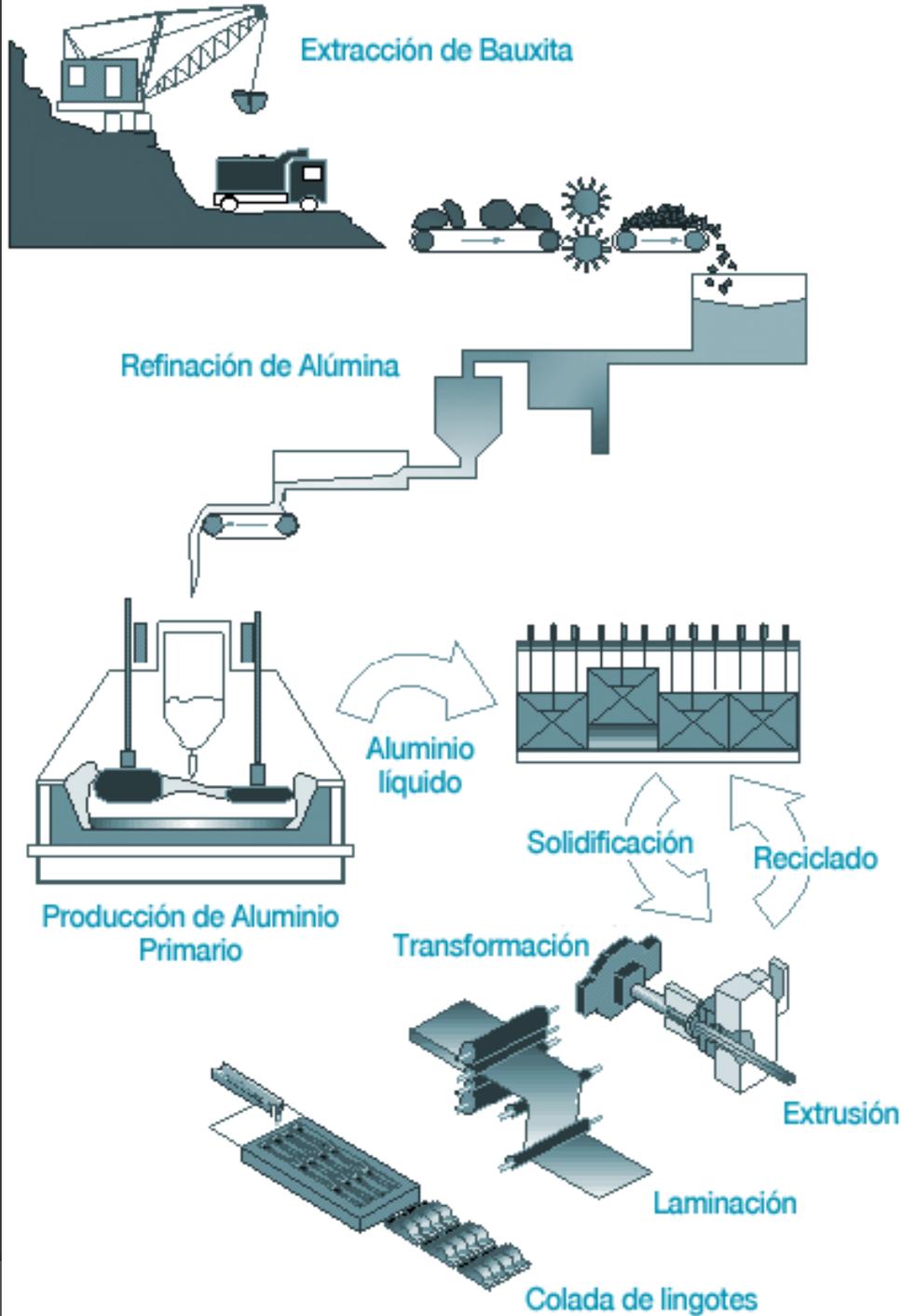


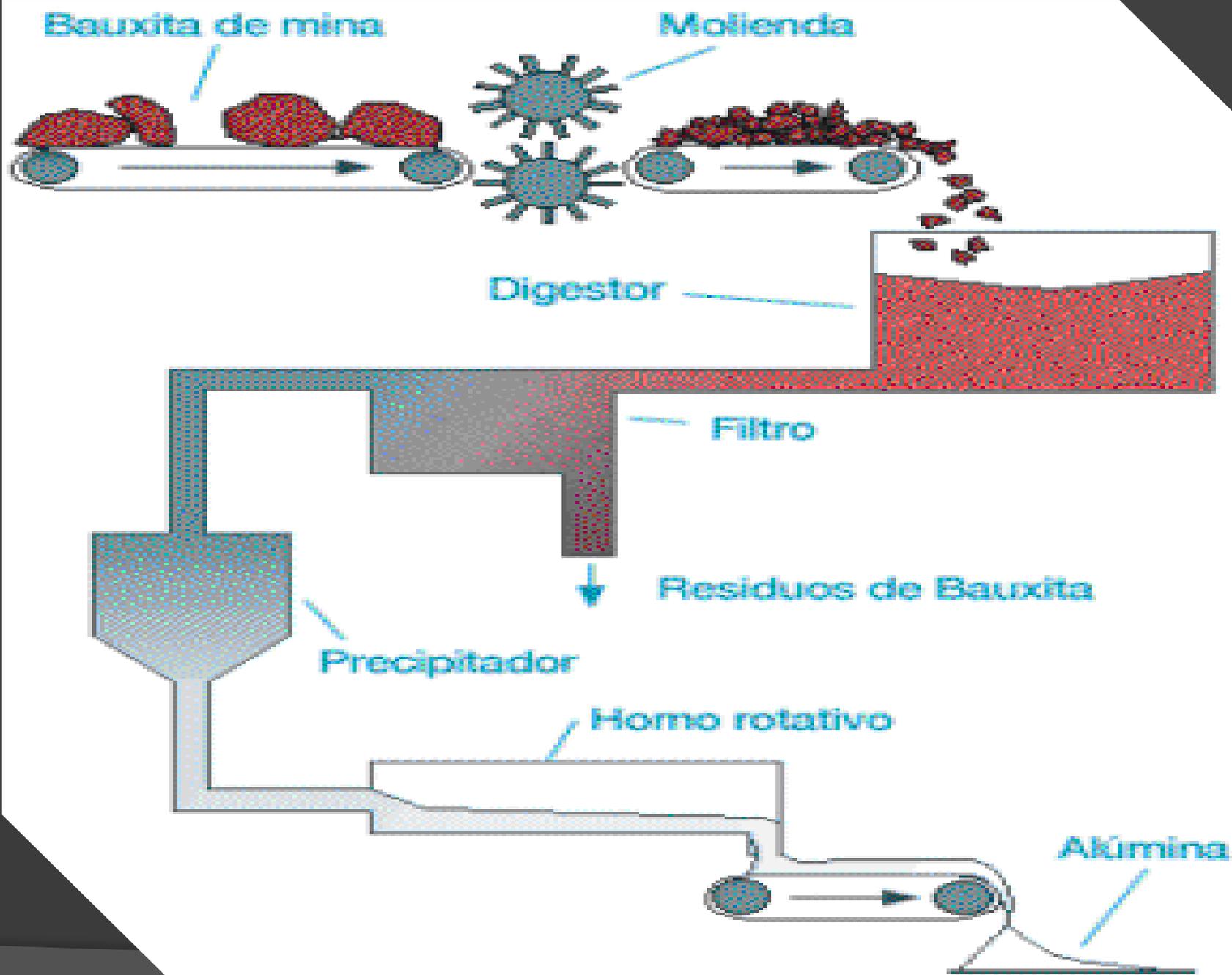
USO FINAL PREVISTO

- ☀ La alúmina obtenida se utilizará principalmente para producir aluminio mediante electrólisis procesada en tinajas electrolíticas llamadas celdas reductoras. Estas tinajas funcionan con un baño de ciolita (fluoruro de aluminio sódico), el ánodo es un electrodo de carbón y el cátodo es la misma tina. En estas tinajas se obtiene el aluminio metálico.
- ☀ El aluminio obtenido de las celdas reductoras es moldeado y procesado en hornos de concentración para la obtención de aluminio de alta calidad. Estos mismos hornos se pueden utilizar para el reciclado del Aluminio

- ✿ EXTRACCIÓN DE BAUXITA
- ✿ REFINADO DE ALÚMINA
- ✿ PRODUCCIÓN DE ALUMINIO

Planta General del Proceso







Residuos Generados

Procesos Extracción de Alúmina de la Bauxita

Problemática Medioambiental en Cada Etapa del Proceso

ETAPA	PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL	AFECCIÓN
ACONDICIONAMIENTO DE LA BAUXITA	C. ATMOSFÉRICA	Polvo
	C.RESIDUOS	Contiene Si,Fe, Ti,Ca y óxidos
	C. RUIDO	Molesta
LIXIVIACIÓN	C.HÍDRICA	Sólidos en suspensión
	C.RESIDUOS	"Lodo rojo" (óxidos metálicos y silicato aluminoso)
PRECIPITACIÓN Y LAVADO	C.HÍDRICA	Aguas residuales básicas
	C.RESIDUOS	Lodos con compuestos metálicos
CALCINACIÓN	C. ATMOSFÉRICA	Gases de combustión,vapor de agua y partículas
	C.RESIDUOS	Escorias y filtros usados
ELECTRÓLISIS	C. ATMOSFÉRICA	Gases con fluoruros,COx,NOx,HAP, ect.
	C.HÍDRICA	Aguas ácidas
	C.RESIDUOS	Ánodos de carbono,filtros y refractarios gastados
AFINO	C. ATMOSFÉRICA	Polvo y gases (cloruros)
	C.HÍDRICA	Aguas con Fe, Si,alúmina y carbones

Problemática Medioambiental en Cada Etapa del Proceso

Etapa: Lixiviación

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Bauxita triturada	46-60% de Al_2O_3	El resto son impurezas metálicas
Materias secundarias	Sosa	33-160 Kg/T de alúmina	-
	Agua	1.000-6.000 Kg/T de alúmina (1)	
Energía	E.Eléctrica	Baja	Para obtener la temperatura de trabajo

(1) Total del proceso

EFFECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIÓN
Residuos	Lodo rojo	RP	N.D	Gestor autorizado	Producto insoluble de la digestión alcalina compuesto por óxidos metálicos, silicato aluminoso y sosa (3-2 Kg NaOH/T de alúmina)
C.Hídrica	Aguas residuales	Sólidos en suspensión		Depuración	-

Problemática Medioambiental en Cada Etapa del Proceso

Etapa: Precipitación y lavado

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Solución de aluminato sódico	N.D.	-
Materias secundarias	Agua	1.000-6.000 Kg/T de alúmina (1)	-
	Cal	N.D.	
Energía	E.Eléctrica	21% del total de proceso	Referido a proceso Bayer

(1) Total del proceso

EFEECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIÓN
Residuos	Lodos	RP	N.D	Gestor autorizado	Con componentes metálicos
C.Hídrica	Aguas residuales	Carácter básico	N.D	Depuración	-

Problemática Medioambiental en Cada Etapa del Proceso

Etapa: Calcinación

CONSUMOS	CARACTERIZACIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Materias primas	Compuesto rico en alúmina	N.D	El consumo depende del tipo de producto, pureza de la caliza y grado de calcinación
Energía	Combustibles fósiles	N.D	Se alcanzan temperaturas > 1.000 °C

EFFECTO M.A	ASPECTO M.A	CARACT.	CANTIDAD	TRATAMIENTO ACTUAL	OBSERVACIÓN
Residuos	Escorias y filtros usados	No peligroso	N.D	Control operacional para minimización de escorias	-
C.Atmosférica	Vapor de agua	-	N.D	Filtro de mangas	-
	SO ₂			Cambio de combustible y filtro de mangas	La producción depende del combustible utilizado
	CO			Filtro de mangas	-
	Partículas			Ciclones y filtro de manga	Ciclones poco eficaces para partículas pequeñas
C.Térmica	Gases calientes	-	T ^a >1.000 °C	-	Efecto irrelevante

- ☀ Es en las plantas de fabricación de alúmina, siguiendo el proceso generalizado Bayer, donde se producen los denominados lodos rojos.
- ☀ En las plantas de fabricación de aluminio o las de extrusión o fundición del mismo para toda la gama enorme de aplicaciones no se genera este tipo de residuo.



CÓMO SE FORMAN LOS LODOS ROJOS

- ◆ El barro rojo vertido tiene su origen en el ataque del mineral bauxita con sosa para producir alúmina. La parte de bauxita que no tiene aluminio, no es soluble en la sosa y se separa como barro rojo. Este barro, por su alto contenido de óxido de hierro mancha todo lo que toca. Además puede tener algo de sosa residual y metales pesados.
- ◆ **La sosa le da un pH cercano a 13**, y causa de forma inmediata irritación en los ojos y quemaduras en la piel.
- ◆ Su poder corrosivo es tal que si no se limpia bien, continúa penetrando desde la superficie de la piel hacia el interior del organismo, provocando quemaduras de grado máximo

CÓMO SE FORMAN LOS LODOS ROJOS

- ◆ Los lodos no disueltos por la sosa cáustica, que debido al contenido en óxido de hierro toman el color rojo, están constituidos, mayoritariamente, por una mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro, óxidos de titanio, cuarzo, con cantidades menores de arcillas, y otros minerales, dependiendo del yacimiento del que se ha extraído la bauxita.
- ◆ Contienen del orden de un 30% a un 50% de agua de constitución e impregnación y, si no han sido suficientemente lavados, cantidades apreciables de sosa cáustica disuelta en el agua de impregnación

☀ Los efectos sociales y ambientales de los lodos rojos, si no se contempla un plan de Gestión Ambiental y de Prevención de Riesgos Laborales desde el inicio del proyecto, pueden llegar a ser graves para la salud, el acceso al agua limpia y afección a los medios de subsistencia, así como pérdida de hábitat por la contaminación de los suelos.

LOS DAÑOS MÁS COMUNES CAUSADOS POR LOS LODOS ROJOS A LA SALUD Y AL MEDIOAMBIENTE SON:

- ☀ La sosa cáustica produce quemaduras de mayor o menor gravedad en función de la concentración el tiempo de exposición y la superficie de contacto.
- ☀ Irritación ocular.
- ☀ Si hay gotas en el aire por efecto del viento, se irritarían las vías respiratorias dependiendo de la concentración, los metales transportados y la temperatura.
- ☀ Los efectos de la soda cáustica son 100 veces superiores a la lejía (cloro).
- ☀ Puede afectar el aire, los recursos hídricos y los suelos, y por consiguiente la flora y la fauna.
- ☀ La combinación de un pH alto en el agua del suelo con la presencia de metales, produce daños en las raíces de los árboles. Esto da lugar a una pérdida de vitalidad, haciéndolos más sensibles a las plagas.

Medidas de Mitigación y Control:

FASE DE DISEÑO

- ☀ Diseño de la planta de Refinado de Alúmina mediante las Mejores Técnicas Disponibles para disminuir los problemas generados por los residuos.
- ☀ Creación de una línea base ambiental.
- ☀ Evaluación ambiental de los procesos que se efectúan para la producción de alúmina y el impacto de los mismos sobre el medio natural (aire, suelo, agua, ..), con especial énfasis sobre los impactos en la salud de la comunidad afectada y otras áreas aguas abajo, al igual que los impactos sobre la economía de estas comunidades (exigencia legal).
- ☀ Estudio riguroso de la mecánica del suelo y estructural del muro de contención para la presa de relave.

Medidas de Mitigación y Control:

FASE DE OPERACIÓN

- ☀ El Lavado en contracorriente de dichos lodos permite una muy completa recuperación de la sosa que puede bajar el pH (alcalinidad) hasta 9, valor que se aproxima al de los suelos calizos ya cultivables (Tecnología avanzada).
- ☀ Monitoreo de la producción de lodos rojos, y determinación exacta de la composición.
- ☀ Monitoreo de las aguas subterráneas (control de infiltraciones) y las aguas superficiales (control de derrames por escorrentía).
- ☀ Proyecto para el reciclaje efectivo del aluminio, que facilite la recolección, disposición y transporte del material de aluminio a las plantas de procesamiento para así disminuir al máximo la explotación de bauxita

Medidas de Mitigación y Control:

FASE DE CIERRE

Es recomendable que los procesos de reciclado de lodos rojos se inicien en la fase de operación.

- ✿ **Obtención industrial de materiales cerámicos:** *Obtención de ladrillos densos a partir de Barros Rojos, los cuales presentan valores superiores y mejores comportamientos frente a la resistencia al choque térmico, resistencia a flexión y compresión que los ladrillos comerciales.*
- ✿ Utilización de los Lodos Rojos en agricultura, como agente acondicionador de suelos.
- ✿ Utilización de los Lodos Rojos en la industria, como aditivo en las empresas de productos cerámicos y plásticos; producción de pigmentos y ladrillos sinterizados químicamente para la industria de la construcción; áridos para la construcción de carreteras; baldosas acústicas.

Reciclaje del Aluminio:

- ☀ Para la producción de cada kilogramo de aluminio se requiere 2 kg de alúmina. Para producir 2 Kg. de alúmina se necesitan 4 kg de bauxita.
- ☀ **Ventajas del Reciclaje.** El aluminio puede ser procesado una y otra vez sin que se pierda su calidad, ahorrando energía y materiales en bruto.
- ☀ Reciclando un kilogramo de aluminio se pueden ahorrar 8 kilogramos de bauxita, 4 kilogramos de productos químicos y 14 Kw/h de electricidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gil. M. F; “Aleaciones ligeras”. Universidad de Cataluña. 2001. Madrid: España.
2. Materiales y Procesos de Manufactura. Autor: John Neely, Editorial Limusa.
3. Sídney, “Introducción a la metalurgia física”; 2ª edición, 1992
4. Obtención industrial de materiales cerámicos a partir de lodos rojos del proceso Bayer, G. A. PÉREZ RODRÍGUEZ*, F. GUITIÁN RIVERA*, S. DE AZA PENDAS, Instituto de Cerámica de Galicia (ICG), Santiago de Compostela (A Coruña) y el Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV), Arganda del Rey (MADRID)
5. Extracción y Refinamiento del Aluminio, Cecilia Tenorio Marcos y Jocelyn Ramírez Alvirde.
6. Proceso Bayer, Diego Fernández Santos.
7. <http://enciclopedia.us.es/index.php/Aluminio>
8. <http://www.docstoc.com/docs/21986948/Metalurgia-del-aluminio>
9. <http://sifunpro.tripod.com/metal.htm>.
10. <http://es.wikipedia.org/>
11. <http://www.aluar.com.ar>
12. <http://www.monografias.com>