

24



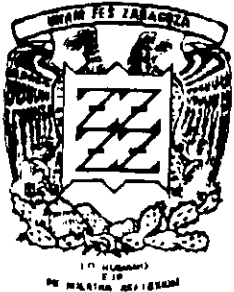
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

"ANALISIS Y SELECCION DE UN TRATAMIENTO QUIMICO PARA LA ESTABILIZACION DE RESIDUOS PELIGROSOS QUE CONTIENEN METALES PESADOS EN MEXICO."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO QUIMICO PRESENTA: MARCO ANTONIO MOSSO GONZALEZ



MEXICO, D.F.

28134

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/237

ALUMNO: MARCO ANTONIO MOSSO GONZALEZ
Presente.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<i>Presidente:</i>	<i>I.Q. Alejandro Rogel Ramírez</i>
<i>Vocal:</i>	<i>I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo</i>
<i>Secretario:</i>	<i>I.Q. Gonzalo Rafael Coello García</i>
<i>Suplente:</i>	<i>I.Q. Angel Gómez González</i>
<i>Suplente:</i>	<i>I.Q. Gabriel Cruz Zepeda</i>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., 25 de Octubre, de 1999.

ING. ARTURO E. MENDEZ GUTIERREZ
JEFE DE LA CARRERA

AGRADECIMIENTOS

A mi madre

Sra. Heliadora González García, que vive siempre en mi corazón y se que celebra este logro conmigo. gracias por todo el apoyo que me diste y nunca te olvidare.

A mi padre

Sr. Daulay Mosso Camacho por todo el cariño, apoyo y comprensión que me dio en todo momento para lograr esta meta. gracias por creer en mi..

A mis hermanos

Diana Patricia, Cesar y Jaime por su estímulo y apoyo en los momentos de felicidad que hemos compartido. que este trabajo sea considerado como un humilde homenaje a nuestros padres gracias

A mis amigos

que han estado en las buenas y en las malas, y gracias por brindarme su amistad y su confianza durante este tiempo; así como a todas aquellas personas que de alguna manera influyeron.

Agradecemos profundamente a la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por la preparación que da, tanto a nosotros como a mucha gente.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por haber sido el lugar donde realizamos los estudios de licenciatura que constituyen una meta en nuestra vida.

A mi asesor **el Ingeniero Gonzalo Rafael Coello García**, que me brindo su amistad y apoyo durante el desarrollo de la presente tesis.

Al profesor de Laboratorio de Ciencia Básica , **el Biólogo Roberto King** por su apoyo incondicional que me brindo.

CONTENIDO

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
OBJETIVOS	2
INTRODUCCION.....	4

CAPÍTULO 1

1 Evaluación de la situación en el mundo.....	8
1.1. Contexto internacional.....	8
1.1.1. América latina y el caribe.....	12
Desglose de residuos peligrosos en la región.....	12
1.1.2. Situación actual de los residuos peligrosos en México.....	13
1.1.2.1. Fuentes generales de residuos peligrosos.....	13
1.1.2.2. Sectores de la industria nacional.....	14
1.1.2.3. Volumen estimado de generación de residuos peligrosos.....	15
1.1.2.4. Residuos peligrosos que se generan con mayor frecuencia.....	16
1.1.3. Casos de manejo inadecuado de residuos peligrosos en México.....	17
1.1.4. Gestión de los residuos peligrosos.....	18
1.1.5. Legislación ambiental.....	19
1.1.5.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).....	19
1.1.5.2. Reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos.....	19
1.1.5.3. Normas Oficiales Mexicanas.....	20
1.1.6. Etapas de reducción de residuos peligrosos.....	21
1.1.7. Tecnologías para el tratamiento de residuos peligrosos.....	22

CAPÍTULO 2

2. Industria siderúrgica y metalúrgica no ferrosa.....	26
2.1. Caracterización de la industria siderúrgica.....	26
2.1.1. Consideraciones generales.....	26
2.1.2. Producción de hierro.....	26
2.1.3. Producción de acero.....	26
2.1.4. Producción de ferroaleaciones.....	27
2.1.5. Producción de hierro gris.....	27
2.1.6. Fabricación de productos de acero.....	27
2.1.7. Residuos peligrosos generados.....	29
2.1.8. Caracterización de la industria metalúrgica no ferrosa.....	30
2.1.8.1. Producción de aluminio.....	30
2.1.8.2. Producción de cobre.....	33
2.1.8.3. Producción primaria de plomo.....	34
2.1.8.4. Producción de zinc.....	37
2.1.9. Generación de residuos por la industria metalúrgica no ferrosa.....	40

2.1.10. Breve descripción de los principales procesos y los tipos de residuos generados	40
2.1.11. Fundidoras de hierro, acero y hierro dúctil.....	40
2.1.12. Especificaciones, condiciones, procedimientos y requisitos para el manejo de los residuos peligrosos de la industria siderúrgica.....	43
2.1.13. Fundidoras de metales no ferrosos.....	47
2.1.14. Especificaciones, condiciones, procedimientos y requisitos para el manejo de los residuos peligrosos de la industria metalúrgica no ferrosa.....	49

CAPÍTULO 3

3. Tratamientos químicos para los residuos peligrosos que contienen metales pesados.....	55
3.1. Precipitación química.....	55
3.1.1. Aplicación a los residuos peligrosos.....	55
3.1.2. Equipo.....	56
3.1.3. Descripción del proceso.....	56
3.1.4. Precipitación de hidróxidos.....	58
3.1.5. Precipitación de sulfuros.....	59
3.1.6. Precipitación de carbonatos.....	60
3.1.7. Cementación.....	60
3.1.8. Otros procesos de precipitación.....	60
3.1.9. Consideraciones de diseño.....	61
3.1.10. Segregación del residuo y preparamiento.....	61
3.1.11. Pruebas de jarras.....	61
3.1.12. Cal vs sosa cáustica.....	62
3.1.13. Calor de reacción.....	63
3.1.14. Precipitación de complejos metálicos.....	63
3.1.15. Coagulación y floculación.....	64
3.2. Oxidación y reducción química.....	66
3.2.1. Principios de la oxidación-reducción.....	66
3.2.2. Oxidación.....	67
3.2.3. Reducción química.....	67
3.2.4. Procesos de oxidación – reducción.....	67
3.2.5. Reactivos oxidantes.....	68
3.2.6. Hipoclorito de sodio.....	68
3.2.7. Peróxido de hidrogeno.....	68
3.2.8. Hipoclorito de calcio.....	69
3.2.9. Permanganato de potasio.....	69
3.2.10. Ozono.....	70
3.2.11. Reactivos de reducción.....	70
3.2.12. Bióxido de azufre.....	71
3.2.13. Borohidruro de sodio.....	71
3.2.14. Potencial para el tratamiento de residuos.....	71
3.2.15. Consideraciones ambientales.....	72
3.3. Neutralización.....	72

3.1.1. Principios de operación.....	73
3.1.2. Equipo.....	74
3.1.3. Aplicaciones.....	75
3.4. Evaluación y selección de las tecnologías que emplean procesos químicos para el tratamiento de residuos peligrosos que contienen metales pesados.....	76
CONCLUSIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	82
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	85
APLICACIÓN DE UN PROCESO QUÍMICO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN EL PROCESO DE PROCCIÓN DE ALUMINIO.....	92
DIAGRAMAS.....	102

Figura 1. Esquema de flujo de una planta de alto horno para la producción del hierro.

Figura 2. Diagrama de generación de residuos de aluminio.

Figura 3. Diagrama de generación de residuos en la producción de cobre.

Figura 4. Diagrama de la obtención de plomo.

Figura 5. Diagrama general de procesos de la industria del plomo.

Figura 6. Diagrama de bloques para el proceso de precipitación química.

Figura 7. Diagrama de bloques para el proceso de oxidación.

Figura 8. Diagrama de bloques para el proceso de la reducción.

Figura 9. Proceso de neutralización en el tratamiento de soluciones diluidas y concentradas de ácidos y bases conteniendo metales pesados.

Figura 10. Proceso de neutralización y ajuste de pH en el tratamiento de residuos peligrosos conteniendo cianuros, metales pesados.

Figura 11. Proceso de neutralización para soluciones conteniendo ácido crómico.

Figura 12. Diagrama general de procesos de la industria del zinc.

RESUMEN

ESTE TRABAJO HACE UNA REVISIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS QUE CONTIENEN METALES PESADOS, CON ESPECIAL ÉNFASIS A LOS TRATAMIENTOS QUÍMICOS.

SE DESCRIBIERON DETALLADAMENTE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS QUÍMICOS, IDENTIFICANDO EQUIPOS, REACTIVOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN, Y SE MENCIONARON LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MISMOS.

SOBRESALEN POR SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS CON METALES PESADOS, LA PRECIPITACIÓN QUÍMICA, LA OXIDACIÓN, LA REDUCCIÓN Y LA NEUTRALIZACIÓN.

A MANERA DE EJEMPLO, SE SELECCIONO EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, CUYOS RESIDUOS PELIGROSOS CON METALES PESADOS SE ESTABILIZARON UTILIZANDO EL TRATAMIENTO DE PRECIPITACIÓN QUÍMICA.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

- 1- Identificar la problemática ambiental a nivel mundial de los residuos peligrosos.**
- 2- Describir los procesos industriales metalúrgicos no ferrosos y siderúrgicos que generan residuos peligrosos que contienen metales pesados.**
- 3- Describir los tratamientos químicos para la estabilización de residuos peligrosos que contengan metales pesados.**
- 4- Seleccionar un tratamiento químico para estabilizar residuos peligrosos que contienen metales pesados generados por la industria metalúrgica y siderúrgica en México.**

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El tema de los residuos industriales, su minimización y control, es algo crecientemente importante a la luz de las necesidades concurrentes de protección ambiental y competitividad. De hecho es un tema por excelencia de interfase entre política industrial y medio ambiente. Abordar la problemática de los residuos industriales peligrosos significa en el fondo examinar procesos, productos, tecnologías, insumos, diseño y administración de calidad en las empresas.

La industria utiliza materias primas para obtener productos finales mediante procesos que básicamente separan, transforman y purifican las anteriores. Durante los procesos industriales se presentan salidas intermedias en forma de residuos, que tienen características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables (CRETI), estos se consideran incluidos en la clasificación de residuos industriales peligrosos.

En etapas incipientes del proceso de industrialización, el volumen de generación de residuos peligrosos es relativamente pequeño, y permite que éste sea asimilado dentro de las capacidades de carga de suelos, cuerpos de agua y drenajes urbanos. Sin embargo, al avanzar el proceso, el volumen desborda las capacidades biofísicas e institucionales de asimilación y manejo, abarcando ciertos umbrales críticos y provocando costos socio-ambientales excesivos.

Por una parte, la sustentabilidad del crecimiento industrial demanda que se respeten las capacidades de carga de los sistemas atmosféricos, hidrológicos y de suelos para transformar y asimilar residuos.

No obstante en materia de residuos peligrosos se observa que la infraestructura y los sistemas de manejo en operación son sumamente precarios. Esto es importante porque, dada la desproporción que guarda el volumen creciente de residuos peligrosos con las capacidades existentes de manejo, vigilancia y control, con frecuencia se observa una disposición clandestina en tiraderos municipales, barrancas, derechos de vías en carreteras, drenajes municipales o cuerpos de agua. Se estima que esta última opción es la que predomina, considerando que cerca de 90% de los residuos peligrosos adoptan estados líquidos, acuosos o semilíquidos, o bien, se solubilizan y/o mezclan en las descargas de aguas residuales.

En paralelo, los objetivos de desarrollo de nuestro país implican necesariamente un sólido dinamismo del sector industrial que permita generar empleos modernos y absorber la mano de obra del sector rural, para contribuir a combatir con pobreza y a la desigualdad.

Enseguida se describen las principales operaciones unitarias que utiliza la industria para procesar sus insumos, como un enfoque que permite entender la lógica de generación de residuos de manera integrada a los procesos industriales. Para cada operación, como puede ser la absorción, centrifugación, neutralización, precipitación química, oxidación,

reducción, condensación, decapado, cristalización, etc. se determina sus mecanismos básicos y los residuos que generan, clasificándolos en aguas de proceso, arenas, tierras, polvos, breas, cabezas, colas, carbón activado, catalizadores gastados, disolventes, efluentes tratados, envases y empaques, escorias, líquidos residuales, lodos de proceso, lodos de tratamiento, materiales de relleno contaminados, sólidos residuales, soluciones gastadas, lubricantes gastados, residuos de proceso.

La etapa inicial del diagnóstico la integran los inventarios de generación de residuos. A partir de información estadística y aprovechando los Manifiestos de Generación y Manejo de Residuos Peligrosos, se configura su distribución por región, tipo de residuo y rama industrial.

El diagnóstico contiene un análisis de las condiciones institucionales que hacen que el manejo de los residuos peligrosos en México sea sumamente limitado. Entre ellas se enumeran: una opinión pública desinformada, normatividad incompleta, inspección y vigilancia insuficientes, altos costos en la concertación entre la industria y las tres instancias de gobierno (Federal, Estatal y Municipal), falta de incentivos para la reducción y el manejo adecuado de residuos industriales, incertidumbre social y falta de información.

Como elemento de atención, se describe las repercusiones ambientales y el daño que los residuos industriales peligrosos pueden causar. En particular se remarcan los siguientes aspectos: impactos ecológicos en ecosistemas y recursos hidráulicos, riesgos de salud ambiental y por accidentes o contingencias. El estudio de estos efectos analiza algunos de los procesos naturales más relevantes en el movimiento de sustancias tóxicas y de residuos peligrosos en el ambiente, como con la lixiviación, absorción-desorción, volatilización y bioacumulación. Con la finalidad de documentar casos concretos de efectos producidos por la disposición o manejo inadecuado de residuos peligrosos, se incluye la relación de algunas contingencias específicas.

Considerando que los residuos peligrosos industriales en cualquier estado físico por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables y biológicos infecciosos representan un peligro para el equilibrio ecológico, es necesario darles un buen manejo y considerando que las tecnologías que se encuentran disponibles para el tratamiento de estos, están basados en procesos físicos, químicos, biológicos y térmicos.

Este trabajo se enfocará principalmente a los residuos peligrosos que contienen metales pesados que por sus características afectan al medio ambiente y al hombre mismo.

Primero se hablará a nivel mundial de la generación de los residuos peligrosos y algunos tratados internacionales. Posteriormente se enfocará su comportamiento en México y su situación actual, fuentes generales, volumen estimado y la legislación que lo rigen de manera general y las normas aplicables. Haciendo hincapié a los residuos peligrosos que contienen metales pesados que es la base de este trabajo y además se darán los lineamientos para reducir los residuos peligrosos.

Se analizarán los principales procesos tanto de la industria de la siderúrgica como de la metalúrgica no ferrosa que generan residuos peligrosos que contienen metales pesados y que representan un porcentaje importante a nivel nacional.

Finalmente, se tocarán las tecnologías existentes que emplean procesos químicos para el tratamiento de residuos peligrosos que contienen metales pesados, como son precipitación, reducción, oxidación y neutralización con una aplicación a manera de ejemplo, para el tratamiento de los residuos peligrosos que se generan en la producción de aluminio. Se analizarán por separado y su objetivo es reducir la toxicidad previo a su transporte, y depositación en algún confinamiento controlado.

CAPÍTULO 1

1. EVOLUCIÓN DE LA SITUACIÓN EN EL MUNDO

En el ámbito mundial la generación de residuos peligrosos afecta tanto a los países desarrollados como a países en vías de desarrollo. Para esto es necesario llevar a cabo una estrategia para enfrentar este problema, la cooperación de organismos internacionales que plantean soluciones, para evitar desastres ecológicos y proteger al ser humano.

1.1 CONTEXTO INTERNACIONAL

Aún cuando no se cuenta con inventarios precisos, se calcula que en el mundo se generan anualmente alrededor de 350 a 400 millones de toneladas (ton) de residuos peligrosos. Una gran parte de ellos proviene de industrias que contribuyen en forma importante a la economía de las sociedades industriales. Entre ellas están las industrias metalúrgicas del hierro y del acero o de metales no ferrosos y a la industria química. Se suman otras fuentes, como la industria agroquímica, las extractivas (por ejemplo mineras y petroleras) y las de servicios (como los talleres automotrices que desechan aceites gastados). La peligrosidad de tales residuos dependen de su composición, ya que la mayor parte de los casos se trata de mezclas complejas que contienen diversos tipos de sustancias. De ahí la importancia de contar con métodos analíticos que permitan realizar su caracterización.

Cabe señalar que en el comercio existen más de 100,000 sustancias, y que sólo para un número reducido de ellas se cuenta con información acerca de sus propiedades físico-químicas, su toxicidad y biodegradabilidad, aspectos que definen su peligrosidad para la salud humana y el ambiente.

Es en función de estas propiedades y de la forma en que se presentan los residuos, que se puede determinar su peligrosidad. Así por ejemplo, residuos peligrosos en forma líquida pueden constituir un riesgo para los mantos freáticos si penetran a través de los suelos, en tanto que residuos particulados de pequeñas dimensiones pueden ser diseminados por el viento. En uno u otro caso, los residuos peligrosos pueden dar lugar a problemas fronterizos si son arrastrados por agua o aire hacia países vecinos de los que los generaron.

Las implicaciones de la disposición inadecuada de los residuos peligrosos par la salud y el bienestar público, así como para el ambiente, han quedado ampliamente evidenciadas por sucesos que pusieron de relieve que es más costoso remediar que prevenir. Dichos sucesos fueron ampliamente difundidos por los medios de comunicación, contribuyeron a desarrollar una actitud negativa por parte de las comunidades hacia el establecimiento y operación de instalaciones peligrosas en sus localidades. Esta posición –conocida como el síndrome de “no en mi patio trasero” (Nimby, por sus iniciales en inglés)- ha tenido su equivalente en la actitud de funcionarios públicos temerosos de las repercusiones de sus decisiones, quienes se niegan a firmar autorizaciones para construir u operar tales instalaciones o plantas para el tratamiento y disposición final de residuos peligrosos.

Las actitudes antes descritas no sólo están consideradas como contrarias al desarrollo de las economías nacionales, sino que además son peligrosas, en la medida en que impiden establecer la infraestructura necesaria para dar un manejo ambientalmente según a los residuos y conducen a una disposición final inadecuada de éstos, lo que incrementa los riesgos.

Se ha respondido al problema citado con la elaboración y desarrollo de legislaciones y estrategias que permitan dar acceso a la información a las comunidades, en forma tal que éstas puedan establecer juicios fundamentados y tomar parte en la planeación sobre el sitio de asentamiento de las instalaciones de tratamiento de residuos, así como estar al tanto de las medidas de seguridad y emergencia implantadas en dichas instalaciones.

Asimismo, causaron impacto las noticias divulgadas por los periódicos acerca de barcos que zarparon de Estados Unidos de América y de Europa, buscando desembarcar residuos peligrosos en países en vías de desarrollo, y que tuvieron que retornar su carga al lugar de origen ante el rechazo generalizando de los países con los que habían establecido contacto para solicitar su admisión en su territorio.

Es en respuesta al movimiento de residuos peligrosos se han establecido convenios binacionales y multinacionales diversos para regular el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, entre los que destaca el convenio de Basilea, y que alrededor de 90 países han determinado prohibir la importación de tales residuos. La organización internacional Greenpeace publicó un documento acerca de la reunión de la primera conferencia de las partes de la convenio de Basilea (Uruguay, 1992) en la cual preciso los países que prohíben la importación de residuos peligrosos.

Todo lo expuesto llevo a incluir en la Agenda 21 –documento que plantea el marco para la instrumentación de programas que permitan el desarrollo sustentable, surgido de la conferencia de las Naciones Unidas sobre ambiente y desarrollo- un capítulo sobre el manejo ambientalmente idóneo de los residuos peligrosos. Los objetivos de las áreas programáticas de dicho capítulo se resumen a continuación:

- 1- Promover la prevención y reducción al mínimo de la generación de residuos peligrosos a través de métodos limpios de producción; evitar el uso de sustancias peligrosas cuando existan sustitutos; recuperar metales, reciclarlos, reusarlos de modo directo o mediante usos alternativos.
- 2- Mejorar el conocimiento y la información sobre los aspectos económicos de la prevención y administración de los residuos peligrosos.
Aumentar el conocimiento acerca de los impactos de los residuos peligrosos en la salud y el ambiente.
- 3- Promover y fortalecer las capacidades institucionales para prevenir, minimizar y administrar los riesgos asociados con los residuos peligrosos.
Promover y fortalecer la cooperación internacional en el manejo de los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos, incluyendo el control y monitoreo, consistente con los instrumentos legales regionales e internacionales.

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) --a través de las decisiones de su consejo de ministros y el convenio de Basilea han sentado las bases internacionales para regular y controlar la transferencia de residuos peligrosos de un país a otro.

A principios de la década de los 1980 se calculo en 100,000 el número de movimientos de residuos peligrosos entre países europeos, por una cantidad aproximada de 2.2 millones de toneladas, y en más de 5,000 los realizados en América del Norte. A partir de la primera estimación, se determino que más de un transporte de residuos peligrosos cruzó una frontera nacional en la región de la OCDE, cada cinco minutos, 24 horas al día, 365 días al año.

Esa práctica mostró una tendencia creciente y se atribuyo a diversos factores que la OCDE publicó en 1984. Se estima que alrededor de 700,000 toneladas de residuos peligrosos fueron transportadas de un país a otro en Europa para sus disposición final entre 1982 y 1983.

Cabe aquí que recientemente se calculó que el comercio internacional de los residuos en la región de la OCDE equivale a 20 millones de dólares anuales, al cuál los países europeos contribuyen con 50%, Estados Unidos con 33%, Canadá con 10%. (1)

Volumen generado de residuos peligrosos en algunos países de la OCDE

País	Generación anual (millones de toneladas)
Alemania	4.5-5
Canadá	3.29
Dinamarca	0.06
Estados Unidos	264.00
Finlandia	0.087
Francia	2.00
Noruega	0.12
Países Bajos	0.28
Reino Unido	1.5
Suecia	0.52
Suiza	0.093

Fuente:(1)

1.1.1. AMERICA LATINA Y EL CARIBE

Hasta hace 10 años este problema no había recibido atención en la región. El problema se torna más grave por que además de los residuos generados en los países en desarrollo por la industria y los servicios nacionales. Los países desarrollados intentan introducir residuos adicionales en los territorios de aquellos donde la reglamentación que los controla no existe o es menos estricta.

Aunque la responsabilidad del manejo de estos residuos esta fuera de las responsabilidades de los organismos operarios municipales, es importante poder controlar su destino, ya que actualmente son depositados en los patios de las fabricas, en lotes baldíos o son llevados a los basureros a cielo abierto o rellenos controlados, ignorándose los daños que estén causando al ambiente y a la salud. Algunos países como Argentina, Brasil, Chile, Uruguay, Colombia y Venezuela tienen el marco legal para el control, pero casi siempre carecen de la infraestructura física y los recursos humanos necesarios para aplicarlo.

En los países como Nicaragua, Paraguay, Bolivia, Ecuador, Guatemala, Cuba, Perú, Jamaica, Trinidad y Tobago, Costa Rica, Honduras, Panamá y San Salvador no existen reglamentos y en algunos casos sólo hay un decreto prohibiendo su importación. Para los organismos operadores municipales es importante contar con mecanismos que eviten estos residuos lleguen a sus instalaciones.

Además no cuentan con los recursos técnicos y económicos para llevar a cabo una buena administración de los residuos peligrosos generados (12).

DESGLOSE DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LA REGIÓN

Aquí se presenta el desglose de residuos peligrosos basado en resultados de la encuesta realizada en países de la región (13).

Lodos

Refinería del petróleo 6%
Industria de metales no ferrosos 11%
Otras industrias 2%
Curtiembres 12%
Industria de sustancias químicas básicas 69%

Residuos líquidos

Refinería del petróleo 5%
Otras industrias 11%
Industria textil 63%
Industria de sustancias químicas básicas 21%

Residuos sólidos

Industria de metales no ferrosos 5%
Otras industrias 4%
Industria del hierro y acero 6%
Refinería del petróleo 6%
Imprentas 11%
Industria de productos metálicos 68%

Fuente: seminario de residuos peligrosos, ancrepac 1991

1.1.2 SITUACION DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO

En nuestro país, la industria contribuye a la generación de contaminantes de manera muy diversa dependiendo de las características de los procesos y del tipo de insumos y productos.

1.1.2.1 FUENTES GENERALES DE RESIDUOS PELIGROSOS

Planta Industrial

En México el proceso de industrialización se inició de manera desordenada en los últimos cincuenta años, con una concentración industrial preponderante en unas cuantas ciudades –entre las que destacan la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), Monterrey y Guadalajara– y en algunos polos de desarrollo –como Veracruz y la frontera norte. El país se caracteriza por la conformación de un porcentaje bajo de grandes empresas con tecnologías avanzadas de producción y un gran número de micro, pequeñas y medianas empresas (más del 95%), muchas de ellas con procesos obsoletos de producción. La planta industrial comprende básicamente, cuatro tipos de industrias (1):

Manufactureras

Extractivas (minería y petróleo)

De la construcción

Eléctricas.

1.1.2.2 SECTORES DE LA INDUSTRIA NACIONAL

SECTORES	UNIDADES INDUSTRIALES
Minería y extracción del petróleo	2,402
Subsectores	
Carbón	46
Petróleo y gas natural	33
Extracción de minerales metálico	678
Explotación de minerales no metálicos	1,675
Industrias manufactureras	141,446
Subsectores	
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	51,151
Textiles, prendas de vestir e industria del Cuero	16,853
Industrias y productos de madera (incluye muebles)	16,141
Papel y productos de papel, imprentas y Editoriales	7,952
Sustancias químicas, productos derivados Del petróleo y del carbón, del hule y del Plástico	5,472
Productos minerales no metálicos (excluye los derivados del petróleo y del carbón)	14,502
Industrias metálicas Básicas	932
Productos metálicos, maquinaria y equipo (incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión)	26,945
Otras industrias manufactureras	1,498
Industria eléctrica	36
Subsector	
Electricidad	36
Industria de la construcción	5,308
Subsector	
Construcción	5,308

Fuente: (1)

1.1.2.3 VOLUMEN ESTIMADO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

En 1986 se estimaba una producción anual de 2,737 millones de toneladas. En 1990 se llegó a 5,657 millones de toneladas y para 1995 se calcula un incremento de entre 7 y 7.5 millones de toneladas anuales, 8 millones de toneladas anuales para 1998-1999. Cabe considerar que aun con los datos oficiales se ha establecido que en 10 años se ha triplicado la producción de residuos, pero que en el mismo periodo no se ha incrementado la capacidad instalada para su manejo adecuado.

Como puede apreciarse en la tabla siguiente, de las 450 mil ton/día de residuos generados por diferentes tipos de industria – según cálculos para 1991-, alrededor de 14,500 ton/día corresponden a residuos peligrosos, lo que equivale a cerca de más de cinco millones de toneladas anuales(1).

Volumen estimado de generación de residuos sólidos industriales, incluyendo los peligrosos (a nivel nacional)

	Ton/día	Ton/año (Miles)	Ton/día	Ton/año (Miles)
Minería extractiva	300,000	109,500	337,500	123,187
Industria Química	70,500	25,732	81,000	29,565
Agroindustria	29,500	10,767	31,500	11,498
Peligrosos	15,500	5,657	14,500	5,292
Generación Total	415,500	151,656	450,000	169,542

Para 1995 y 1998-1999 se estima que la generación total de residuos peligrosos de origen industrial asciende a más de ocho millones de toneladas anuales, lo que no incluye los jales mineros, residuos que también pueden ser peligrosos y que se producen en grandes cantidades (entre 300,000 y 500,000 toneladas diarias. Las entidades federativas que generan los mayores volúmenes son el D.F. y el Estado de México con 1,839,000 ton/año, y 1,415,000 ton/año respectivamente. Otros estados importantes, por su generación de residuos, son Nuevo León con 800,000 ton/año y Jalisco con 600,000 ton/año, así como Coahuila, Puebla y Chihuahua con 300,000; 245,000 y 210,000 ton/año, respectivamente (1).

Las regiones que generan residuos peligrosos indicadas son las siguientes:

(Fronteriza (1%): Principales áreas industriales ubicadas en la franja colindante con los Estados Unidos de América.

(Norte(24%): Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo León, Durango, Nayarit, San Luis Potosí, Sinaloa, Zacatecas, Aguascalientes, Colima y Jalisco.

(Centro(65%) Guanajuato, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Estado de México,

Tlaxcala, Hidalgo, y el Distrito Federal.

(Golfo(7%): Tamaulipas, Veracruz y Tabasco.

(Sureste(3%): Campeche, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Yucatán y Quintana Roo.

1.1.2.4 RESIDUOS PELIGROSOS QUE SE GENERAN CON MAYOR FRECUENCIA

La industria contribuye a la generación de contaminantes de manera muy diversa, dependiendo de las características de los procesos y del tipo de insumos y productos. Los residuos generados por la actividad industrial pueden considerarse peligrosos si poseen algunas de las características CRETÍ, es decir, si presentan propiedades corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas y/o inflamables. Igualmente pueden ser identificados por sus estados físicos, su composición química, o su descripción genérica (aguas, breas, lubricantes, disolventes, envases, sedimentos, carbones activados, catalizadores, lodos, soluciones, tierras y otras). Dependiendo del volumen de generación y su concentración, estos residuos y sustancias peligrosas pueden representar mayores o menores riesgos ambientales.

Según el tipo de residuo generado a nivel nacional, los residuos que contienen metales representan el 2.01% de generación del total, a continuación se presentan en la siguiente tabla los diferentes tipos de residuos peligrosos(26).

<u>RESIDUOS</u>	<u>PORCENTAJE</u>
SOLVENTES	36.20
ACEITES Y GRASAS	12.89
PINTURAS Y BARNICES	7.71
SOLDADURA PB-SN	5.63
RESINAS	4.45
ÁCIDOS Y BASES	2.72
DERIVADOS DEL PETRÓLEO	2.46
METALES PESADOS	2.01
ADHESIVOS	1.69
FREÓN	1.15
LODOS	1.15
SILICÓN	0.54
TINTAS	0.35
PLÁSTICOS	0.79
TOTAL	100.00

Fuente: (26)

Por actividad industrial, la industria metalúrgica no ferrosa y Siderúrgica generan el 10% de residuos peligrosos del total a nivel nacional. La clasificación por rama industrial y sus aportaciones de residuos peligrosos al total nacional se muestra en la siguiente tabla.

Rama Industrial	Porcentajes de generación %
Farmacéutica	1.5
Caucho y goma	2.5
Plástico	2.5
Automotriz	3.5
Textil	4.0
Papel y Celulosa	4.0
Cueros y pieles	4.5
Minerales no-metálicos	4.5
Alimentos	6.0
Electrónica y eléctrica	8.0
Química secundaria	8.0
Metalmecánica	10.0
Siderúrgica y Metalúrgica no ferrosa	10.0
Petroquímica	11.0
Química básica	22.0
Total	100.00

1.1.3. CASOS DE MANEJO INADECUADO DE RESIDUOS PELIGROSOS EN MÉXICO

La evaluación de los efectos en la salud de los residuos peligrosos en México no ha sido objeto de un estudio sistemático, por lo cual no es posible determinar la magnitud del problema sino sólo inferirlo a partir de la descripción de casos que han sido notificados por los medios de comunicación, a través de algunas publicaciones que analizan problemas particulares o con base en la información acerca de las condiciones que privan en el país en la materia. Aunque el interés que este tema despierta en algunos grupos poblacionales específicos, que se espera contribuya a conocer más a fondo la situación. Los residuos muchas veces se localizan en: ríos y mares (río Coatzacoalcos, Golfo de México, etc.); lotes baldíos (tambos en Monterrey, Nuevo León, en Ciudad Juárez, Chihuahua); desiertos (tambos en el altiplano Potosino); minas abandonadas (bifenilos policlorados en Zacatecas); en poblaciones donde, por ignorancia, son utilizadas como material de construcción (pavimentación de calles en el estado México; construcción de casas en el altiplano Potosino); en los traspatios de industrias; y probablemente en muchos sitios. Además un caso en particular es el que sucede con la población infantil en colonias aledañas a la planta metalúrgica Met Mex Peñoles, donde se hay una contaminación de plomo (27).

1.1.4. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS

La estrategia de control de residuos industriales en plantas nuevas se basa en la autorización de procesos limpios que reduzcan su generación. En la industria instalada antes de 1988 se ha promovido el reciclaje de los residuos, con el fin de reducir los volúmenes destinados a destrucción y disposición final.

En el caso de los confinamientos, los residuos son sometidos a un proceso de estabilización para reducir sus efectos peligrosos. De esta manera se pretende garantizar un manejo tendente a proteger el suelo, el subsuelo, los cuerpos de aguas superficiales y los mantos freáticos (1).

Estrategia de eliminación de los residuos peligrosos

1.- Reducción de la generación:

- Cambiar proceso:
- Optimizar condiciones de operación(1):
- Tecnologías propias
- Determinar la vida útil del equipo.

1. - Reciclado

El reciclaje es otro enfoque aplicable a los residuos peligrosos generados por algunas industrias. Gracias al reciclaje de ciertos materiales contenidos en los residuos, es posible absorber por lo menos una parte de estos costos a través de la valorización de subproductos. Se logra así una ganancia adicional para la empresa generadora del residuo y se reducen sus costos totales con la protección ambiental. En muchos casos es posible la reutilización interna de residuos que, después de pasar por un proceso de purificación, pueden utilizarse como materias primas. En México tenemos 5 empresas para el reciclado de metales y 17 empresas para el reciclaje de solventes usados.

2. - Tratamiento: Físico, Químico, Biológico, Térmico.

Los tratamientos fisico-químicos de residuos peligrosos, incluyendo la destrucción térmica, son otra posibilidad para reducir la cantidad de materiales contaminados para los cuales no es viable aplicar las soluciones antes descritas(5).

3. - Sitios de disposición final.

Finalmente, la solución aparentemente más simple y frecuentemente más económica, es la instrumentación de confinamientos controlados, los cuales representan una alternativa para disponer las cenizas de los incineradores, los materiales de otros sistemas de tratamiento, así como algunos residuos que no tienen ninguna posibilidad de reciclaje. En nuestro país se cuenta 2 confinamientos controlados de residuos peligrosos de servicio público y 2 confinamientos de residuos peligrosos de servicio privado(8).

1.1.5. LEGISLACIÓN AMBIENTAL

En lo que respecta a los residuos especiales y peligrosos, de acuerdo con la legislación ambiental vigente y a la Ley Orgánica de la Administración Pública, es la SEMARNAP, a través de sus dos órganos desconcentrados, el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), responsables de su regulación y control.

Corresponde al Instituto Nacional de Ecología, elaborar la política y los reordenamientos legales para regular los residuos especiales y peligrosos, así como emitir las autorizaciones al respecto, con el apoyo de las delegaciones de la SEMARNAP. En tanto que la PROFEPA y sus delegaciones, vigilan el cumplimiento de la legislación ambiental sobre dichos residuos.

A continuación se describirá los documentos oficiales que rigen legalmente a los residuos peligrosos(25):

1.1.5.1. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), promulgada el 28 de enero de 1988 y reformada en diciembre de 1996(11). Esta Ley que sienta las bases para reglamentar los principios constitucionales en la materia; esta compuesta por 194 artículos, divididos en seis capítulos:

- I. Disposiciones generales.
- II. Áreas naturales protegidas.
- III. Aprovechamiento racional de los elementos naturales.
- IV. Protección al Ambiente.
- V. Participación social.
- VI. Medidas de control y seguridad; y sanciones.

1.1.5.2. REGLAMENTO DE LA LGEEPA EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS

El 25 de noviembre de 1988 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos, el cual establece que las autoridades del D.F., las de los estados y municipio podrán participar como auxiliares de la Federación en la aplicación de este Reglamento, ya que la materia se considera Federal.

Asimismo, se establece el registro obligatorio del generador de residuos y la expedición de una autorización para operar la empresa ligada a la manifestación de impacto ambiental.

De igual forma se regula el transporte, el almacenamiento, la recolección y la disposición final de estos residuos, así como los sitios par su confinamiento(2).

1.1.5.3. NORMAS OFICIALES MEXICANAS

La LGEEPA prevé la expedición de normas oficiales mexicanas en las que se establezcan requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deben observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes; que causen o puedan causar desequilibrios a los ecosistemas o al medio en general; y que además permitan uniformar principios, preceptos, políticas y estrategias de conservación y restauración de los recursos naturales.

Hasta ahora han sido publicadas ocho NOM-ECOL sobre residuos peligrosos y son las siguientes(2):

NOM-052-ECOL-1993	Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NOM-053-ECOL-1993	Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NOM-054-ECOL-1993	Establece el procedimiento para establecer la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos.
NOM-055-ECOL-1993	Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radiactivos.
NOM-056-ECOL-1993	Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
NOM-057-ECOL-1993	Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.
NOM-058-ECOL-1993	Establece los requisitos para la operación de un confinamiento de residuos peligrosos.
NOM-087-ECOL-1995	Establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.

1.1.6. ETAPAS DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Las alternativas tecnológicas para administrar los residuos peligrosos pueden agruparse en tres grandes grupos(1):

- Las que persiguen reducir su generación.
- Las enfocadas a disminuir su peligrosidad mediante diversos tratamientos.
- Las empleadas para su disposición final.

En esta investigación básicamente se enfocara a la segunda opción.

Las medidas adoptadas para reducir los residuos peligrosos comprenden cuatro tipos de acción(1).

- A) Modificación de procesos.
- B) Sustitución de productos.
- C) Recuperación y reciclaje.
- D) Segregación en la fuente.

De ellas, las dos primeras constituyen las mejores opciones, en la medida en que reducen al máximo la generación de residuos en la fuente.

La recuperación y el reciclaje, si bien son recomendados, plantean problemas que hay que tomar en consideración para el manejo seguro de las sustancias tóxicas o peligrosas, ya que algunas de éstas se podrían encontrar en mayor proporción en los materiales a recuperar o reciclar que en las etapas de los procesos previos que generaron los residuos.

A) MODIFICACIÓN DE PROCESOS

Esta es una de las áreas en las que ha ocurrido un número importante de innovaciones tecnológicas.

Tales innovaciones se han traducido en procesos productivos más eficientes, capaces de economizar energía y de aprovechar mejor las materias primas, así como de disminuir la generación de residuos peligrosos, reduciendo con ello los costos de manufactura(4).

B) SUSTITUCIÓN DE PRODUCTOS

Mediante esta opción se busca reemplazar productos altamente tóxicos o peligrosos por otros que aporten los mismos beneficios y cuyo manejo a lo largo de su ciclo de vida sea más seguro y respetuoso del ambiente. Tal es lo que ha ocurrido al sustituir los bifenilos policlorados en los transformadores eléctricos por otros tipos de dieléctricos como ciertos aceites o por aire(4).

C) RECUPERACIÓN Y RECICLAJE.

Se trata de alternativas que, en general, no requieren de inversiones por parte de los generadores de residuos peligrosos, ya que son operaciones rentables en las que se emplean materiales de fácil separación y purificación. Se distinguen tres tipos de opción: a) reciclaje en la propia planta, b) recuperación comercial fuera de la planta y c) intercambio de materiales.

En este caso en particular, se recomienda que las empresas encargadas de su recuperación o reciclaje se instalen lo más cerca posible unas de las otras, con el fin de facilitar las operaciones(4).

D) SEGREGACIÓN EN LA FUENTE

Este método es uno de los más simples y económicos para disminuir el volumen de residuos peligrosos, ya que puede ponerse en práctica en el mismo sitio en el que éstos se generan. Básicamente se basa en separar los residuos peligrosos generados de los residuos no peligrosos, para el buen manejo y transporte final.

Este método proporciona beneficios importantes y ventajas entre las cuales podemos mencionar las siguientes(4):

- Manejo adecuado de residuos peligrosos.
- Cuantifica correctamente la cantidad de residuos peligrosos generados
- Reduce los costos de su manejo.
- Facilita el almacenaje de los residuos en recipientes adecuados.
- Transportación segura a zonas destinadas para su resguardo, tanto en la propia empresa como hacia otras.
- Identificación y control dentro de las instalaciones.
- Evita situaciones de accidentes, derrames y manejo inadecuado de residuos peligrosos.

1.1.7. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Entre las tecnologías disponibles para el tratamiento y destoxificación de los residuos peligrosos se encuentran el tratamiento térmico - incineración -, físico, biológico o químico que para fines de este trabajo se desarrollará más adelante. Dichas tecnologías son aplicables a tipos particulares de residuos, mas en virtud de que ninguna de ellas ofrece una seguridad absoluta, se recomienda establecer medidas de seguridad para reducir sus riesgos. A continuación se describirán brevemente las siguientes tecnologías mencionadas anteriormente.

A) TRATAMIENTO TÉRMICO

Ofrece como ventajas que induce cambios permanentes en los residuos peligrosos; reduce su volumen considerablemente y permite la recuperación de energía, ya que es posible obtener importantes cantidades de vapor a alta presión, a partir de lo cual se puede generar calor o electricidad. La incineración se lleva a cabo en presencia de oxígeno, en tanto que la pirólisis se realiza en ausencia de dicho elemento.

Los procesos de incineración producen bióxido de carbono, agua y cenizas inorgánicas, mientras que la pirólisis se obtienen sustancias resultantes de la ruptura térmica de las moléculas iniciales y se requiere de equipo más especializado. En general, la incineración de líquidos es más fácil que la de sólidos y puede realizarse mediante diversos tipos de equipo, lo que no ocurre con los residuos sólidos.

A continuación se mencionan los tipos de procesos de incineración de residuos peligrosos más usados(22):

- Incineración por inyección líquida.
- Incinerador de hogar fijo,
- Incinerador de lecho fluidizado
- Incinerador de hogar múltiple.

B) TRATAMIENTOS FÍSICOS

Son procesos que no alteran químicamente las sustancias, sino que aíslan los productos peligrosos separándolos del resto de componentes del residuo industrial, para facilitar su posterior tratamiento.

Se indican a continuación los procesos de separación más comúnmente empleados en la industria(5):

- Osmosis inversa
- Destilación
- Adsorción por carbón activado
- Intercambio iónico
- Electrodialisis
- Extracción con disolventes.

C) TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

La naturaleza cuenta con sus propios sistemas para la biodegradación de materiales de desecho. El problema aparece cuando el hombre introduce en estos ciclos sustancias artificiales fabricada por él a partir de materias primas naturales o creadas artificialmente.

En muchas ocasiones, este tipo de sustancias no es tan fácilmente biodegradable, ya que los microorganismos no cuentan con los mecanismos para degradar sustancias tóxicas.

Entre todas estas sustancias, constituyen un elevado porcentaje los productos no biodegradables. Sin embargo, si este tipo de sustancias sufre una deshalogenación previa, para lo cual sí existen microorganismos, el problema se reduce considerablemente.

Esta deshalogenación se lleva a cabo en un proceso de reducción anaeróbica. La reducción, como tal implica una transferencia de electrones. Aparte de tener que diseñar químicamente el proceso de reducción, y como éste cualquier otro tipo de degradación biológica, es preciso tener en cuenta una serie de factores externos para que las condiciones en que se produzca la reacción sean las mejores desde los puntos de vista químico y biológico. Estos factores son muy numerosos y sus valores óptimos dependen de cada caso concreto. Las más significativas son la temperatura, el pH, la disponibilidad de una serie de sustancias necesarias para la actividad bacteriana, como el oxígeno libre, o presente en otras moléculas (NO_x, SO_x, etc.), la no-existencia de biocidas, el grado de salinidad, la existencia o ausencia de luz solar, etc.

Los procesos biológicos existentes para el tratamiento de residuos peligrosos, son fundamentalmente los siguientes(5):

- Filtros biológicos.
- Lodos activados.
- Lagunas de aireación
- Lagunas de estabilización

CAPÍTULO 2

2. INDUSTRIA SIDERÚRGICA Y METALÚRGICA NO FERROSA

En materia de residuos peligrosos las industrias siderúrgicas y metalúrgicas no ferrosas son generadoras de residuos peligrosos, de acuerdo a los procesos industriales.

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA

2.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Para los fines del presente estudio, la industria siderúrgica se ha subdividido en cinco actividades básicas:

- Producción de hierro.
- Producción de acero.
- Producción de ferroaleaciones.
- Producción de hierro gris.
- Fabricación de productos de acero.

En el presente capítulo se describen los principales procesos industriales para la obtención de los productos mencionados, haciendo hincapié en el análisis de su generación de residuos, ya sea emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales o generación de residuos sólidos(15).

2.1.2. PRODUCCIÓN DE HIERRO (ARRABIO)

La obtención de hierro a partir de los minerales que lo contiene, que generalmente corresponden a óxidos, se basa en la reducción de dichos óxidos, utilizando como materiales reductores, el carbón y su monóxido, o directamente el hidrógeno.

El primer caso se lleva a cabo en los altos hornos, mientras que los segundos utilizan reactores catalíticos para llevar a cabo dicha reducción (15). Ver figura 1 en el apartado de diagramas.

2.1.3. PRODUCCIÓN DE ACERO

El acero es el resultado de adicionar al hierro trazas de carbón, así como de diversos microaleantes para obtener propiedades mecánicas y de resistencia química específicas.

La producción de acero se lleva a cabo por diversos procesos de los cuales destacan:

- El proceso de oxígeno básico.
- El proceso de horno de hogar abierto.
- El proceso de horno eléctrico.

En general en todos ellos se funde el hierro gris y se controla la presencia de carbono por adición de oxígeno, de igual forma, se adicionan los aleantes requeridos para modificar las características básicas del acero al carbón. (15)

2.1.4. PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES

Las ferroaleaciones son aleaciones de hierro con diversos metales que se obtienen por adición de estos aleantes al hierro fundido.

Existen tres tipos básicos de ferroaleaciones las aleaciones en base a silicio que incluyen el ferrosilicio y el ferrocalciosilicio; Las aleaciones de manganeso que incluyen el ferromanganeso y ferrocalcio manganeso; y las aleaciones en base cromo que incluyen el ferrocromo y el ferrosilicocromo (15).

En general la producción de ferroaleaciones se lleva a cabo por cuatro procesos distintos:

- Alto horno.
- Depositación electrolítica.
- Proceso térmico sílico-alúmina.
- Horno eléctrico de fusión.

2.1.5. PRODUCCIÓN DE HIERRO GRIS

El hierro gris consiste en hierro con un alto contenido de carbono y de silicio. El hierro gris se obtiene normalmente por el procedimiento de cubilote o utilizando hornos de reverbero o de inducción eléctrica.

Si se desean obtener aleaciones especiales se utilizan un horno eléctrico el cual se carga con hierro de alto horno, el cual una vez fundido es adicionado con los aleantes y fundentes necesarios (15).

2.1.6. FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE ACERO

Una vez producido el acero, existen diversos procedimientos para fabricar los productos terminales del mismo.

Al respecto se consideran como procesos fundamentales.

- Colada id.
- Moldeo por lotes.
- Rolado en caliente.
- Rolado en frío.
- Limpieza electroquímica.
- Recubrimientos metálicos (estaño o zinc).

En general estos procesos se llevan a cabo en establecimientos integrados a los productos de acero, sin embargo, con excepción de la colada id, en ocasiones operan en forma independiente adquiriendo el acero en lingotes para su proceso.

A continuación se describirá cada de los procesos antes mencionados que caracterizan a la fabricación de productos de acero (15).

COLADA ID

En este tipo de sistemas el flujo de acero líquido, procedente del horno correspondiente, se envía a la máquina de colada, donde el acero se descarga en un molde en movimiento, que permite la elaboración en forma de un lingote de acero.

Tanto el molde como la máquina de formación del lingote se enfrían con agua y el lingote durante su recorrido se va solidificando, siendo cortado en el tamaño requerido por soplete de gas al final del mismo. En ocasiones el lingote es finalmente pulido para darle un terminado adecuado(9).

MOLDE POR LOTES

En este proceso, el acero originalmente obtenido fundido se vierte en una serie de moldes adecuados para las piezas por obtener. Si el acero a utilizar como materia prima se tiene en lingotes ya solidificados, es necesaria su fusión, generalmente en un horno de arco eléctrico, de introducción o de crisol calentado con combustibles fósiles.

Una vez solidificado el acero, los moldes se rompen para extraer las piezas, las cuales se someten a los procesos de limpieza y terminado definitivos. Los moldes son fabricados de arena con resinas para darles consistencia(9).

ROLADO EN CALIENTE

En este proceso, el lingote de acero se calienta para pasar a través de un molino de rolado que les dará el tamaño y dimensiones especificados.

La maquina de rolar en ocasiones cuenta con pulidoras en caliente, así como con cortadoras para eliminar los extremos de las piezas roladas. El metal después de pasar por la maquina de rolar se enfría para posteriormente pasar al pulido final. En caso de requerirse mayor formación del material se calienta nuevamente y se pasa por la máquina de rolar para obtener el producto final(9).

ROLADO EN FRIO

Este tratamiento se aplica generalmente a materiales previamente rodados en caliente. El material se trata con una solución ácida para eliminar el óxido generado en el rolado en caliente y se cubre con aceite para evitar oxidación posterior.

El material ya protegido se pasa al equipo de rolar que emplea presión y tensión para ello, el cual opera a temperatura ambiente, utilizando una emulsión de aceite para enfriar el material(9).

LIMPIEZA ELECTROQUÍMICA

Si se requiere de material de alta calidad, el producto del rolado en frío se somete a una limpieza electroquímica cáustica para eliminar las grasas y dejar limpia la superficie del material(9).

RECUBRIMIENTOS METÁLICOS

Los sistemas de recubrimiento de materiales férreos consisten fundamentalmente en cubrir el material con una capa de estaño o de zinc, dando origen a la denominada hojalata y a los materiales galvanizados.

El proceso consta en tres etapas, la primera en una limpieza profunda del material para eliminar cualquier impureza de su superficie, la segunda en la aplicación del baño del material (zinc o estaño) y la tercera en la limpieza del material ya tratado(9).

2.1.7. RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS

De acuerdo con la normatividad vigente, de todos los residuos generados por este sector, se presenta la relación de los que quedan clasificados como peligrosos (15).

RESIDUOS PELIGROSOS DE LA INDUSTRIA SIDERURGICA

Escorias con contenido de metales pesados de (Pb, Zn, Fe).

Catalizador agotado del proceso de reducción directa.

Lodos procedentes del tratamiento de aguas de lavado de gases contenido metales pesados de (Pb, Zn).

Polvos procedentes de equipos de control de emisiones atmosféricas contaminados con metales pesados.

Aceites industriales usados (libres o emulsionados).

Lubricantes usados.

Líquidos agotados de procesos de limpieza.

Solventes usados en procesos de limpieza.

2.1.8. CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA METALURGICA NO FERROSA CONSIDERACIONES GENERALES.

Para los fines del presente estudio, la industria metalúrgica no ferrosa se ha subdividido en cuatro ramas básicas:

- Producción de aluminio.
- Producción de cobre.
- Producción de plomo.
- Producción de zinc.

En el presente capítulo se describen los principales procesos industriales para la obtención de los productos mencionados, haciendo hincapié en el análisis de su generación de residuos, ya sea emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales o generación de residuos sólidos. Es importante el anotar que los cuatro metales se obtienen originalmente de los minerales correspondientes, sin embargo existen una gran industria de recuperación de los mismos a través de procesos de producción secundaria utilizando residuos reciclados(17).

2.1.8.1. PRODUCCIÓN DE ALUMINIO

El aluminio se obtiene a partir de la alúmina(Al_2O_3) por medios electroquímicos; a fin de lograr reducir la temperatura de fusión de este mineral se mezcla con criolita(17):

La alúmina se obtiene de la bauxita, mineral que contiene óxido hidratado de aluminio.

Para la obtención de la alúmina el proceso más comúnmente utilizado es el denominado Bayer, en el cual el mineral seco y pulverizado se mezcla con hidróxido de sodio, para formar una solución.

Las principales impurezas que contienen óxido de hierro y sílice se remueven de esta mezcla por asentamiento, dilución y filtración. De la solución resultante se precipita el hidróxido de aluminio, el cual se precipita, filtra y calcina para producir alúmina pura.

El proceso de producción del aluminio a partir de la alúmina se denomina proceso Hall-Heroult.

La mezcla de ambos minerales se funde a 960°C y es electrolizada por corriente directa en una celda especial. El aluminio líquido se deposita en el cátodo que generalmente está ubicado en el fondo de la celda, mientras que el oxígeno generado se quema en el ánodo de carbón generando dióxido de carbono y una pequeña cantidad de monóxido de carbono. El cátodo se aísla con alúmina o ladrillo refractario

En la parte superior del baño fundido se encuentra el bloque de alúmina que se va sumergiendo en el baño de criolita donde se funde según avanza el proceso. La pasta es inyectada continuamente en la parte superior de la carcasa y con el calor tanto de la celda como de la corriente eléctrica ésta pasa se cuece removiendo los componentes volátiles presentes.

La operación del proceso de obtención de aluminio requiere de tres acciones intermitentes fundamentales:

- Ruptura de la corteza de la masa de criolita fundida para alimentar la alúmina.
- Remoción o reemplazo de los ánodos agotados.
- Extracción del metal fundido por succión del vacío.

El metal fundido es extraído de la celda electrolítica se pasa a moldes para obtener los lingotes correspondientes(17). Ver figura 2 en el apartado de diagramas.

La fundición secundaria de aluminio recicla los rezagos de este metal, mientras que los productores primarios lo producen a partir del mineral bauxita. El reciclado de aluminio requiere solamente 5% de la energía necesaria para producir este metal a partir de bauxita, lo cual hace al reciclado de este metal económicamente viable.

La producción secundaria de aluminio requiere de dos etapas: a) pre-tratamiento y b) fundición/refinación. Las operaciones de pre-tratamiento incluyen la clasificación y separación de rezagos y su limpieza. La fundición/refinado incluye la limpieza por calentamiento, la fusión, refinado, aleación y vertido en moldes. Los procesos usados para convertir chatarra de aluminio en material adecuado para fundiciones industriales.

Algunas o todas las operaciones mencionadas pueden encontrarse en una determinada planta. Otras pueden ser combinadas o reordenadas dependiendo de la calidad de los rezagos, su origen, los equipos auxiliares disponibles, el diseño del horno y las especificaciones del producto. La configuración de las plantas, el tipo de chatarra procesada y la escala de protección varían mucho dentro de la industria de fundición secundaria de aluminio.

FUNDICIÓN/REFINADO

Luego del pre-tratamiento, la chatarra de aluminio es fundida y refinada en hornos de solera (también llamados hornos de reverbero) semejante a los usados en la fundición de hierro o plomo.

La fundición y refinado se lleva a cabo en ciclos (carga, fusión, adición de fundentes, remoción de magnesio, desgasificación, desnatado y vertido). Es común que la difusión de la chatarra y las primeras etapas del ciclo se lleven a cabo en un horno de solera, que alimenta con metal fundido dos o más hornos donde se completa la refinación del aluminio.

Al concluir el ciclo de procesado se mantiene en el horno una pequeña cantidad de metal fundido para acelerar la fusión de la nueva carga de rezagos y evitar la oxidación de su superficie. La carga de rezagos se efectúa en etapas, permitiendo que la carga anterior se funda totalmente antes de agregar nuevo material.

La remoción de magnesio es generalmente necesaria para satisfacer una especificación típica menor de 0.1% Mg en el metal. Esta generalmente se lleva a cabo burbujeando cloro gaseoso en el metal fundido. El cloro reacciona preferentemente con el magnesio que con el aluminio. El cloruro de magnesio resultante es separado con las natas. Resultados equivalentes se pueden obtener usando fluoruro de aluminio como fundente, el cual se descompone y reacciona con el magnesio.

La remoción de gases (hidrógeno) se efectúa burbujeando gases inertes (nitrógeno y argón) en el metal fundido hasta que este es enérgicamente agitado por el gas. Es posible usar mezclas de cloro y nitrógeno para llevar a cabo la remoción de magnesio y la desgasificación simultáneamente. Una parte considerable del cloro usado es venteado con los gases de combustión del horno, dependiendo de las concentraciones usadas y el modo de mezclarlo con el metal fundido.

La aleación de aluminio se lleva a cabo para modificar su resistencia y ductibilidad. El metal es analizado y en base a los resultados se agregan aditivos necesarios al metal fundido y así sucesivamente hasta lograr la composición deseada.

La remoción de natas separa físicamente los contaminantes sólidos o semisólidos que flotan sobre el metal. La remoción es facilitada mediante largos rastrillos metálicos para barrer las natas hacia la puerta de descarga del horno. Luego del desnatado, el metal fundido se deja enfriar parcialmente y se vierte en moldes o máquinas de moldeado de piezas de fundición.

2.1.8.2. PRODUCCIÓN DE COBRE

El cobre se refina de los concentrados enviados de las minas. La química de los concentrados de cobre puede ser compleja, dependiendo de la mineralogía del mineral de cobre. La mayor de los concentrados son sulfuros ya sea de cobre, cobre-ferro, o minerales de compuestos de sulfuro. Algunos minerales de cobre incluyen carbonatos compuestos y minerales de silicato y óxido.

Los concentrados de cobre típicos contienen 30.5 de cobre. La obtención de cobre de los concentrados, es por:

- a) Procesos hidrometalúrgicos, que incluye lixiviación por presión del concentrado para producir cemento de cobre y azufre elemental como subproducto.
- b) Proceso pirometalúrgico, que incluye varios pasos, tales como tostación, fundición, conversión y refinación para obtener el cobre(blisters).

El cobre impuro del proceso de fundición puede ser enviado a refinación electrolítica para producir cátodo de cobre para venta a los consumidores.

Los metales subproductos de la refinación del cobre incluyen el molibdeno, oro, bismuto, arsénico y cadmio. Los concentrados de cobre pueden producirse como subproductos de la extracción o fundición de minerales de plomo-zinc-plata y son enviados a las refinarias de cobre.

En la tostación, la carga de concentrados de cobre se mezcla con un flujo de sílice y se calienta a 650°C para extraer la mayor parte del azufre y algunas impurezas metálicas tales como antimonio, arsénico y plomo. El humo del tostado se recolecta para la refinación de subproductos, el producto tostado de cobre se envía a la fundición. El equipo debe incluir tostadores de hogar múltiple con rastrillos mecánicos o tostadores de lecho fluidizado.

Los hornos de la fundición tratan el calcinado a altas temperaturas y separan la carga en una mata de cobre y escoria de hierro, otros metales base y sulfuros. En el horno se lleva a cabo el tostado continuo; el fundido o la conversión. La mata permanece en el horno hasta que es picado, la escoria se vacía y se lleva en ollas grandes a un vaciadero de escoria.

El siguiente paso en la fundición del cobre es el tratamiento en un convertidor. Esto elimina el hierro y el azufre restantes en la mata para realizar la refinación obteniendo el cobre blister, el cual es vaciado en lingotes y después es vendido en el mercado o enviado a las refinarias electrolíticas.

Los lingotes de cobre blister. Son enviados a una refinación donde se eliminan impurezas(escorias) estas son regresadas al convertidor.

En el horno y en la fundición de los concentrados de cobre, se generan emisiones que contienen azufre y algunas otras impurezas metálicas, estas emisiones son enviadas a una planta recuperadora de ácido sulfúrico, siendo aquí donde se generan residuos de lodos de las purgas de las plantas de ácido. Ver figura 3 en el apartado de diagramas.

En el caso de que el cobre blister vaciado en lingotes o el que se vuelve a fundir en un horno de ánodos, es enviado a la refinería electrolítica, como ánodos. El cobre tiene de 98.5 a 99.5% de pureza, siendo el balance de metales tales como oro, plata, antimonio, arsénico, bismuto, fierro, plomo, zinc y azufre. Los ánodos son sumergidos en un baño electrolítico de sulfato de cobre y ácido sulfúrico, de donde el cobre emigra al cátodo. Las impurezas metálicas se precipitan en la solución y son filtrados como lodos de ánodos de la casa de tanques. Los cátodos de cobre tienen 99.95% de pureza o más.

2.1.8.3. PRODUCCIÓN PRIMARIA DE PLOMO

El plomo aquel que se extrae y refina a partir del mineral, rara vez se encuentra en su estado elemental, se encuentra comúnmente como sulfuro (galena) el cual contiene pequeñas cantidades de cobre, zinc y trazas de otros elementos. Usualmente la concentración del plomo en la mina es de 3-8 %.

El proceso usado para la fundición primaria del plomo implica tres fases principales:

- Sinterización
- Reducción
- Refinado

Sinterización:

La sinterización se define como una soldadura conjunta y crecimiento del área de contacto entre dos partículas o más a temperaturas inferiores al punto de fusión,

Durante la sinterización los polvos se mezclan y se vierten en moldes calientes donde una prensa los somete a fuertes presiones. La acción conjunta de la compresión y el calor obliga a los granos o polvos a soldarse unos con otros aún cuando la temperatura no los ha fundido.

El sinterizado se produce en la máquina sinterizadora. La reacción principal durante el proceso de sinterizado tiene lugar a una temperatura aproximada de 1000°C (1800°F).

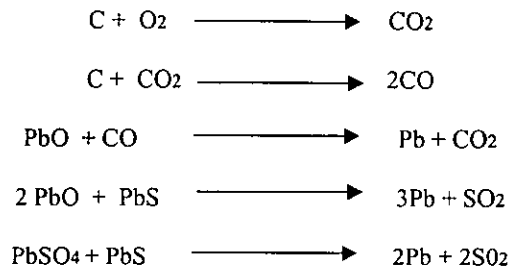


La operación del sistema y la calidad del producto es óptima cuando antes de la fusión el concentrado del plomo obtenido en la mina se mezcla, normalmente con minerales de plomo o productos relacionados intermedios(polvos de los gases de combustión, piedra caliza, sílice, reciclado de la sinterización, etc.), con ello se logra mantener el contenido de sulfuro de la carga del sinterizado entre 5 a 7 % en peso.

Reducción

Este proceso ocurre en un alto horno, el cual es un horno dotado de una camisa exterior de agua apoyado sobre una base refractaria, durante este proceso se elimina el azufre y se obtiene óxido de plomo. El alto horno se carga con una mezcla de sinterizado (80 a 90 %), coque metalúrgico (8 a 14% de carga) y diversos materiales reciclados.

En el alto horno el sinterizado es reducido a plomo crudo por las siguientes reacciones:



El monóxido de carbono y el calor requerido para la reducción son suministrados por la combustión del coque, la mayoría de las impurezas son eliminadas en la escoria, la fusión del coque reduce el óxido y da plomo, sobre el cual flota cobre recuperable.

Los productos sólidos provenientes del alto horno por lo general se separan en cuatro etapas:

- a) Speiss (el material más liviano, básicamente arsénico y antimonio),
- b) Mata (sulfuro cúprico y otros sulfuros metálicos)
- c) Escoria (primordialmente silicatos como fundentes)
- d) Plomo en colada.

Las primeras tres capas colectivamente se llaman escorias y contienen la mayoría de las impurezas. La escoria se recoge de manera continua y se procesa en el horno de fundición a fin de extraer su contenido metálico.

Una vez que el plomo en colada sale del alto horno, por lo general requiere un tratamiento preliminar (espuma) que se efectúa en peroles, antes de que se le someta a las operaciones de afino. A medida que la colada se va enfriando, diversos metales e

impurezas, incluyéndose entre éstos el cobre y el azufre, se van recolectando en la superficie en forma de espuma. Ver figura 4 en el apartado de diagramas.

Refinado (afino)

La tercera y última fase de la metalurgia del plomo es el refinado, el cual se efectúa en peroles de hierro fundido. El refinado tiene por objeto eliminar las impurezas, que el plomo de fusión contiene a razón de 2%.

En el afino electrolítico se emplea como electrolito una disolución de flurosilicato de plomo, el níquel, el zinc, el hierro se disuelven en el baño mientras el cobre, el bismuto y el arsénico, forman con las demás impurezas del cual pueden ser extraídos. La pureza del plomo así obtenido es de 99.99%. En el afino por vía seca, se espuman en la superficie los metales más ligeros que nadan en el plomo fundido y luego, con aire y vapor de agua, se oxidan y eliminan el zinc y el estaño contenidos por el plomo. Por último, el procedimiento de afino Harris consiste en hacer pasar el plomo fundido a través de una mezcla de sosa cáustica, cloruro y nitrato de sodio calentada a la temperatura de 400 a 500°C, formándose así una escoria que contiene los demás metales en forma de arseniato.

El afino consiste de cinco pasos:

1. Extracción del antimonio, el estaño y el arsénico.
2. Extracción de los metales por medio del proceso de Parkes.

Proceso que sirve para separar la plata del plomo. Se adiciona 1-2% de zinc derretido a la mezcla de plata y plomo, y se calienta por encima del punto de fusión del zinc. Por lo tanto se forma en la superficie una espuma que contiene la mayor de la plata y el zinc. Se recupera este y se recupera la plata.

3. Remoción de zinc por vacío.
4. Extracción del bismuto por medio del proceso de Betterson.

Método para obtener bismuto y para purificar el plomo(al que se ha quitado la plata), que contiene bismuto. Se añade calcio o magnesio metálico al plomo fundido, para formar compuestos intermetálicos con el bismuto, que tiene punto de fusión elevado, estos se separan en forma de espuma en la superficie y se elimina. El exceso de calcio o magnesio se elimina usando cloro gas o cloruro de plomo o zinc fundido

5. Extracción de las trazas que quedan de las impurezas del metal mediante la adición de NaOH y NaNO_3 .

El plomo final refinado por lo general es de 99.990 a 99.99% de pureza, luego se funde en lingotes para su despacho.

En esta etapa del proceso se generan emisiones a la atmósfera las cuales son controladas por medio de cámara de filtros, precipitadores electrostáticos o lavadores de gases, en estos últimos se generan lodos, polvos y soluciones residuales, estas últimas pueden ser enviadas a una laguna de evaporación donde se generan lodos.

El proceso de fundición separa al plomo de las impurezas metálicas y no metálicas, reduciendo los óxidos y sulfatos a plomo metálico. Esto se logra exponiendo el material cargado en el horno a una temperatura reductora (rica en CO) a temperaturas de aproximadamente 950°C. Las impurezas gaseosas son venteadas con los gases de combustión (previo enfriamiento y filtrado) y las sólidas son retiradas como escoria.

Dentro del horno, la escoria y una mezcla de sulfuros de hierro y plomo (matte) flotan sobre el metal y son removidos periódicamente. La mayor parte (95 a 98%) del azufre de la carga es retenido en la escoria y el matte. La escoria es reciclada parcialmente para recuperar el contenido de plomo. Ver figura 5 en el apartado de diagramas.

2.1.8.4. PRODUCCION DE ZINC

El zinc se encuentra principalmente como sulfuro (ZnS), estos sulfuros se encuentran contaminados con cadmio y en menor cantidad con germanio, galio y talio. La mena de zinc típica contiene de 3 a 11% de zinc.

La extracción de zinc se puede efectuar, ya sea por electrólisis o por métodos pirometalúrgicos.

ELECTRÓLISIS

El proceso electrolítico involucra cuatro etapas: tostación, lixiviación, purificación y electrólisis.

a) TOSTACIÓN

La tostación es un proceso común a ambos métodos de electrólisis y pirometalúrgico. La reacción de tostación primaria de zinc ocurre entre 850 y 1000°C dependiendo del tipo de equipo de tostación.



b) LIXIVIACIÓN

La lixiviación es el primer paso de la reducción electrolítica en la cual reacciona el óxido de zinc para formar sulfato de zinc acuoso en una solución electrolítica que contiene ácido sulfúrico.



Los métodos de lixiviados simple y doble pueden usarse, aunque el exceso de ácido sulfúrico se pierda y el zinc recuperado sea inferior del 90%. En el lechado doble, el calcinado es primero lixiviado en una solución ácida. Por lo general los sulfatos se disuelven en el calcinado, pero solamente una parte de los óxidos de zinc entran en la solución. El calcinado es entonces lixiviado en el ácido electrolítico reciclando el electrolito.

c) PURIFICACIÓN

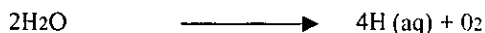
La purificación es un proceso en el cual el polvo de zinc es añadido a la solución de zinc saturada para provocar la precipitación de impurezas, el sólido precipitado es separado de la solución por filtración.



La técnica usada es entre las aplicaciones industriales más avanzadas de las soluciones de química orgánica. Impurezas metálicas, tales como arsénico, antimonio, cobalto, germanio, níquel y talio, interfieren severamente con la depositación electrolítica de zinc y se concentración es menor de 0.05 mg/l.

d) ELECTRÓLISIS

La electrólisis tiene lugar en celdas conteniendo un numero de platos metálicos cerrados en espacios rectangulares como ánodos (plomo con 0.75-1.0% de plata) y como cátodo (aluminio puro). Durante este proceso ocurren tres reacciones:



El oxígeno es cargado en el ánodo, el zinc metálico es depositado en el cátodo y el ácido sulfúrico es regenerado dentro del electrolito.

Los procesos de tostado, calcinado y fundido de la producción primaria de zinc, generan emisiones gaseosas de bióxido de azufre, las cuales son enviadas a la planta de tratamiento de ácido sulfúrico, siendo en este punto donde se genera lodos de tratamiento de aguas residuales y/o purgas de la planta de ácido.

En la purificación se generan lodos contaminados con impurezas tales como arsénico, antimonio, cobalto, germanio, níquel y talio al ser almacenados temporalmente estos lodos, se genera residuo de lixiviado de cadmio. El residuo lodos del ánodo electrolítico, se genera en la etapa de la electrólisis por el empleo de celdas electrolíticas con ácido sulfúrico como electrolito.

La escoria metalúrgica no ferrosa no debe usarse para relleno o agregado, debido al potencial para lixiviar metales pesados tóxicos a través del tiempo.

Los minerales de zinc se transforman en zinc metálico por dos tipos de procesos, el pirometalúrgico y el Hidrometalúrgico.

En cualquiera de los procesos mencionados, inicialmente se requiere tostar el concentrado de mineral obtenido en las minas.

En el tostado, el concentrado de mineral de zinc, consistente fundamentalmente de sulfuro de este metal, se somete a combustión en presencia de oxígeno, a fin de convertir el sulfuro en óxido y eliminar el azufre en forma de bióxido de azufre.

En el caso del proceso pirometalúrgico, se requieren de dos pasos adicionales para obtener el zinc.

El primero de ellos es el sinterizado, el cual es muy similar al utilizado en la producción de plomo, consistiendo en la mezcla del producto calcinado de la operación de tostado, con coque para efectuar la reducción del óxido de zinc.

Dada la volatilidad de este metal, durante el sinterizado parte del mismo se sublima y debe de recuperarse de los gases del proceso.

Como segundo paso, el zinc impuro procedente del sinterizado se tiene que refinar mediante sublimación en hornos de retorta.

En este equipo, el metal impuro se coloca en una retorta construida de cerámica refractaria, donde, por calor externo se promueve la volatilización del zinc, los humos y vapores de zinc son condensados en cámaras de condensación construidas con material cerámico recibiendo el metal en la parte inferior de las mismas.

En el caso del proceso Hidrometalúrgico, se requieren, en adición al tostado inicial, de tres pasos complementarios:

- Lixiviación.
- Purificación
- Electrólisis

En el primer paso, el concentrado calcinado, se trata con ácido sulfúrico de las celdas electrolíticas y se sedimenta la suspensión resultante en un sedimentador.

En el segundo paso, el lixiviado clarificado, se trata con más concentrado calcinado o con cal, para precipitar impurezas como fierro, sílice o arsénico, procediéndose a su concentración por sedimentación.

El lixiviado, nuevamente clarificado, se trata con polvo de zinc para eliminar el cadmio presente el cual es precipitado y eliminado por sedimentación.

Finalmente en el tercer paso, el lixiviado clarificado se somete a electrólisis utilizando ánodo de plomo y cátodos de aluminio(17). Ver figura 12 en diagramas.

2.1.9. GENERACIÓN DE RESIDUOS POR LA INDUSTRIA METALÚRGICA NO FERROSA

En todos los procesos involucrados en la metalurgia no ferrosa se generan residuos al aire, agua y suelo, la disposición final de todos los residuos generales será el suelo, ya sea en forma de polvos, lodos o sólidos(17).

- Escoria de fundición(Pb, Cu,Sn,).
- Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales(Zn,Pb,Cu)
- Polvos metálicos procedentes de equipos de control de emisiones atmosféricas(Zn, Pb., Cd).
- Licores agotados de los baños electrolíticos utilizados por este sector industrial.
- Aceites industriales utilizados en las operaciones de terminado o manejo del metal.
- Lubricantes usados de los equipos.
- Residuos de refractarios contaminados con escorias.
- Residuos de arenas de fundición contaminados con escorias.
- Materiales de mantenimiento contaminados de aceites lubricantes.

2.1.10. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PROCESOS Y LOS TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS

Aquí se describirán brevemente algunos de los procesos industriales que generan con mayor frecuencias residuos peligrosos

2.1.11. FUNDIDORAS DE HIERRO, ACERO Y HIERRO DÚCTIL

Las etapas importantes por la generación de residuos en el proceso de la fundición de hierro, acero y hierro dúctil, son la fabricación de los moldes compuestos de arena y diferentes aglutinantes (moldeo), la fundición de los metales, el vaciado del metal líquido en los moldes, la limpieza de las piezas fundidas y la recirculación de las arenas gastadas.

La fundición en lingotes consiste en un vaciado en moldes permanentes de acero, de hierro fundido resistentes a altas temperaturas o de otros metales enfriados con un sistema alterno, de formas geométricas muy sencillas y requeridas en grandes cantidades. Por lo anterior, este tipo de fundición se aplica solo en pequeñas proporciones.

La evaluación de la información proporcionada por conceptos de manejo de residuos para las Fundidoras de hierro, acero y hierro dúctil permitió dividir el proceso de producción en etapas y procesos técnicos de trabajo, que se presentan a continuación, indicando los correspondientes tipos de residuos. En diferentes Fundidoras los residuos son mezclados y no es posible agruparlos dentro de un solo paso de proceso(19).

FUNDIDO

El fundido de los metales se lleva a cabo en hornos de calentamiento (hornos de cubilote, hornos de inducción, hornos eléctricos) con incorporación de diferentes elementos de aleación y sustancias adicionales. Para el vaciado del metal, cuya temperatura puede estar naturalmente por encima del punto de fusión este se transfiere a un caldero. Los residuos generados en esta etapa son escorias, pedacería de material refractario y otros, materiales, que entre otros, se nombran en las empresas Fundidoras bajo los siguientes conceptos:

Residuos Generados en el Proceso de Fundición de Hierro, Acero y Hierro Dúctil

Polvos	Tierras de recuperación
Escorias	Escorias de fundición
Lodos	Lodos con contenido de metales del lavador de gases
Materiales gastados de producción	Piedra caliza, material refractario del horno, ladrillo y arenas de crisoles.

Actualmente los residuos generados son depositados tanto en basureros que no cuentan con medidas de seguridad, o también en rellenos sanitarios con sistema de impermeabilización y recolección de lixiviados(19).

MOLDES DE ARENA

En la fabricación de los moldes de arena se generan restos de material que contienen aglutinantes no endurecidos todavía. Durante el vaciado se generan escorias y restos de metales. En el desmolde se generan arenas gastadas que estaban expuestas a diferente tensión térmica. Durante el proceso de fundición, las arenas de corazones están más expuestas a tensiones y efectos térmicos por lo cual presentan granos fracturados y aglutinantes quemados. Las arenas de moldeo, excepto de algunas áreas no son tan expuestas a tensiones y efectos térmicos por lo cual son más aptos a un proceso de recuperación. Por este motivo, las cajas de moldeo y las arenas de corazones deben mantenerse, en la medida de lo posible, separadas, en especial cuando contienen diferentes aglutinantes(19).

Residuos Generados Durante el Proceso de la Fabricación de Moldes de Arena

Arenas de la fundición	Arenas quemadas o gastadas del desmoldeo, arenas de corazones, arenas de moldeo, arena sílica quemada o gastadas.
Escorias	Escorias de fundición de hierro y acero

ESMERILADO Y PULIDO

La limpieza de las piezas fundidas se realiza con esmerilado y pulido, así como impactandolas con arena sand-blast o partículas metálicas (granallado), generando los polvos presentados en la tabla siguiente.

Residuos Generados Durante el Proceso de Limpieza de Piezas Fundidas en la Fundición de Hierro, Acero y Hierro Dúctil

Polvos	De hierro mezclado, polvos de granallado y del sand-blast, residuos metálicos de operaciones de esmerilado, residuos del pulido (pasta y pelusa de tela), cepillos impregnados de pasta y metales.
--------	--

Residuos comunes de todas las áreas de la planta fundidora.

En el manejo de la maquinaria o el mantenimiento de la misma, especialmente de las mallas de cribado, mezcladora de arena, prensas, pulidoras y esmeriles se generan utensilios de trabajo impregnados con aceite y grasas como trapos, estopas, guantes(19).

2.1.12.ESPECIFICACIONES, CONDICIONES, PROCEDIMIENTOS Y REQUISITOS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS DE LA INDUSTRIA SIDERURGICA.

a) RECOLECCIÓN INTERNA

Una de las acciones fundamentales para lograr un reuso o reciclaje adecuado de residuos aprovechables requiere de su segregación desde la fuente, por ello, se proponen las siguientes lineamientos de recolección interna:

- Los residuos generados por la industria siderúrgica deberán de recolectarse en forma segregada desde su origen.
- Cada área generadora de residuos deberá de contar con los contenedores adecuados para el tipo de residuos correspondiente.
- Los contenedores deberán de tener la capacidad requerida para almacenar los residuos en su localización, en base a la frecuencia de recolección interna de los mismos.
- Los contenedores deberán de construirse con material compatible y resistente a cada tipo de residuos.
- En el caso de residuos cuya generación haga necesario almacenarlos "in situ" a cielo abierto, deberán de construirse con piso impermeable para evitar la posible migración de lixiviados hacia cuerpos subterráneos de agua.
- Los contenedores deberán de identificarse en forma clara e inequívoca para evitar la mezcla de residuos.
- En el caso de contenedores de residuos líquidos deberán de contar con diques de contención secundaria para poder captar cualquier derrame de los mismos.
- En el caso de contenedores de residuos sólidos deberán ubicarse en sitios con piso de material impermeable para evitar la contaminación del suelo con cualquier residuo que se pudiese depositar accidentalmente en el piso.
- La recolección de los residuos de los contenedores deberá de realizarse en forma adecuada, manteniendo su segregación, utilizando equipo de transporte que evite su dispersión o derrame durante el traslado de los mismos a su sitio de almacenamiento temporal en la instalación generadora.
- En el caso de residuos depositados a granel en la zona de generación, su transporte a su almacenamiento temporal deberá de realizarse con equipo que evite su dispersión o derrame durante su traslado, en su caso se utilizarán transportes cerrados o con cobertura para evitar emisiones fugitivas de partículas.
- El traslado de contenedores móviles deberá de realizarse con cuidado para evitar su maltrato mecánico y con ello posibles derrames o fugas.
- En el caso de residuos líquidos su transporte deberá de realizarse en contenedores cerrados.

b) ALMACENAMIENTO TEMPORAL EN LAS INSTALACIONES GENERADORAS

El almacenamiento temporal de los residuos en las instalaciones generadoras tiene por objeto e integrar cantidad de residuo que justifiquen económicamente su reuso o reciclaje o su traslado a la planta de tratamiento o sitio de disposición final, considerando la naturaleza de riesgo de los residuos a almacenar, en su diseño, construcción y operación deberán de seguirse los siguientes lineamientos:

- Con e fin de minimizar riesgos deberá de buscarse el minimizar en lo posible el número de sitios de almacenamiento temporal dentro de las instalaciones generadoras; sin embargo por las características de los mismos se considera adecuado el mantener áreas segregadas para residuos de generación masiva que se almacenen en zonas abiertas.
- El almacenamiento compartido de residuos se podrá llevar a cabo en él caso de que sean compatibles.
- La ubicación de los sitios de almacenamiento temporal de residuos peligrosos de la industria siderúrgica deberá de ubicarse dentro de las instalaciones correspondientes, en zonas donde no gneren restos potenciales de efecto "dominó", ni afecten posibles planes de atención a contingencias ambientales.
- Los sitios de almacenamiento temporal de residuos peligrosos deberán de contar con piso de material impermeable y drenaje segregado, con cárcamo independiente, que permita en su caso, la recuperación de un derrame o fuga de residuo, así como el control de posibles lixiviados.
- Los sitios de almacenamiento compartido de residuos peligrosos deberán de contar, para el almacenamiento de contenedores de residuos líquidos con diques de contención de cualquier derrame.
- Únicamente se podrán construir diques compartidos por dos o más residuos, en el caso de que dichos residuos sean totalmente compatibles.
- Los residuos que puedan reaccionar con agua o que puedan generar lixiviados con el agua deberán, en lo posible, de ser almacenados bajo techo para evitar el contacto del agua de lluvia con ellos.
- La operación de las instalaciones de almacenamiento temporal de residuos peligrosos deberán cumplir con los lineamientos establecidos, en materia de bitácoras e informes.
- Las instalaciones de almacenamiento temporal de residuos peligrosos deberán de contar con un plan de atención de accidentes que contemple las acciones a realizar para enfrentar derrames, fugas y otros eventos accidentales.

c) RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

La recolección y transporte de los residuos peligrosos se llevará a cabo con objeto de su reciclaje o reuso en otras instalaciones industriales, su tratamiento para eliminación o reducción de su naturaleza peligrosa o su disposición final ecológicamente aceptable. Durante esta etapa se deberán de aplicar los siguientes lineamientos:

- La recolección de los residuos deberá de llevarse a cabo con la periodicidad que permita un manejo económico de los mismos.

- El tipo de vehículo de transporte a utilizarse para el traslado de los residuos peligrosos deberá de asegurar su integridad, evitando posibles derrames o emisión de polvos fugitivos durante el recorrido a su destino.
- Los transportes de residuos peligrosos deberán de cumplir con lo establecido en el Reglamento correspondiente.
- Los transportes de residuos peligrosos deberán transportar en forma simultánea residuos incompatibles.

d) TRATAMIENTO

El tratamiento de los residuos peligrosos de la industria siderúrgica tendrá con objeto su pasivación para su disposición final ecológicamente adecuada o su posibilidad de reuso o reciclaje.

En el caso de los tratamientos a aplicar se deberán seguir los siguientes lineamientos:

- Los residuos contaminados con zinc, plomo u otros metales pesados tóxicos, se podrán estabilizar mediante tratamiento químico que asegure la conversión de estos metales a sales insolubles de agua. La selección del proceso de estabilización dependerá fundamentalmente de la magnitud de la contaminación y por ello de la posibilidad de recuperación de metal reciclaje, o por lo contrario la necesidad de disponer en forma segura de estos residuos.
- Los residuos de la industria siderúrgica que contengan aceites o solventes usados deberán de tratarse para eliminar o separar dichos aceites y solventes para su posible reuso.
- Las soluciones utilizadas en las operaciones hidrometalúrgicas se deberán de tratar con un reactivo capaz de neutralizar el carácter ácido o básico de las mismas, así como estabilizar los iones en solución a formas insolubles en medio acuosos.

e) DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final de los residuos peligrosos de la industria siderúrgica tendrá como objeto el eliminarlos, en forma ecológicamente segura, de las cadenas productivas. La disposición final de los residuos podrá efectuarse por su depositación en un confinamiento controlado.

En la disposición final de los residuos peligrosos deberán aplicarse los siguientes lineamientos:

- La ubicación de los confinamientos controlados a ser utilizados para la disposición de residuos peligrosos deberá cumplir con los requerimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas correspondientes.
- La operación de los confinamientos controlados a ser utilizados para la disposición de residuos peligrosos deberá cumplir con los lineamientos establecidos en la norma oficial mexicana correspondiente.

f) MINIMIZACIÓN DE GENERACIÓN

La Minimización de la generación de residuos en la industria siderúrgica tiene como objeto el reducir tanto los volúmenes de residuos a manejar como la peligrosidad de los mismos; adicionalmente, la reducción de la generación de residuos deberá de incidir en una reducción de costos de proceso y de manejo y disposición de residuos.

La Minimización de residuos deberá de considerar los siguientes lineamientos:

- Deberá buscarse en general la utilización de materias primas de alta calidad a fin de reducir la generación de residuos originados en las impurezas presentes en las materias primas. El incremento e costos de estas materias primas de mayor calidad sé vera compensado por la reducción de la generación de residuos y sus costos asociados, así como por la obtención de productos de mejor calidad y por ello, mejor precio.
- Deberá de promoverse la modernización de la industria siderúrgica a fin de sustituir los procesos productivos obsoletos por proceso más limpios. Esta modernización es imperativa, no solo por los aspectos ambientales involucrados sino sobre todo por la necesidad de incrementar eficiencia y calidad ante la apertura de mercado en México.
- Deberán de optimarse las practicas de operación y mantenimiento para reducir la generación de residuos.
- Deberá de mantenerse una estricta segregación de residuos.
- Deberá de promoverse el enfriamiento indirecto de equipos para evitar la contaminación del agua de enfriamiento.
- Deberá de incrementarse el reuso de materiales dentro de los procesos productivos.
- En las operaciones de cambio de refractarios por mantenimiento, se deberá de tener cuidado al quitar el refractario usado para poder reusar las piezas no dañadas.

g) REUSO Y RECICLAJE

El reuso y reciclaje de los residuos generados por la industria siderúrgica tiene como objeto el reducir las cantidad y volumen de residuos por tratar o disponer en forma segura, adicionalmente esta practica puede originar beneficios económicos adicionales.

El reuso o reciclaje de residuos de la industria metalúrgica no ferrosa deberá de considerar los siguiente lineamientos.

- El reuso o reciclaje de residuos exige un sistema de recolección segregada eficaz.
- Se deberá de promover en primera instancia el reuso y reciclaje "in situ" para evitar problemas de transportación de los residuos.
- El reuso de los residuos deberá orientarse usos que permitan su disposición sin crear problemas secundarios al ambiente.
- Deberá de establecerse una bolsa de residuos que permita el intercambio de información entre los generadores de residuos de la industria metalúrgica no ferrosa y los probables sectores económicos que pueden reusar sus residuos.
- Las autoridades ambientales o industriales serán las responsables de esta bolsa, la cual funcionaria como un banco de datos donde se integraría la información sobre los

generadores de estos residuos, así como la información del tipo de residuos, sus características, sus propiedades físicas y químicas, su generación mensual, etc.

2.1.13. FUNDIDORAS DE METALES NO FERROSOS

En las Fundidoras de metales no ferrosos se utilizan principalmente aluminio, bronce, plomo y zinc. Los procesos de fundición más frecuentemente usados son, por una parte el vaciado en moldes de arena, y por otro la fundición a presión, en el cual el metal ya líquido se prensa en moldes de acero. Los residuos generados por estos procesos son principalmente natas y escorias. Especialmente en el proceso de fundición a presión con instalaciones separadas de horno de fundición y maquina de inyección, la generación de escorias es muy alta, puesto que la instalación de fundido y la fundición a presión se encuentran separadas(19).

a) FUNDICION DE METAL NO FERROSO

La fundición de los diferentes metales se lleva a cabo en hornos de crisol, de cubilote, de piso, de inducción, eléctrico o de reverbero(19).

Los residuos generados se presentan en la siguiente tabla.

Residuos Generados al Fundir los Metales en Fundidoras de Metales No Ferrosos

Polvos	Polvos recolectados del horno
Escorias	Escorias bronce, aluminio, cobre, estaño, zinc y escorias de aleaciones como latón y bronce.
Lodos	Lodos del lavador de gases
Materiales gastados de producción	Material refractario, piedra caliza, ladrillo, padecería.

b) VACIADO

En caso de que se empleen moldes de arena para las piezas a fundir, el tipo de arenas quemadas que se generan es comparable a las generadas en la fundición de hierro, acero y hierro dúctil, salvo que estas contienen residuos de metales pesados.

En el proceso de fundición a presión se generan otro tipo de residuos. Si la instalación de fundición se encuentra separada de la de inyección y el metal líquido se transfiere del caldero de fusión hacia la inyección manualmente con una cuchara, la cantidad de natas y escorias se incrementa considerablemente. Ya que en el momento de extraer el metal, la nata que se encuentra en la superficie del metal fundido se debe apartar

y consecuentemente se forma inmediatamente una nueva capa de natas sobre la superficie del metal reluciente que se mezcla con la nata ya existen y aumenta de esta forma el volumen de residuos.

Si el horno de fundición y el área de inyección se encuentran en una misma instalación, se evita la formación de escorias.

Los residuos generados actualmente del área de la fundición son principalmente arenas quemadas, escorias y natas.

Residuos Generados en el Vaciado Durante el Proceso de Fundición de Metales no Ferrosos

Arenas	Arenas de corazón, arenas quemadas o gastadas de desmoldeo, arena sílica mezclada con bentonita y arena sílica recubierta con resinas fenólicas.
Escorias	Escorias de aluminio, cobre plomo estaño y zinc y escorias de bronce, latón, natas de aluminio.
Restos de metales	Rebaba y recorte de metales.
Medios de producción gastadas	Crisoles de carburo de silicio y fibras cerámicas.
Aceites y/o materiales impregnados con aceite	Aceites lubricantes de mantenimiento gastados y desmoldantes.

C) ESMERILADO Y PULIDO

En la tabla siguiente se presentan los residuos generados en procesos mecánicos como esmerilado, pulido y afilado de los metales. La mayor parte de las partículas metálicas que se generan son directamente reincorporadas al proceso de fundición.

Residuos Generados en la Limpieza de las Piezas Fundidas en Fundidoras de Metales No Ferrosos

Polvos	Polvos y pelusas
Residuos de maquinado	Restos de esmerilado
Residuos de metales	Rebaba de ductos de inyección, chatarra, recortes y rebaba de los diferentes aleaciones.
Aceites o utensilios de trabajo impregnados con aceite	Trapos, estopas y guantes viejos de lona usados.

2.1.14 ESPECIFICACIONES, CONDICIONES, PROCEDIMIENTOS Y REQUISITOS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS DE LA INDUSTRIA METALURGIA NO FERROSA

a) RECOLECCIÓN INTERNA

Una de las acciones fundamentales para lograr un reuso o reciclaje adecuado de residuos aprovechables requiere de su segregación desde la fuente, por ello, se proponen las siguientes lineamientos de recolección interna:

- Los residuos generados por la industria metalúrgica no ferrosa deberán de recolectarse en forma segregada desde su origen.
- Cada área generadora de residuos deberá de contar con los contenedores adecuados para el tipo de residuos correspondiente.
- Los contenedores deberán de tener la capacidad requerida para almacenar los residuos en su localización, en base a la frecuencia de recolección interna de los mismos.
- Los contenedores deberán de construirse con material compatible y resistente a cada tipo de residuos.
- En el caso de residuos cuya generación haga necesario almacenarlos "in situ" a cielo abierto, deberán de construirse con piso impermeable para evitar la posible migración de lixiviados hacia cuerpos subterráneos de agua.
- Los contenedores deberán de identificarse en forma clara e inequívoca para evitar la mezcla de residuos.
- En el caso de contenedores de residuos líquidos deberán de contar con diques de contención secundaria para poder captar cualquier derrame de los mismos.
- En el caso de contenedores de residuos sólidos deberán ubicarse en sitios con piso de material impermeable para evitar la contaminación del suelo con cualquier residuo que se pudiese depositar accidentalmente en el piso.
- La recolección de los residuos de los contenedores deberá de realizarse en forma adecuada, manteniendo su segregación, utilizando equipo de transporte que evite su dispersión o derrame durante el traslado de los mismos a su sitio de almacenamiento temporal en la instalación generadora.
- En el caso de residuos depositados a granel en la zona de generación, su transporte a su almacenamiento temporal deberá de realizarse con equipo que evite su dispersión o derrame durante su traslado, en su caso se utilizarán transportes cerrados o con cobertura para evitar emisiones fugitivas de partículas.
- El traslado de contenedores móviles deberá de realizarse con cuidado para evitar su maltrato mecánico y con ello posibles derrames o fugas.
- En el caso de residuos líquidos su transporte deberá de realizarse en contenedores cerrados(17).

b) ALMACENAMIENTO TEMPORAL EN LAS INSTALACIONES GENERADORAS

El almacenamiento temporal de los residuos en las instalaciones generadoras tiene por objeto e integrar cantidad de residuo que justifiquen económicamente su reuso o reciclaje o su traslado a la planta de tratamiento o sitio de disposición final, considerando la naturaleza de riesgo de los residuos a almacenar, en su diseño, construcción y operación deberán de seguirse los siguientes lineamientos:

- El dimensionamiento de las instalaciones de almacenamiento temporal de residuos peligrosos en las instalaciones de la industria metalúrgica no ferrosa generadores de los mismos, deberá de sustentarse en la determinación de las cantidades económicamente factibles de ser reusadas o recicladas o de ser enviadas a una planta de tratamiento o a un sitio de disposición final.
- Con el fin de minimizar riesgos deberá de buscarse el minimizar en lo posible el número de sitios de almacenamiento temporal dentro de las instalaciones generadoras; sin embargo por las características de los mismos se considera adecuado el mantener áreas segregadas para residuos de generación masiva que se almacenen en zonas abiertas.
- El almacenamiento compartido de residuos se podrá llevar a cabo en él caso de que sean compatibles.
- La ubicación de los sitios de almacenamiento temporal de residuos peligrosos de la industria metalúrgica no ferrosa deberá de ubicarse dentro de las instalaciones correspondientes, en zonas donde no generen restos potenciales de efecto "dominó", afecten posibles planes de atención a contingencias ambientales.
- Los sitios de almacenamiento temporal de residuos peligrosos deberán de contar con piso de material impermeable y drenaje segregado, con cárcamo independiente, que permita en su caso, la recuperación de un derrame o fuga de residuo, así como el control de posibles lixiviados.
- Los sitios de almacenamiento compartido de residuos peligrosos deberán de contar, para el almacenamiento de contenedores de residuos líquidos con diques de contención de cualquier derrame.
- Únicamente se podrán construir diques compartidos por dos o más residuos, en el caso de que dichos residuos sean totalmente compatibles.
- Los residuos que puedan reaccionar con agua o que puedan generar lixiviados con el agua deberán, en lo posible, de ser almacenados bajo techo para evitar el contacto del agua de lluvia con ellos.
- La operación de las instalaciones de almacenamiento temporal de residuos peligrosos deberán cumplir con los lineamientos establecidos, en materia de bitácoras e informes.
- Las instalaciones de almacenamiento temporal de residuos peligrosos deberán de contar con un plan de atención de accidentes que contemple las acciones a realizar para enfrentar derrames, fugas y otros eventos accidentales(19).

c) RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

La recolección y transporte de los residuos peligrosos se llevará a cabo con objeto de su reciclaje o reuso en otras instalaciones industriales, su tratamiento para eliminación o reducción de su naturaleza peligrosa o su disposición final ecológicamente aceptable.

Durante esta etapa se deberán de aplicar los siguientes lineamientos:

- La recolección de los residuos deberá de llevarse a cabo con la periodicidad que permita un manejo económico de los mismos.
- El tipo de vehículo de transporte a utilizarse para el traslado de los residuos peligrosos deberá de asegurar su integridad, evitando posibles derrames o emisión de polvos fugitivos durante el recorrido a su destino.
- Los transportes de residuos peligrosos deberán de cumplir con lo establecido en el Reglamento correspondiente.
- Los transportes de residuos peligrosos deberán transportar en forma simultánea residuos incompatibles(19).

d) TRATAMIENTO

El tratamiento de los residuos peligrosos de la industria metalúrgica no ferrosa tendrá con objeto su pasivación para su disposición final ecológicamente adecuada o su posibilidad de reuso o reciclaje.

En el caso de los tratamientos a aplicar se deberán seguir los siguientes lineamientos:

- Los residuos peligrosos que contengan metales pesados tóxicos en concentraciones lixiviables mayores de la establecidas como limite permisible en la norma oficial mexicana correspondiente, deberán de recibir tratamiento para la eliminación o estabilización de dichos metales.
- Los residuos peligrosos contaminados con zinc, plomo u otros metales sublimables, se podrán tratar por medios térmicos para sublimar dichos metales los cuales se recuperan para su posible reuso, reciclaje o estabilización.
- Los residuos contaminados con zinc, plomo u otros metales pesados tóxicos, se podrán estabilizar mediante tratamiento químico que asegure la conversión de estos metales a sales insolubles de agua. La selección del proceso de estabilización dependerá fundamentalmente de la magnitud de la contaminación y por ello de la posibilidad de recuperación de metal reciclaje, o por lo contrario la necesidad de disponer en forma segura de estos residuos.
- Los residuos de la industria metalúrgica no ferrosa que contengan aceites o solventes usados deberán de tratarse para eliminar o separar dichos aceites y solventes para su posible reuso.
- Las soluciones utilizadas en las operaciones hidrometalurgicas se deberán de tratar con un reactivo capaz de neutralizar el carácter ácido o básico de las mismas, así como estabilizar los iones en solución a formas insolubles en medio acuosos(17).

e) DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final de los residuos peligrosos de la industria metalurgia no ferrosa tendrá como objeto él eliminarlos, en forma ecológicamente segura, de las cadenas productivas.

La disposición final de los residuos podrá efectuarse por su depositación en un confinamiento controlado o por su destrucción total por medio de la incineración o combustión.

En la disposición final de los residuos peligrosos deberán aplicarse los siguientes lineamientos:

- Los residuos peligrosos en estado sólido, procedentes de la industria metalúrgica, una vez pasivizados, deberán de disponerse en un confinamiento controlado aprobado por las autoridades ambientales.
- La ubicación de los confinamientos controlados a ser utilizados para la disposición de residuos peligrosos deberá cumplir con los requerimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas correspondientes.
- La operación de los confinamientos controlados a ser utilizados para la disposición de residuos peligrosos deberá cumplir con los lineamientos establecidos en la norma oficial mexicana correspondiente.
- Los residuos sólidos no peligrosos de la industria metalúrgica no ferrosa podrán depositarse en sitios de disposición final de residuos municipales o en sitios de disposición específica de residuos industriales no peligrosos(19).

f) MINIMIZACIÓN DE GENERACIÓN

La Minimización de la generación de residuos en la industria metalúrgica no ferrosa tiene como objeto el reducir tanto los volúmenes de residuos a manejar como la peligrosidad de los mismos; adicionalmente, la reducción de la generación de residuos deberá de incidir en una reducción de costos de proceso y de manejo y disposición de residuos.

La Minimización de residuos deberá de considerar los siguientes lineamientos:

- Deberá buscarse en general la utilización de materias primas de alta calidad a fin de reducir la generación de residuos originados en las impurezas presentes en las materias primas. El incremento e costos de estas materias primas de mayor calidad sé vera compensado por la reducción de la generación de residuos y sus costos asociados, así como por la obtención de productos de mejor calidad y por ello, mejor precio.
- Deberá de promoverse la modernización de la industria metalúrgica no ferrosa a fin de sustituir los procesos productivos obsoletos por proceso más limpios. Esta modernización es imperativa, no solo por los aspectos ambientales involucrados sino sobre tofo por la necesidad de incrementar eficiencia y calidad ante la apertura de mercado en México.

- Deberán de optimarse las practicas de operación y mantenimiento para reducir la generación de residuos.
- Deberá de mantenerse una estricta segregación de residuos.
- Deberá de promoverse el enfriamiento indirecto de equipos para evitar la contaminación del agua de enfriamiento.
- Deberá de incrementarse el reuso de materiales dentro de los procesos productivos.
- En las operaciones de cambio de refractarios por mantenimiento, se deberá de tener cuidado al quitar el refractario usado para poder reusar las piezas no dañadas(17).

g) REUSO Y RECICLAJE

El reuso y reciclaje de los residuos generados por la industria metalúrgicas no ferrosa tiene como objeto el reducir las cantidad y volumen de residuos por tratar o disponer en forma segura, adicionalmente esta practica puede originar beneficios económicos adicionales.

El reuso o reciclaje de residuos de la industria metalúrgica no ferrosa deberá de considerar los siguiente lineamientos.

- El reuso o reciclaje de residuos exige un sistema de recolección segregada eficaz.
- Se deberá de promover en primera instancia el reuso y reciclaje "in situ" para evitar problemas de transportación de los residuos.
- El reuso de los residuos deberá orientarse usos que permitan su disposición sin crear problemas secundarios al ambiente.
- Deberá de establecerse una bolsa de residuos que permita el intercambio de información entre los generadores de residuos de la industrias metalúrgica no ferrosa y los probables sectores económicos que pueden reusar sus residuos.
- Las autoridades ambientales o industriales serán las responsables de esta bolsa, la cual funcionaria como un banco de datos donde se integraría la información sobre los generadores de estos residuos, así como la información del tipo de residuos, sus características, sus propiedades físicas y químicas, su generación mensual, etc.(6)

La industria de la fundición es uno de los sectores industriales que produce la mayor contaminación atmosférica (ONUFI, 1996). Las emisiones provenientes de los hornos de cubilote incluyen materiales orgánicos e inorgánicos tóxicos que se emiten directa o directamente. Las emisiones inorgánicas incluyen arsénico, plomo y cobre.

CAPÍTULO 3

3. TRATAMIENTOS QUÍMICOS PARA LOS RESIDUOS PELIGROSOS QUE CONTIENEN METALES PESADOS

El objetivo de estos tratamientos de residuos peligrosos es la remoción de metales a fin de evitar daños a los suelos y al medio ambiente.

Para amortiguar las propiedades de los residuos conteniendo metales, como lo marca la legislación ambiental vigente en nuestro país, no se debe confinar a los desechos si haberles aplicado un tratamiento previo; esto tienen como finalidad el disminuir las propiedades que lo hacen dañino al medio ambiente.

Los procesos químicos que a continuación se mencionan, sirven de base para las tecnologías de tratamiento de los residuos conteniendo metales(Fe, Al, Pb, Cu, Zn) que se encuentran en forma de líquidos, sólidos o lodos(16):

- Precipitación Química.
- Reducción.
- Oxidación.
- Neutralización.

3.1. PRECIPITACIÓN QUÍMICA

La precipitación química es un proceso por el cual una sustancia soluble se convierte en insoluble ya sea por una reacción química o por cambios en la composición de solvente para disminuir la solubilidad de las sustancias en él. Los sólidos precipitados pueden separarse por sedimentación y/o filtración. Se usa comúnmente la precipitación para reducir la dureza del agua por remoción de calcio y magnesio. El tratamiento de los residuos peligrosos el proceso tiene una amplia aplicación para la remoción de metales tóxicos de residuos acuosos(3).

3.1.1. APLICACIONES A LOS RESIDUOS PELIGROSOS

La precipitación es aplicable al tratamiento de los residuos peligrosos acuosos que contengan constituyentes tóxicos que puedan convertirse en insolubles.

Esto comprende residuos que contiene los metales arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio y zinc.

Otros residuos acuosos que comúnmente contienen metales y pueden removerse por precipitación, son los residuos corrosivos y el licor del baño químico de metales gastados en las operaciones de acabado del acero en la industria del hierro y el acero.

Las fuentes principales de residuos que contienen metales son las industrias de galvanizado y pulimento de metales, acero y metales no ferrosos, pigmentos inorgánicos de minería y las industrias electrónicas, así como también se generan de la limpieza de los sitios con residuos peligrosos, como el lixiviado o el agua subterránea contaminada(16).

3.1.2. EQUIPO

Normalmente los sistemas de precipitación requieren de un sistema de mezclado rápido, de un sistema de floculación y tanque de sedimentación. Los mezcladores rápidos están contruidos para tiempos de retención de 30 segundos. Y para crear la suficiente turbulencia para mezclar uniformemente los compuestos y reactivos. La unidad de floculación esta diseñada para un mezclado lento con tiempos de retención de 20 segundos aproximadamente. Estas unidades tienen por objeto la formación del precipitado y su crecimiento por lo que las velocidades durante el paso al sedimentador debe tenerse cuidado en no romper las partículas floculadas. Adicionalmente pueden requerirse sistemas auxiliares para ajuste de pH y/o eliminación de cianuros(10).

3.1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En el proceso de precipitación química se adiciona un precipitante químico al metal contenido en los residuos acuosos, esto se lleva a cabo en un tanque de reacción con agitación. Los metales disueltos se convierten en insolubles por una reacción química entre los compuestos metálicos solubles y el precipitante. Los sólidos suspendidos resultantes se separan por sedimentación en un clasificador. Para mejorar la remoción de los sólidos suspendidos, se puede realizar una floculación, con o sin un coagulante químico(30). Ver figura 6 en el apartado de diagramas.

La elección del reactivo es la primera consideración en la precipitación de metales pesados, la segunda consideración es la solubilidad, ya que la precipitación depende del producto de la solubilidad del compuesto indeseable (el metal que va a separarse) Debido a que la solubilidad se afecta por la temperatura, también es un factor importante en este tipo de reacciones.

Es importante para los objetivos de esta tecnología de tratamiento considerar las sig. reglas de solubilidad que indican la solubilidad en agua de los compuestos inorgánicos comunes. Las sales de sodio, potasio y amonio son solubles. Los nitratos, nitritos, cloratos y acetatos son solubles; el nitrito de plata es relativamente poco soluble.

Los tóxicos e hidróxidos metálicos son insolubles, excepto los de metales alcalinos(sodio, potasio y también amonio) y el bario, los óxidos e hidróxidos de estroncio y calcio son relativamente poco solubles.

Los sulfuros son insolubles, excepto los alcanos, alcalinoterreos (calcio, estroncio, bario) y magnesios.

Los cloruros, bromuros y yoduros son solubles, excepto los de plata, mercurio y plomo, el yoduro de mercurio es también insoluble.

Los fluoruros son solubles, excepto los alcalinos y los de plata, bismuto, hierro y estaño.

Los sulfatos son solubles excepto los de plomo, bario y estroncio; los sulfatos de calcio y plata relativamente poco solubles.

Los cromatos son insolubles excepto los alcalinos y el calcio, magnesio y cinc.

Los carbonatos, sulfitos, fosfatos, arseniados, arsenitos, boratos y oxalatos son insolubles, excepto los de metales alcalinos (las sales insolubles de estos aniones son solubles en ácidos).

El estado de valencia también influye en el proceso. Por ejemplo. El hierro ferroso es considerablemente más soluble que el hierro férrico, por lo que se realiza un tratamiento con un agente oxidante para convertir el hierro ferroso a férrico. Otro ejemplo. Es el cromo hexavalente, que es mucho más soluble que la menos peligrosa forma trivalente. Los cromatos deben reducirse antes de separar el cromo trivalente por el proceso de precipitación. Se deben considerar la posibilidad de que formen complejos cuando se tratan aguas residuales que contengan amoníaco, fluoruro, cianuro o metales pesados, Como por ejemplo. El hierro puede complejarse como ion ferrocianuro que es bastante soluble y permanecerá en solución a menos que el complejo pueda romperse por tratamiento químico.

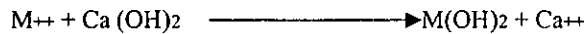
Existen diferentes precipitaciones químicas para la remoción de metales pesados de los residuos acuosos. La precipitación de hidróxidos utilizando cal como precipitación es el método mas empleado, la mayoría de los metales también pueden precipitarse como sulfuros y algunos de ellos como carbonatos. Un agente reductor como el borohidruro de sodio puede reducir y precipitar metales en su estado elemental(3).

3.1.4. PRECIPITACIÓN DE HIDRÓXIDOS

Hay dos razones por las cuales la separación de elementos como hidróxidos son tan extensamente aplicables.

1. Hay diferencias grandes entre las solubilidades de los hidróxidos metálicos.
2. La utilización de reguladores de pH permite ajustar el pH a un valor predeterminado y constante con objeto de efectuar la separación.

La precipitación de hidróxidos utiliza como precipitante el hidróxido de calcio (cal) o hidróxido de sodio (sosa cáustica) para remover los metales como hidróxidos metálicos insolubles. La reacción se ilustra por la sig. ecuación, para la precipitación de metales bivalentes usando cal (29).



Los niveles de concentración del efluente pueden conseguir la precipitación de hidróxidos dependiendo de los metales presentes, el precipitante empleado; Las condiciones de reacción, especialmente el pH y la presencia de otros materiales que pueden inhibir la precipitación.

En el efluente se alcanzan concentraciones de metales presentes menores de 1.0mg/litro y en ocasiones menores de 0.1mg/litro, aproximándose a las solubilidades teóricas.

Los hidróxidos metálicos son anfotéricos; por ejemplo. Su solubilidad se va incrementando en bajos y altos pH's y el punto de mínima solubilidad (pH óptimo para la precipitación) se presenta a diferentes valores de pH para todos los metales. A un pH donde la solubilidad de un hidróxido metálico puede ser mínima, en otro puede ser relativamente alta. En la mayoría de los casos, un pH entre 9 y 11, seleccionando en base a pruebas o experiencias de operación con el residuo, produce una calidad de efluente aceptable.

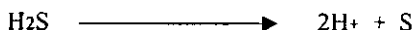
Para residuos que contengan varios metales, pueden requerirse en más de un estado de precipitación con diferentes puntos de control de pH para remover todos los metales de interés a los niveles deseados. De otra manera se requerirá de un precipitado alternativo.

Una aplicación de este método de precipitación de hidróxidos se observa en el cromo aunque este requiere de un pre-tratamiento para reducir el cromo hexavalente a su forma trivalente y poder así incrementar el pH hasta aproximadamente 8 para precipitar el hidróxido crómico(16).

3.1.5. PRECIPITACIÓN DE SULFUROS.

La separación de los cationes por precipitación como sulfuros se fundamenta en los mismos principios que la separación como hidróxidos(30).

- Existen enormes diferencias entre las solubilidades de los sulfuros.
- El equilibrio del sulfuro de hidrogeno



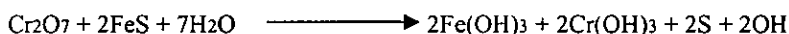
Esta marcadamente influenciado por la concentración de ion hidrogeno en la disolución.

Ajustando el pH de la disolución, se puede, por tanto, controlar la precipitación de los sulfuros.

La precipitación de sulfuros tiene ventajas potenciales como una alternativa de la precipitación de hidróxidos. Las solubilidades de los sulfuros metálicos son menores que las correspondientes a los hidróxidos metálicos; los sulfuros metálicos no son anfotericos y el cromo hexavalente puede precipitarse en el proceso sin una etapa adicional de reducción. El proceso involucra la combinación de iones de metales pesados con un radical sulfuro, como se ilustra en la sig. reacción de un metal bivalente con sulfuro ferroso:



La remoción de cromo hexavalente se realiza por medio de la reducción y la precipitación del cromo como hidróxido cromico en un paso simple:



Se utiliza fuentes de sulfuros, como el sulfuro de sodio(Na_2S) o el hidrosulfuro de sodio (NaHS); que son solubles y el sulfuro ferroso(FeS) que es levemente soluble.

Una desventaja de la precipitación de sulfuros es la generación de ácido sulfhídrico gaseoso tóxico, para evitar su evolución se debe cuidar mantener un pH superior a 8. Aun si el pH es alcalino, el ácido sulfhídrico puede emitirse por medio de una hidrólisis rápida donde la sal de sulfuro soluble se adiciona al agua.

Una segunda desventaja de la precipitación de sulfuros es la liberación del exceso de sulfuros en el afluente, el cual requerida un post-tratamiento. Es necesario un exceso de sulfuro para que se complete la reacción.

Para minimizar la evolución de ácido sulfhídrico y el exceso de sulfuro libre se debe adiciona una sal de sulfuro soluble en un sistema cerrado con ventilación adecuada y una dosificación de sulfuro cuidadosamente controlada. Un exceso de 0.5mg/litro de sulfuro libre puede mantener adecuadamente por este método.

3.1.6. PRECIPITACIÓN DE CARBONATOS

Para algunos metales, por ejemplo. Cadmio y plomo; la precipitación de carbonatos puede producir concentraciones de metal en el afluyente comparable con aquellas realizadas por precipitación de hidróxidos con los beneficios de un pH y una densidad de operación bajos y un lodo más filtrable. Se requiere un pH o mayor para la precipitación efectiva del hidróxido de plomo, pero pueden precipitarse como carbonatos a un pH de 7.0-5 a 8.5.(24)

La precipitación de metales por carbonato de sodio(ceniza o sosa comercial) se lleva a cabo como muestra en el sig. ejemplo. Donde M representa el metal bivalente.



El proceso no es efectivo para todos los metales. En las pruebas realizadas, no indican mejoría en la calidad del efluente, pH de operación o características de lodo sobre la precipitación de hidróxidos para zinc y níquel.

3.1.7. CEMENTACIÓN

La cementación es el desplazamiento y precipitación de un metal en solución por un elevador de metales (metal) en las series electroquímicas. Estrictamente hablando es mas bien un proceso electroquímico que una precipitación química pura; pero se incluye como una alternativa viable a otros procesos de precipitación: El proceso puede utilizarse para remover y recuperar iones metálicos reducibles de corrientes residuales acuosas. Algunos ejemplo. Son la precipitación de la planta de las soluciones de procesos fotográficos, la precipitación del cobre de las soluciones de agua fuerte de circuitos impresos o efluentes de las fabricas de bronce y la reducción del cromo hexavalente en corrientes residuales para una subsecuente precipitación por cal. El uso de la cementación ofrece ventajas económicas importantes en comparación con otros métodos en situaciones en que el metal precioso como oro, o cobre puede recuperarse empleando materiales reductores de desecho (30).

3.1.8. OTROS PROCESOS DE PRECIPITACIÓN

Existen otros procesos de precipitación que pueden considerarse para tratar residuos que contienen compuestos metálicos específicos, especialmente donde los residuos contienen un metal particular y se desea su recuperación.

Entre estos se encuentran los siguientes. Los cationes trivalentes como hierro, aluminio, y cromo pueden removerse selectivamente de una solución que contenga cationes monovalentes y bivalentes por precipitación de fosfatos; El bario puede precipitarse como sulfato de bario que es estable e insoluble además de ser no peligroso. El selenio puede recuperarse de soluciones residuales por reacción con bióxido de sulfuro para precipitar el selenio elemental, los selenuros pueden removerse por precipitación como sales de selenuro de hierro insolubles, y la plata puede precipitarse de la solución como cloruro de plata insoluble (10).

3.1.9. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Las consideraciones de diseño y las alternativas para el uso de la precipitación para el tratamiento de residuos peligrosos se asocian con los propios procesos de precipitación con la naturaleza de los residuos peligrosos que contienen metales, el estado físico del residuo, la concentración de la corriente a tratar, pre o post-tratamiento requerido (5).

3.1.10. SEGREGACIÓN DEL RESIDUO Y PREPARAMIENTO

En el diseño de un sistema de precipitación para residuos que se originan de una variedad de fuentes, se debe llevar a cabo un tratamiento de efectividad si se agregan ciertos residuos que contienen los metales que son tratables por precipitación también contienen cianuro que debe removerse no solo por los requerimientos de disposición, sino también por que este actúa como agente complejante que inhibe la precipitación. Los residuos que contienen cromo hexavalente no pueden tratarse directamente por una precipitación de hidróxidos, ya que primero debe reducirse a su forma trivalente. El cianuro puede pre-tratarse por cloración alcalina y el cromo hexavalente puede reducirse a cromo trivalente por un agente reductor como el bióxido de azufre a un valor de pH bajo (30).

3.1.11. PRUEBAS DE JARRAS

La naturaleza tan variable de los residuos peligrosos y el efecto sustancial que pueden tener sus constituyentes en el proceso de precipitación hacen necesaria una prueba para la selección de parámetros de diseño de proceso.

Estas "pruebas de jarras" realizadas a escala de banco de muestras de residuo pueden llevarse a cabo de manera simple y rápida para poder determinar las dosis de los agentes precipitantes pH óptimo, la facilidad de sedimentación de los precipitados, los requerimientos de agentes auxiliares de sedimentación, y las concentraciones de metales logrados en la sedimentación; estas pruebas, también pueden utilizarse para comparar los procesos alternativos de precipitación (30).

3.1.12. CAL VS. SOSA CÁUSTICA

Se pueden utilizar cal o sosa cáustica como fuente de iones hidróxidos para la precipitación de hidróxidos metálicos. Las diferencias que deben considerarse para realizar un criterio de selección son las siguientes.

La sosa cáustica es más costosa que la cal. Sin embargo, es más fácil su manejo y alimentación. La cal debe triturarse, estar en suspensión y almacenarse en un tanque agitado para evitar la obturación se realiza una alimentación intermitente en un circuito cerrado, bombeando del tanque de suspensión al punto de aplicación y regresándose al tanque. Algunas veces se usan mangueras de hule como líneas de alimentación, así los aglomerados pueden limpiarse fácilmente. Debido a los requerimientos, el costo de los sistemas de alimentación para la suspensión de cal puede ser substancialmente mayores que para la sosa.

Compensando el alto costo en el sistema de alimentación para la cal, el tamaño y costo de la separación de sólidos por corriente y el equipo deshidratado puede ser mayor para la sosa cáustica que para la precipitación por cal debido a que el precipitado formado por la sosa cáustica generalmente no se sedimenta y se deshidrata tan bien como los formatos con cal. Consecuentemente se requiere de grandes clarificadores y equipo de deshidratado para lograr una buena calidad del efluente. Por estas razones, la elección de cal o sosa para precipitación de hidróxidos no debe hacerse únicamente sobre la base de costos de sistemas químicos y de alimentación para sistemas grandes. Se deben realizar pruebas para determinar las diferencias en la facilidad de sedimentación y deshidratación en los lodos y el efecto en los costos totales del sistema(30).

Las ventajas y desventajas de la precipitación por cal o sosa cáustica se resumen en la sig. tabla:

PRECIPITANTES

	CAL	SOSA
VENTAJAS	Costo químico bajo Precipitado más Sedimentable y filtrable	Más reactivo Fácilmente manejable
DESVENTAJAS	Su manejo es más difícil que la sosa. Costo de equipo de alimentación mas alto. Costo de mantenimiento mayor. Si están presentes altos contenidos de sulfatos, se producen mas lodos.	Costo químico alto. Se produce un precipitado menos Sedimentable y filtrable. Costos de clasificación y deshidratación mayores. Más sólidos disueltos en efluente.

3.1.13. CALOR DE REACCIÓN

Los residuos peligrosos que contienen metales y pueden tratarse por precipitación con soluciones ácidas relativamente concentradas. El tratamiento de estos residuos por precipitación, usualmente requieren de neutralización de un pH superior de 8. El calor de la neutralización exotérmica y de la reacción de precipitación puede producir un aumento substancial en la temperatura en el tanque de reacción y puede causar salpicaduras localizadas y emisiones de materiales volátiles en el punto de adición del reactante. Para asegurar una buena operación y protección del equipo de proceso es importante considerar este factor. El calor de reacción puede ocuparse en una o más sig. maneras:

Dilución de los residuos concentrados, probablemente por agotamiento dentro de los residuos que contienen los metales diluidos.

Control de la velocidad de neutralización por ej. Velocidad de alimentación del reactivo, evita el aumento excesivo en la temperatura del tanque de reacción. La temperatura de operación Máxima para tanques de materiales plásticos es cercana a 65°C(150°F).

Adición de la suspensión de cal (disolución con agua si es necesario)

Al tanque de reacción antes de suministrar el residuo ácido. Esto reviste el tanque y lo protege de ácidos fuertes permitiendo la disipación del calor de reacción por toda la masa de la suspensión y del agua de dilución en el tanque (30).

Refrigeración del tanque de reacción externa o por aceleración.

Ventilación adecuada de las emisiones.

Uso de un depósito superficial con gran área superficial para neutralización.

3.1.14. PRECIPITACIÓN DE COMPLEJOS METÁLICOS

Existen muchos complejos químicos que actúan como agentes complementes, inhibiendo u obstaculizando el uso de los métodos de precipitación convencional para el tratamiento de residuos. Entre agentes complejantes más comunes que existen para los residuos que contienen trazas de metales son el amoniaco, cianuro y el ácido etilen diamin tetracético (EDTA). El pretratamiento por amoniaco por remoción de aire o de vapor y de cianuro por cloración alcalina pueden emplearse para remover y destruir estos materiales antes de la precipitación de hidróxidos; el EDTA puede precipitarse como ácido libre a un pH bajo.

Para romper los complejos metálicos se disminuye el pH de la corriente residual seguido de la adición de un agente reductor para llevar a los metales a su estado de oxidación mas bajo que permite la precipitación de los metales. Se cree que el incremento drástico del pH provoca una variación en el equilibrio de disociación del complejo para producir iones metálicos no complejados que puedan precipitarse (30).

3.1.15. COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Los procesos de precipitación de los metales pesados pueden tener una gran mejoría por medio de la adición de varios compuestos químicos solubles en agua y polímeros que promuevan la coagulación y floculación; que se utilizan para separar sólidos suspendidos de líquidos, cuando sus velocidades de sedimentación normales son tan bajas para proporcionar una clarificación efectiva. Estos son dos mecanismos diferentes pero muy relacionados en la clarificación y deshidratación. La coagulación es la adición con un mezclado rápido de un coagulante para neutralizar cargas y colapsar las partículas coloidales para que puedan aglomerarse y sedimentarse. Las especies coloides en las aguas residuales incluyen: arcilla, sílice (dióxido de silicio), metales pesados y compuestos orgánicos. Los coloides requieren de la coagulación para obtener un tamaño y una velocidad de sedimentación apropiados cuando se tiene un tiempo de sedimentación insuficiente en una planta de tratamiento para separar los sólidos suspendidos.

Los coloides hidrofílicos pueden reaccionar con el coagulante empleado en el proceso de tratamiento y en consecuencia requieren de más coagulantes que los coloides hidrofóbicos, que no reaccionan químicamente con el coagulante.

La determinación de la naturaleza y la carga de la partícula es necesaria para definir que tan cerca las partículas pueden aproximarse una de otras en un sistema coloidal. El "potencial zeta" es la medida de esta fuerza. Para coloides en agua con un pH entre 5 y 8, el potencial zeta se encuentra generalmente de -14 a -30V. Este potencial debe reducirse para que las partículas puedan unirse. A medida de que el potencial zeta disminuye, las partículas se aproximan más cercanamente, incrementando la probabilidad de colisión. En un sistema de clarificación convencional a un pH entre 6 y 8, los coagulantes proporcionan las cargas positivas para reducir el potencial zeta negativo. La coagulación generalmente se presenta a un potencial zeta ligeramente negativo, así que no requiere una neutralización de carga completa. El potencial de la observación del movimiento de una partícula bajo microscopio. Sin embargo, para seleccionar el mejor coagulante, el estimado del potencial zeta debe respaldarse de pruebas de agitación ya que estas pruebas indican mejor la situación real.

Algunos coagulantes comúnmente empleados en el tratamiento de corrientes residuales acuosas son el alumbre ($Al_2(SO_4)_3$), cloruro férrico ($FeCl_3$) y el sulfato férrico ($Fe_2(SO_4)_3$) se requiere de mezclado para ayudar a la adición de un coagulante para destruir la estabilización en el sistema coloidal. Las partículas que se aglomeran deben tener colisiones y el mezclador las promueve. La frecuencia y el número de colisiones de las partículas es importante en la coagulación. En el agua con poca turbidez, puede requerirse de la adición de sólidos como la arcilla o el reciclado de sólidos sedimentados para incrementar el número de colisiones entre partículas.

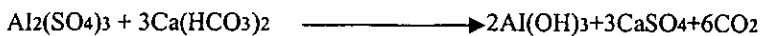
El uso de polímeros orgánicos es a menudo más efectivo que el uso de alúmina o sales de hierro para provocar la coagulación. Estos coagulantes también suscitan la floculación, que es la aglomeración de las partículas coloides que se han sometido a tratamientos de coagulación. La formación de floculos se estimula por un mezclado suave de partículas coloides coaguladas bajo condiciones controladas de pH para producir

partículas de gran tamaño, de tal modo que se mejora la eficiencia de los pasos de deshidratados subsecuentes.

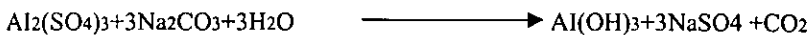
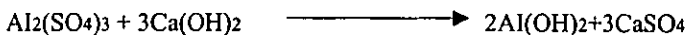
La floculación requiere de una agitación suave para permitir la formación de puentes del floculante químico entre las partículas coloidales aglomeradas para formar grandes cantidades floculos sedimentables; altas velocidades, los romperían en partes, por lo que son indeseables ya que rara vez regeneran a su tamaño y resistencia optima. La floculación no solo aumenta el tamaño él floculo, sino que también permite velocidades de deshidratación de todos y suspensiones debido a la estructura menos gelatinosa de los floculos.

El alumbre y las sales de hierro funcionan como coagulantes y floculantes por formación de especies cargadas positivamente a un pH entre 6 y 7, esta reacción de hidrólisis produce hidróxido de aluminio o férrico, gelatinoso e insoluble. Sin embargo, los lodos producidos son difíciles de deshidratar ya que son muy sensibles al pH. Si el pH no esta en un valor adecuado, estos coagulantes raramente inducirán una clarificación adecuada, se emplea con mas frecuencia al sulfato de aluminio ya que es más económico.

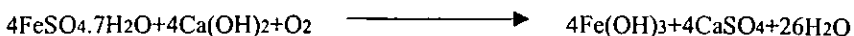
Aun cuando, el sílice (dióxido de silicio) mejora el funcionamiento del alumbre de las sales de hierro como coagulantes y floculantes, el desarrollo de polímeros orgánicos llamados polielectrolitos resultaron una contribución aun más importante. Los polielectrolitos son polímeros de larga moléculas orgánicas solubles en el agua; son compuestos orgánicos, cuya naturaleza iónica juega el papel más importante en su funcionamiento. Estas moléculas reaccionan con material coloidal en agua por neutralización de la larga y por formación de floculos. Los factores principales que afectan la coagulación y floculación de aguas residuales son los sólidos suspendidos, pH dosificación y la naturaleza del coagulante. El agua residual debe ser alcalina por sulfato de aluminio para producir hidróxido de aluminio (30).



Si el agua residual no tiene la suficiente alcalinidad para reaccionar con alumbre, este debe adicionarse en forma de hidróxido de calcio (cal o carbonato de sodio).



El tratamiento con sulfato ferroso también requiere una alcalinidad en el agua residual. La cal se adiciona usualmente para incrementar el pH arriba de 9.05 donde los iones ferrosos se precipitan como hidróxido férrico:



3.2. OXIDACIÓN Y REDUCCIÓN QUÍMICA

Las reacciones de oxidación-reducción son aquellas en las cuales el estado de oxidación de un reactante aumenta mientras el estado de oxidación del otro disminuye.

Cuando se quitan electrones de un ion, átomo o molécula, la sustancia se oxida, cuando los electrones se adicionan a una sustancia, esta se reduce. Cuando los átomos metálicos pierden electrones, se dice que se oxidan. Si los iones metálicos toman electrones, se convierten al átomo metálico(Zn) los iones se reducen.

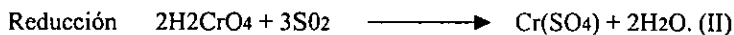
Las reacciones de oxidación-reducción "redox" tienen un papel importante en el tratamiento de residuos, debido a que se utilizan en el tratamiento de residuos que contienen trazas de metal y de residuos tóxicos inorgánicos tal como los residuos que contienen metales, sulfuros, cianuros y cromo también en el tratamiento de algunos compuestos tales como fenoles, pesticidas, etc.

Ya que estos procesos de tratamiento envuelven reacciones químicas, generalmente los reactantes están en solución. Sin embargo, en algunos casos se hacen reaccionar una solución con un sólido o un gas levemente solubles (16).

3.2.1. PRINCIPIOS DE LA OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

Como ya se menciona, las reacciones químicas de oxidación – reducción son aquellas en las que el estado de oxidación de un reactante aumenta y el estado de oxidación del otro disminuye.

Dos reacciones muy comunes son:



En la reacción (I) el estado de oxidación del ion cianuro (CN) de nitrógeno se incremento de 1+, y el estado de oxidación del oxígeno disminuye de -1 a -2.

En la reacción (II) el estado de oxidación del cromo se redujo de +6 a +3, y el estado de oxidación de azufre aumento de +4 a +6 (26).

3.2.2. OXIDACIÓN

La oxidación química es ampliamente usada para tratar residuos peligrosos y no peligrosos. La tecnología esta bien establecida y representa un medio seguro de tratamiento que es fácilmente monitoreando y controlado. Aun cuando la oxidación química es mas apropiada para el tratamiento de líquidos también se puede usar para suspensiones y lodos. Debido a que los agentes oxidantes no son selectivos y representan la principal porción del costo de tratamiento, este tipo, es más apropiado para residuos con un bajo contenido de compuestos orgánicos. Existe una gran variedad de agentes oxidantes.

Los residuos orgánicos que se han tratado por oxidación química son: fenoles, aminas, mercaptanos y clorofenoles. Sin embargo, algunos compuestos orgánicos son resistentes a la oxidación de la mayoría de los agentes oxidantes a temperaturas y presiones ambientes, por lo que probablemente requieran de un incremento en la temperatura, el uso de un catalizador o de luz ultravioleta (16). Ver figura 7 en el apartado de diagramas.

3.2.3. REDUCCIÓN QUÍMICA

La reducción química se puede utilizar para el tratamiento de constituyentes de residuos peligrosos. En el tratamiento de residuos generales la reducción mas aplicada es la del cromo, ya que el Cr^{3+} es mucho menos tóxico que el Cr^{6+} y puede precipitarse como hidróxido relativamente insoluble para una posterior remoción.

Aunque la reducción química pueda llevar los metales a su estado elemental para su recuperación, este proceso tiene aplicaciones limitadas. Parece que la reducción a un metal elemental se utiliza ampliamente como norma de preparamiento adicional a las descargas restringidas de metales, para así hacer publicas las plantas de tratamiento de agua residual. Para la reducción del cromo se usan generalmente el bióxido de azufre y el sulfato ferroso (26). Ver figura 8 en el apartado de diagramas.

3.2.4. PROCESOS DE OXIDACIÓN – REDUCCIÓN

El tratamiento de residuos por oxidación se puede realizar por procesos continuos y semicontinuos, ambos emplean equipo similar ya que involucran la mezcla de dos líquidos acuosos, el residuo y el tratamiento químico o el contacto de una solución acuosa con gas. Algunas reacciones son rápidas, del orden de 1 a 2 segundos y pueden llevarse a cabo en un reactor tal como la oxidación del bisulfito de sodio por hipoclorito de sodio.

La mezcla de los reactantes en la tubería da como resultado u a reacción rápida que puede monitorearse por los aumentos en la temperatura y el potencial oxidación-reducción. Las velocidades de reacción se incrementan a temperaturas elevadas aun cuando se requiere de un incremento en la energía y temperatura superiores a $100^{\circ}C(212^{\circ}F)$ y equipo de presión; estos cambios en el proceso deben tomarse en cuenta en los costos de operación y en el incremento del capital (16).

3.2.5. REACTIVOS OXIDANTES

A un cuando existen muchos compuestos químicos que son agentes oxidantes solo algunos de ellos se utilizan para el tratamiento de residuos. Estos oxidantes varían en el potencial de oxidación, conveniencia, costo y la formación de subproductos. Los agentes oxidantes más comunes son los siguientes:

3.2.6. HIPOCLORITO DE SODIO

Probablemente, el hipoclorito de sodio es el agente oxidante más utilizado. En solución acuosa es fácilmente transportado, almacenado y medible en el sistema de reacción.

Uno de los principales usos del cloro o de las soluciones de hipoclorito es para el tratamiento de residuos que contienen cianuros de la extracción de minerales, manufactura de compuestos químicos, orgánicos sintéticos y el acabado de metales. Los residuos de acabado de metales son los más numerosos y provienen del agua de enjuagado, de la solución de proceso gastada y de los derrames. El cianuro se oxida a primero a cianatos aun pH alto, generalmente a 11. La reducción del pH a 6 convierte el cianato a bicarbonato y nitrógeno (30).

3.2.7. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

El peróxido de hidrógeno esta disponible como una solución de agua incolora a concentraciones de 30 a 70% en peso. Es un agente oxidante fuerte que libera oxígeno y calor durante su descomposición. Para soluciones a altas concentraciones se requiere de precauciones en su manejo.

La mayoría de las aplicaciones industriales lo utilizan en concentraciones de 35 a 70% en peso. Se utiliza para la oxidación de aguas residuales fenolicas y para el tratamiento del afluente de las fabricas de papel, barrenadoras de lodos y otros tipos de aguas residuales orgánicas.

En la manufactura del peróxido de hidrógeno se adicionan inhibidores especiales para impedir la descomposición durante su almacenamiento; cantidades pequeñas de metales pueden actuar como catalizadores en su reacción de descomposición. Por lo que con un inhibidor tiene una velocidad de descomposición en tanques grandes menor de 1% por año a temperatura ambiente y en tambores, de menos del 2%.

Las soluciones de peróxido de hidrógeno pueden analizarse por reacción con permanganato de potasio, es un agente oxidante relativamente seguro y tiene aplicación en el tratamiento de muchos residuos industriales incluyendo cianuros, formaldehído, ácido sulfídrico, bióxido de azufre, óxido nítrico y bióxido de nitrógeno (30).

3.2.8. HIPOCLORITO DE CALCIO

El hipoclorito de calcio contiene aproximadamente el 65% de cloro disponible, esta disponible en forma de gránulos o en tabletas. Es fácilmente manejable y ofrece algunas ventajas sobre otros oxidantes a este respecto a temperaturas superiores a 177°C (351°F) se descompone rápidamente con evolución de oxígeno y calor, si se mantiene por varios días a temperaturas más altas de 57°C (135°F) puede provocar su descomposición. Debido a que el oxígeno y el calor produce su descomposición, la contaminación con sustancias orgánicas puede causar una reacción química que puede provocar un incendio de gran intensidad.

Todos los oxidantes deben almacenarse en forma separada de materiales que reaccionen con ello, tal como ácidos, propelentes, explosivos, solventes, pesticidas, productos de pinturas, productos químicos utilizados en hogares como aceites, brebajes, jabones y detergentes como también materiales orgánicos.

El hipoclorito de calcio se ha utilizado para el tratamiento de algunos residuos industriales, como el tratamiento de soluciones de cianuro, particularmente cianuros de cobre o de níquel. También se le ha encontrado utilidad en la limpieza de equipos, en la fabricación de papel, en el blanqueo de las tinturas de papel, en el tratamiento del agua de refrigeración industrial, en el tratamiento de agua de albercas y de estanques de langosta y en algunas áreas de preparación de alimentos como en el manejo de huevos, peces, azúcar, carnes y productos derivados de la leche (30).

3.2.9. PERMANGANATO DE POTASIO

El permanganato de potasio se encuentra disponible como cristales o gránulos purpúreos oscuros con una apariencia metálica. Algunas veces se utiliza un aditivo para mejorar sus propiedades de flujo, el cual da un aspecto grisáceo. El permanganato de potasio es un oxidante fácilmente manejable y presenta muy poco peligroso a la salud. El permanganato de potasio se usa en solución acuosa, se recomienda que se almacene en sitio fríos y secos ya que se presentan reacciones violentas en condiciones no favorables, por ejemplo. Cuando se combinan con calor, las soluciones concentradas de permanganato y agentes reductores o cuando el permanganato de potasio seco se pone en contacto con compuestos orgánicos líquidos. Si el permanganato de potasio se pone en contacto con ácido sulfúrico concentrado o peróxido de hidrógeno pueden ocurrir explosiones.

También puede reaccionar violentamente con polvos metálicos, azufre elemental, fósforo, carbón, ácido clorhídrico, hidrazina metálicos, se debe evitar el contacto con todos los materiales orgánicos.

El permanganato de potasio se ha utilizado para controlar fenoles y otros contaminantes industriales, además de material orgánico e inorgánico en corrientes de aguas residuales. Se ha usado en la remoción de hierro soluble y manganeso encontrado en aguas de minas ácidas, destruye muchos de los componentes aromáticos en plantas de clarificación y plantas de purificación. También se utiliza para oxidar cianuros (30).

3.2.10. OZONO

El ozono es un gas inestable, tiene un periodo de vida de 20 a 30 min. , en el agua destilada a 20°C en la atmósfera ambiental esta en el orden de 12hrs. Ebulle a menos de 112°C a presión atmosférica con un característico olor penetrante que es fácilmente detectable a concentraciones tan bajas como 0.01 a 0.05ppm. El gas es soluble en agua hasta un límite de aproximadamente 20 mg/litro a 0°C y 8.9 mg/ litro a 20°C. Generalmente se usa por dispersión de gas en medio acuoso.

Se genera in situ con una descarga eléctrica en concentraciones de 1 a 3% en aire y 2 a 6% en oxígeno, el ozono se forma pasando oxígeno o aire a través de los electrodos, uno de los cuales tiene un dialéctico. La descarga rompe las moléculas de oxígeno formado, oxígeno naciente que reacciona con otras moléculas de oxígeno para formar ozono. El método de generación preferentemente utiliza oxígeno puro, a un cuando también se puede emplear aire para la formación de ozono, con ese la producción se produce debido a la humedad presente, la descarga puede formar también ácido nítrico que puede producir corrosión severa del equipó. Es importante que el generador de ozono se opere tan frío como sea posible, ya que el calor causa la descomposición de gas producido.

Ya que el ozono es un oxidante relativamente caro, debe utilizarse eficientemente.

Es ligeramente soluble en medio acuoso. El equipo empleado para efectuar este contacto es el sig. torres rociadoras o espreadoras, lechos empacados, torres de platos de burbujas de platos perforados o de difusores.

Para mejorar la eficiencia de ozono en el medio acuoso se introducen pequeñas burbujas para proporcionar una superficie de contacto máximo. El ozono se utiliza ampliamente en el tratamiento de agua potable.

En algunos casos este tratamiento es competitivo con otros procesos como el del carbón activado. A un cuando el ozono es un oxidante poderoso, en algunos compuestos refractarios se oxidan lentamente, lo cual puede mejorarse con luz ultravioleta. Por ejemplo. Los complejos de cianuro de hierro que reaccionan muy lentamente con ozono, se descomponen rápidamente con la combinación de ozono y radiación. Similarmente, las soluciones de bifenilos policlorados que son estables en condiciones oxidantes se destruyen fácilmente por la combinación UV ozono. Este tipo de sistemas se ha utilizado para la oxidación de solventes halogenados como el cloruro de metileno, tricoroetileno, tetracloruro de carbono y el cloruro de vinilo (30).

3.2.11. REACTIVOS DE REDUCCIÓN

Los agentes reductores se usan para tratar residuos de cromo hexavalente, mercurio, compuestos organometalicos y los metales quelantes. El uso más frecuente es para el tratamiento del cromo hexavalente que se produce a su estado trivalente menos tóxico. Este último puede removerse de soluciones acuosas por precipitación de hidróxido relativamente insoluble.

Algunos agentes reductores son:

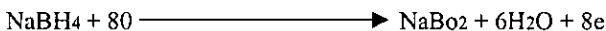
3.2.12. BIÓXIDO DE AZUFRE

La reducción se lleva a cabo a pH bajo, controlándose por medidores de pH y de óxido reducción. Este compuesto se prefiere en el tratamiento del cromo hexavalente, ya que se requiere de poca cantidad para su reducción. No presentan problemas de corrosión así que los recipientes utilizados para tratar residuos acuosos son en su mayoría de acero revestidos con hule(30).

3.2.13. BOROHIDRURO DE SODIO

El borohidruro de sodio está disponible con una solución al 12% en hidróxido de sodio al 40% se puede emplear directamente o diluido con agua; su descomposición en la ausencia de contaminantes es baja, aproximadamente 0.1% por año. Debe usarse a temperaturas mayores de 18°C ya que es muy viscoso a bajas temperaturas.

El borohidruro de sodio se utiliza para tratar residuos ya que reacciona con iones hidróxido, de acuerdo a la siguiente reacción:



La que indica que un mol de NaBH₄, reducirá 8 mol de ión metálico monovalente.

El borohidruro de sodio se ha empleado para tratar plomo de 500 a 3500 mg/litro; mercurio de 10 a 50mg/litro; plata de 10 a 120mg/litro y cadmio de 5 a 60mg/litro.

También se ha utilizado para la reducción de compuestos orgánicos, empleando agua y alcohol de bajo peso molecular con solventes. Reacciona con cetonas, ácidos orgánicos y amidas, se ha propuesto su utilización para deshalogenación de contaminantes orgánicos (30).

3.2.14. POTENCIAL PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

La oxidación y la reducción química se utilizan generalmente para el tratamiento de residuos que se espera que se incrementen conforme los requerimientos de la reglamentación vayan aumentando en la necesidad de remoción de contaminantes descargados a los sistemas de tratamientos de aguas residuales municipales, aguas superficiales o pozos profundos.

En general, los costos de tratamiento están muy influenciados por los costos químicos, por lo tanto, los tratamientos de oxidación, reducción es más apropiados para bajas concentraciones (16).

3.2.15. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Los residuos de la oxidación química son el efluente líquido, los gases y algún precipitado producto, los cuales deben tener un postratamiento. El uso de sosa o de cal con cloro (cloración alcalina) genera una mayor cantidad de residuos, el proceso puede producir hidróxidos metálicos en caso de que ciertos metales se presentan en el efluente.

La oxidación utilizando hipoclorito genera pequeñas cantidades de residuos.

El proceso de ozonación no puede oxidar completamente los contaminantes orgánicos a bióxidos de carbono y agua, por lo que se requiere un postratamiento. El efluente proveniente de los reactores de ozonación necesita postratamiento para destruir los residuos del ozono.

La precipitación de los óxidos metálicos produce lodos que pueden requerir tratamiento y/o disposición. La oxidación parcial de los compuestos orgánicos puede dar origen a sustancias tóxicas y/o de olor desagradable.

Una sobredosis de oxidantes producen residuos en el efluente acuoso los cuales causan efectos nocivos en otras corrientes del proceso de tratamiento.

En ocasiones se forman productos indeseables que en algunos casos son más tóxicos que los compuestos iniciales, esta situación debe evitarse (16).

3.3. NEUTRALIZACIÓN

Muchas de las operaciones de manufactura y procesos producen efluentes que son ácidos o alcalinos en su naturaleza. La neutralización de una corriente residual excesivamente ácida o básica es necesaria en una variedad de situaciones como son:

Prevenir la corrosión de metales y/o daños a otros materiales de construcción.
Para proteger la vida acuática y el bienestar de los seres vivos.
Como tratamiento preliminar.

Para proporcionar un pH neutral a aguas de reciclado, proceso o de alimentación a calderas.

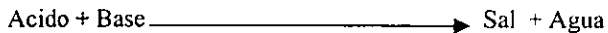
El tratamiento de ajuste de pH puede también emplearse para romper emulsiones para insolubilizar ciertas especies químicas o para controlar la rapidez de reacciones químicas.

Este tipo de tratamiento químico más común ya que la corrosión es una característica de muchos residuos y frecuentemente es función del pH, ajustando la acidez o alcalinidad de un material a un intervalo neutral puede eliminar frecuentemente el peligro específico asociado con el residuo. Este tratamiento no produce una destrucción efectiva del residuo, pero disminuye su peligrosidad y lo hace más apropiado más apropiado para un tratamiento adicional y una consiguiente disposición segura en el ambiente.

La neutralización, es simplemente la interacción de un ácido con una base. En soluciones acuosas, la acidez y alcalinidad se definen con respecto al pH, y una temperatura ambiente. En un sentido estricto, la neutralización es el ajuste de pH a 7, en que el nivel de concentraciones de iones hidrogeno e hidróxido son iguales.

La neutralización de un residuo que es un ácido o una base involucra la adición de una sustancia química para cambiar el pH hasta un nivel neutro en el intervalo de 6 a 8.

Algunas veces es factible mezclar una corriente residual ácida a una corriente básica en un molde de igualación; sin embargo, será necesario neutralizar los residuos ácidos con una base y neutralizar los residuos de pH alto con un ácido, como por ejemplo la siguiente reacción(16): Ver figura 9 en le apartado de diagramas.



3.3.1. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

Es factible que la neutralización se lleve a cabo en tanques, lagunas, columnas absorbedoras etc., en operaciones discontinuas o de flujo continuo, dependiendo en parte del volumen y velocidad del flujo.

La adición del agente neutralizante sé monitorea y ajusta por mediciones y control del pH y adicionar la dosis requerida de ácido o base. En un sistema a flujo continuo, monitores automáticos verifican la acidez o alcalinidad y controlan la alimentación del agente neutralizante(3).

Una corriente con grandes fluctuaciones en el pH puede estar precedidas por un tanque de igualación que producirá un efluente más homogéneo con un intervalo de pH más reducido.

La selección del agente neutralizante se realiza tomando en cuenta una serie de factores como el económico, utilidad y compatibilidad del proceso.

El proceso de neutralización esta sujeto a la influencia de la temperatura. Generalmente, en las reacciones base-agua, el incremento de la temperatura de los reactantes aumenta la velocidad de reacción. En neutralización, la interacción de un ácido con un álcali es una reacción exotérmica con un incremento en su temperatura. El valor promedio de calor liberado durante la neutralización de soluciones diluidas de ácidos o bases fuertes es de 13360 cal g/mol de agua producida. Controlando la velocidad de adición del reactivo de neutralización se puede disipar el calor producido y minimizar el incremento de temperatura. Para cada reacción, la temperatura final depende de la temperatura inicial, las especies químicas que participan en la reacción. Soluciones concentradas pueden producir grandes aumentos en la temperatura, esto puede provocar la ebullición y salpicaduras de la solución y un ataque químico a los materiales de los reactores. Ver figura 10 en el apartado de diagramas.

En la mayoría de los casos, una planeación apropiado del esquema de neutralización con respecto a la concentración del fluyente de neutralización, la velocidad de adición, tiempo de reacción y diseño de equipo evitará el problema de calor.

Los productos de neutralización pueden ser líquidos, sólidos, gases o una combinación de estos. La forma física del producto no esta relacionada a la forma física de los reactantes, pero sí a su composición química y a su medio. Las especies químicas presentes en las especies neutralizadas pueden incluir componentes originales de la corriente residual, así como el material del agente neutralizante. Las concentraciones de las especies individuales dependen de la solubilidad de los productos formados durante la reacción. Pro ejemplo, la neutralización del ácido clorhídrico con cal produce cloruro de calcio disuelto como producto remanente en la corriente; sin embargo, la neutralización del ácido sulfúrico con cal produce sulfato de calcio sólido como suspensión o lodo.

En caso donde un producto sólido este presente, es necesario un tratamiento adicional para separar el material (26).

3.3.2. EQUIPO

El equipo requerido está variado como las reacciones de neutralización; algunos ejemplos son: Torres de absorción para neutralizar el flujo ácido de gas con un álcali acuoso, lechos filtrantes de gránulos de piedra caliza para neutralizar ciertos residuos líquidos ácidos y sistemas de aereación para introducir dióxido de carbono a las corrientes alcalinas.

La operación más común es la adición de un compuesto químico en una forma sólida o líquida directamente a la corriente de agua residual, el equipo requerido para esta forma de tratamiento es muy simple, tanques de almacenamiento y de reacción con agitadores y sistemas de distribución. Frecuentemente, la neutralización se realiza en series de reactores para proporcionar un mejor control de pH final. Se debe contar con una instrumentación apropiada e incluir medidores de pH así como dispositivos de bombeo de muestras.

La alimentación del agente neutralización del agente neutralizante puede regularse automáticamente por una unidad de monitoreo de pH dependiendo de los requerimientos del sistema

Las instalaciones de diseño y almacenamiento dependen de los reactivos químicos empleados. Las soluciones ácidas y cáusticas pueden almacenarse en lugares abiertos, la cal viva debe mantenerse en sitios impermeables. Sistemas de distribución dependiendo de la forma física de los reactivos se debe incluir. Los líquidos pueden transportarse por medio de bombas y las suspensiones por la gravedad en tuberías y bombas. Es necesario equipo auxiliar como recipientes de igualación, clarificadores o sistemas de remoción de vapor dependiendo del sistema específico de neutralización.

Los materiales de construcción deben ser resistentes a la corrosión y requieren sistemas que permitan temperaturas elevadas, ya que se podría producir condiciones de operación inseguras y daños al equipo de proceso. En muchos casos, las concentraciones de los reactivos son importantes en la selección del material apropiado empleando en bombas, tuberías, tanques etc.(30).

3.3.3. APLICACIONES

La neutralización tiene una amplia aplicación en el tratamiento de residuos acuosos que contienen ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico y el clorhídrico o bases fuertes como el hidróxido de amonio.

Las aguas residuales ácidas pueden neutralizarse con cal apagada. La reacción es la más empleada en la neutralización de ácidos, ya que es más barata que otras bases. Las aguas residuales alcalinas pueden neutralizarse con un ácido mineral fuerte como el H_2SO_4 o el HCl con CO_2 . La reacción con ácidos minerales es rápida para ambas se utilizan recipientes con agitación y sensores de pH que controlan la velocidad de alimentación.

La neutralización de aguas residuales alcalinas con CO_2 generalmente consiste de burbujas de CO_2 en el fondo del tanque de neutralización. De este manera se forma ácido carbónico (H_2CO_3) que reaccionan con las sustancias alcalinas. El proceso puede emplearse a materiales no acuosos, (por ejemplo Fenoles ácidos que son insolubles con agua). Aun cuando la neutralización es un fenómeno de fase líquida puede aplicarse también a corrientes residuales sólidas y gaseosas. Los gases pueden manejarse por absorción. Los lodos son tratables por ajuste de pH, aunque la viscosidad del material complica el proceso de mezclado y el contacto entre el ácido y el álcali que es esencial para el tratamiento. Sólidos y polvos que son sales ácidas o básicas también pueden neutralizarse si se disuelven. La neutralización puede emplearse para tratar corrientes residuales inorgánicas y orgánicas; se utiliza para precipitar iones de materiales pesados como Zn, Pb, Hg o Cu adicionando un álcali a una corriente residual. Los compuestos orgánicos que pueden tratarse incluyen ácidos carboxílicos, sulfúricos, fenoles y muchos otros materiales. La neutralización es un proceso de tratamiento de técnicas ya demostradas y de cierta factibilidad económica(16).

3.4. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS QUE EMPLEAN PROCESOS QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTENIENDO METALES PESADOS

La selección de las metodologías de tratamiento, depende de muchos factores, entre los cuales se deben considerar:

- La naturaleza del residuo a tratar.
- El estado físico del residuo;
- La concentración de la corriente a tratar;
- El equipo;
- El equipo auxiliar;
- Pre o post- tratamiento requerido;
- La efectividad y el costo de la tecnología.

Esto, es porque debido a la naturaleza del residuo (si es orgánico o inorgánico) y el estado físico en que se presente, que puede ser en forma líquida (corrientes caudalosas residuales) como sólida (sedimentos y suelos), semi-sólida (lodos) o gaseosas (emisiones atmosféricas) se tienen diferentes alternativas de tratamientos por procesos fisicoquímicos (16).

La concentración de las sustancias peligrosas que están presentes en los efluentes residuales, el equipo necesario y los dispositivos del proceso influyen considerablemente en los costos del tratamiento, los cuales se incrementan si el proceso requiere de pre o post-tratamiento.

La precipitación química es un proceso ampliamente utilizado, su implementación no es muy costosa y es aplicable a las corrientes residuales que contienen metales pesados. Se requiere de un tanque de reacción con agitación. Se debe de utilizar un pre-tratamiento cuando en la corriente a tratar están presentes residuos de cromo VI. Así mismo se debe considerar que los sólidos precipitados requieren una separación por sedimentación.

A continuación se presentan las características de cada uno de los procesos químicos:

La neutralización se aplica a corrientes residuales ácidas o básicas y a compuestos orgánicos como fenoles y ácidos sulfónicos, este tipo de tratamiento se utiliza principalmente como una operación preliminar para otros procesos debido a que no producen una destrucción efectiva del residuo, pero lo hace más apropiado para otro tipo de tratamiento. El equipo que se requiere es muy sencillo se puede emplear tanques de reacción con agitación, algunas o columnas absorbedoras en operaciones continuas o discontinuas. Se debe contar con instrumentación apropiada para un buen control de pH, así como dispositivos de bombeo de muestras. Es necesario equipo auxiliar como recipientes de igualación, clasificadores o sistemas de remoción de vapor. El costo de capital depende de lo mencionado anteriormente y el costo de operación depende de la concentración y volumen de la corriente residual.

Es factible aplicar el proceso de oxidación-reducción a corrientes que tengan metales, cianuros, así como a residuos orgánicos a bajas concentraciones como fenoles, aminas etc. Este tipo de tratamiento se puede realizar en operaciones continuas o semicontinuas. El equipo empleado es un reactor debido a que la reacción provoca un incremento en la temperatura se requiere de equipo de monitoreo. Los costos de tratamiento dependen de los reactivos químicos utilizados(16).

EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS QUE EMPLEAN PROCESOS QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTENIENDO METALES

PROCESOS	APLICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Precipitación Química	Para reducir la dureza del agua, metales tóxicos. Residuos corrosivos y licor de baño químico de metales gastados en las operaciones de acabado de acero y hierro.	<ul style="list-style-type: none"> - Materia prima barata y fácil de manejar. - Recuperación del metal. - Reactividad segura. - Operación y mantenimiento económicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disposición de lodos generados. - Requerimiento. - Químico de aditivos. - Emisiones volátiles.
Neutralización	Soluciones exclusivamente ácidas o básicas (agua residuos industriales corrientes orgánicos e inorgánicas)	<ul style="list-style-type: none"> - Operación y mantenimiento de equipo barato. - Agentes de neutralización baratos. 	<ul style="list-style-type: none"> - No produce una destrucción efectiva de los residuos.
Oxidación y Reducción química	Residuos que contienen trazas de metal, residuos tóxicos – inorgánicos y orgánicos fenoles y pesticidas	<ul style="list-style-type: none"> - Representa un medio seguro de tratamiento y fácil de monitorear. - Es aplicable para todos los líquidos, suspensiones y lodos. - Materia prima barata y fácil manejo. - No existe corriente de lavado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Algunos compuestos son resistentes a bajas temperaturas y presiones. - Usar catalizadores. - Instalación de equipo caro - Es eficiente para corrientes a bajas concentraciones.

Tomando como base el análisis de los diferentes procesos químicos que aplican a los residuos peligrosos que contienen metales pesados, el de mayor aplicación a nivel industrial es el proceso de precipitación por las siguientes características:

- Materia prima barata y fácil de manejar.
- Reactividad segura.
- Operación y mantenimiento económico.
- Retira elementos disueltos haciéndolos precipitar en forma sólida, buscando siempre la reducción de su producto de solubilidad.
- Para descender el producto de solubilidad, es alcalinizar la disolución, elevando el pH a valores entre 9 y 12, dependiendo del metal que se quiera retirar.

Reglas generales para las precipitaciones

Debemos tomar en cuenta el producto de solubilidad, el efecto del ion y los fenómenos de contaminación, pueden establecerse algunas reglas generales:

- Antes de proceder a hacer un análisis deben estudiarse con cuidado los diversos métodos aplicables y seguir el que se estime más conveniente.
- Elegido el método a seguir, asegurarse de contar con todos los elementos necesarios, tanto reactivos como en utensilios o equipo.
- Proceder a la precipitación por regla general en caliente, cerca de la ebullición y agitando durante la adición del reactivo precipitante, el cual debe agregarse poco a poco. Un exceso moderado del precipitante es indispensable. Hay métodos en que en ocasiones, por excepción, indican se evite un excedente de reactivo.
- Deje reposar el precipitado en el seno del líquido, primero en caliente y después en frío, para asegurar una precipitación completa y para que las partículas aumenten de tamaño, siendo así más fácilmente retenidas por el filtro. Solo precipitados muy insolubles pueden ser separados sin previo reposo.

CONCLUSIONES

**ESTA TESTS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

CONCLUSIONES

La infraestructura existente en México para el manejo de residuos peligrosos es muy limitada, insuficiente para procesar los residuos peligrosos que contienen metales pesados que se generan. Las razones de este rezago radican en parte en el tiempo insuficiente de maduración que ha tenido la política ambiental, así como en la carencia de actividades de promoción industrial y en la falta de mecanismos imaginativos de financiamiento. Una solución más racional es, sin duda, evitar la generación de los residuos peligrosos por medio de la aplicación de las llamadas tecnologías limpias que posibilitan la corrección del problema en su origen.

Para desarrollar tecnologías más limpias dentro de Industria Siderúrgica y Metalúrgica No Ferrosa se deberá llevar a cabo una estrategia preventiva e integrada que contribuya a la protección ambiental y al desarrollo industrial.

Su objetivo es el uso eficiente de los recursos demandados por los procesos industriales y la disminución de los residuos generados, desde su origen, que impactan negativamente al ambiente. Para productos y servicios, los puntos estratégicos se centran en la reducción de los efectos negativos al ambiente a lo largo del ciclo de vida del producto, desde la extracción de los materiales y servicios hasta su disposición final.

Las tecnologías limpias son tratamientos internos, que se basan fundamentalmente en: reciclado, sustitución, recuperación, revalorización. Además estas tecnologías limpias pueden ser muy simples en ciertos casos, pues se puede tratar de un procedimiento o de un cambio sencillo, o pueden ser sofisticadas, con inversiones previas importantes en investigación. En el otro extremo de la gama de soluciones posibles, está el tradicional manejo que se les da a los residuos peligrosos, a través de tecnologías de tratamiento.

Los residuos peligrosos generados tanto de la industria siderúrgica y metalúrgica No Ferrosa que contengan metales pesados tóxicos en sus diferentes procesos industriales, deberán de recibir tratamiento para la eliminación o estabilización de dichos metales. Para posteriormente reciclarlos y utilizarlos en algún otro proceso y evitar su disposición en algún lugar no autorizado provocando daños al hombre y medio ambiente.

La problemática en México sobre la contaminación de residuos peligrosos que contienen metales pesados es muy elevada y no está controlada eficientemente. En base a una revisión de los tratamientos químicos existentes, se seleccionó el tratamiento químico: precipitación química para poder estabilizar residuos peligrosos que contienen metales, estabilizar estos y poder separar cada uno de los metales, para esto se debe tomar en cuenta su estado químico (sulfuros, hidróxidos, etc.), además tener cuenta las características como son: producto de solubilidad, el efecto ión, los fenómenos de contaminación, además los reactivos necesarios para lograr una separación e identificaciones de los metales. Y para posteriormente reutilizarlos en el mismo proceso o en otro como materia prima y obtener un beneficio que se refleje a nivel monetario.

Otras opciones existentes serán la encapsulación, el procesamiento interno mediante el reciclado, aunado con los tratamientos térmicos, físicos existentes ya mencionados anteriormente. Cabe recordar que ningún método es seguro y para llevarlo a cabo se debe llevar a cabo un análisis económico y operacional para ver si es factible y rentable.

Para la cual otra posible solución sería fomentar unidades móviles que lleven a cabo la aplicación de tecnologías (precipitación química, etc.) directamente a donde se generen los residuos peligrosos.

De acuerdo a experiencias en otros países, como Japón, Francia. En México su implementación debería realizarse dentro de la planta generadora de residuos o mediante alguna empresa autorizada y certificada por el Instituto Nacional de Ecología que realice este trabajo.

Para lograr evitar generar residuos peligrosos se deberá mejorar y revisar normas, reglamentos, leyes ambientales que en verdad cumplan con los requisitos necesarios en materia ambiental. Para ello es fundamental convocar a la participación de las tres instancias de gobierno (Legislativo, Judicial, Ejecutivo), del sector privado, del sector económico académico y de la población a formar planes de trabajo de manera conjunta.

A fin de fortalecer y ampliar la capacidad instalada para el manejo de estos residuos peligrosos, es importante conocer con detalle el estado de las instalaciones y servicios relacionados con:

Almacenamiento insitu.

Reciclaje y transporte insitu.

Tratamiento.

Confinamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Cristina Cortinas de Nava, "Residuos Peligrosos en el Mundo y en México", México 1993, INE.
- 2- INE, "Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente", INE, México 1993-1994.
- 3- Harry M. Freeman, "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal" McGraw Hill Book Company 1988
- 4- INE- SEMARNAP, "Programa para la Minimización y Manejo Integral de Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000", INE, México 1996
- 5- Mariano Seoanez Calvo, "Ingeniería Medio Ambiental Aplicada a la Industria y a la Empresa", Ediciones Mundi-prensa, Madrid 1995
- 6- Centro Mexicano para la Producción Más Limpia, "Producción Más Limpia en el Sector de Fundición"; ONUDI, PNUMA, IPN, CANACINTRA, USAI; México 1998
- 7- INE, "Bases para una Política Nacional de Residuos Peligrosos", México, D.F. 1994
- 8- U.S. EPA/SEDESOL, "La Minimización de Residuos en la Industria del Acabado de Metales"; México, D.F., 1993.
- 9- Federico de Lora Soria, a "Técnicas de Defensa del Medio Ambiente", Editorial labor S.A. de C.V.; Volumen II, Madrid 1980.
- 10- Thomas E. Higgins, "Hazardous Waste Minimization Handbook," Lewis publishers, USA, 1989.
- 11- Semarnap, Profepa; " Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente", México, D.F. 1996
- 12- INE, "Taller sobre Minimización de Residuos y Producción mas Limpia en América Latina y el Caribe", México D.F., 1996.
- 13- Organización Panamericana de la Salud; "Desechos Peligrosos y Salud en América Latina y el caribe", México 1995.
- 14- "Primer Simposio Nacional sobre Residuos Peligrosos en México", Memorias de Residuos Peligrosos Semarnap-Puma-Concamín 1996, México 1996.
- 15- "Anteproyecto de 1a Norma Oficial Mexicana que Regula el Manejo de Residuos Peligrosos Provenientes de la Industria Siderúrgica", INE, México 1994.
- 16- "Normas Técnicas Ecológicas para diversos Métodos de Tratamiento y Disposición Final de Residuos peligrosos", INE, México 1987

- 17- "Anteproyecto de la Norma Oficial Mexicana que Regula el Manejo de Residuos Peligrosos Provenientes de la Industria Metalúrgica No Ferrosa", Estudios de planeación Ambiental S.A. de C.V., México 1994
- 18- "Anteproyecto de la Norma Oficial Mexicana que Regula el Manejo de Residuos Peligrosos Provenientes de la Industria de la Fundición No Ferrosa", INE, México 1994
- 19- "Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos en Industriales para el Giro de la Fundición" Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, México, D.F., 1996
- 20- "Empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos conforme al RLGEPA en materia de residuos peligrosos", Dirección General de Materiales y Actividades Riesgosas; México, D.F., 1997.
- 21- "Anteproyecto de la Norma Oficial Mexicana para el Tratamiento de los Residuos Hospitalarios Mediante Incineración", Consultoría Integral del Medio Ambiente, S.A. de C.V.; México, D.F., 1993.
- 22- "Anteproyecto de la Norma Oficial Mexicana para el Tratamiento por Incineración de Residuos Peligrosos", Corporación Radian, S.A. de C.V., México, 1993
- 23- "Los Residuos Sólidos y Peligrosos ¿Recursos o desperdicios?, Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos y Peligrosos A.C.; AMCRESPAC. ; México D.F., 1991
- 24- "La Infraestructura para Residuos Industriales, Oportunidades y Obstáculos", Carlos Sandoval Olvera; México, D.F., 1997
- 25- "II Seminario Internacional Sobre: Residuos Sólidos y Restauración de Suelos Contaminados", CENICA, SEMARNAP, JICA; México, D.F., 1999
- 26- "Química Analítica Cualitativa", Arthur I. Vogel; Editorial Kapelusz; Buenos Aires Argentina 1984.
- 27- INE-SEMARNAP "Gaceta Ecológica, No. 39, México, D.F. 1996.
- 28- Asociación Mexicana de Seguridad e Higiene, A.C.; "Higiene Seguridad"; México, D.F.; 1994.
- 29- La Jornada, "Estudiarán la Contaminación por Plomo en Niños de Torreón"; Febrero 29, México 1999.
- 30- Kirk-Othmer, Vol. 24, "Industrial Waste"; 1981.
- 31- Rafael Jiménez Barranco, "Residuos Peligrosos Metálicos"; LTP 1995-6; FES-ZARAGOZA, UNAM, México D.F., 1995.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Se desprende que al trabajar con los residuos peligrosos es preciso tener al alcance información relativa a las propiedades de las sustancias que los conforman y conocer ciertos conceptos para poder manipular adecuadamente para mayor seguridad.

CAPACIDAD OXIDANTE O COMBURENTE

Se define así a la capacidad de liberar oxígeno para auxiliar en la combustión de materiales orgánicos y en la descomposición o degradación de materiales inorgánicos.

CORROSIVIDAD

Se considera que una sustancia es corrosiva cuando es capaz de descomponer a otras en función de la liberación de hidrógeno, degrada químicamente a los materiales con los cuales entran en contacto. Se considera peligrosa una sustancia corrosiva si tiene la capacidad de penetrar el acero con una densidad de un cm. en periodo de 24 horas. Para tales efectos de derrames de materiales peligrosos, es corrosiva cualquier sustancia que exhiba un pH menor de dos o mayor de doce.

DEGRADABILIDAD

Las sustancias pueden ser degradadas de 3 maneras: se les puede disminuir su actividad a través del tiempo, mediante procesos químicos (quimiodegradabilidad), tal como ocurre con los ácidos y las bases; por la acción de la luz (fotodegradabilidad), como sucede con las piretrinas; o mediante la acción de microorganismos (biodegradabilidad), como es el caso de la celulosa, los peróxidos y algunos hidrocarburos.

DISOCIACIÓN E IONIZACIÓN

Al solubilizarse, las sustancias iónicas se disocian, esto quiere decir que un átomo o un grupo de átomos se separan un poco de la sustancia original y adquieren una carga positiva (catión) a una negativa (anión).

EFLUENTE TRATADO

Se consideran efluentes tratados, los que resultan de procesos de tratamiento destinados a separar de una corriente, tanto sólidos suspendidos como sustancias disueltas que no se permite sean descargadas al drenaje.

ELIMINACIÓN

Ocurre ya sea por secreción urinaria y lo intestinal y por biotransformación

ENVASES Y EMPAQUES

En este rubro se agrupan los materiales utilizados como contenedores tanto de materias primas como de productos, éstos pueden ser desde sacos, bolsas (de papel, cartón, plástico, cajas, tambores, cuñetes, etc.) que hayan sido usados para contener productos tóxicos.

ESCORIAS

Son el producto de la calcinación de la piedra caliza, añadida durante el proceso de fusión entre metales; por tanto, son generadas en la industria de la fundición contienen diversos metales, carbón, etc.

EXPLOSIVIDAD

Las sustancias explosivas son aquellas que de manea espontanea o por una reacción química pueden desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que causen daño a los alrededores.

FLAMABILIDAD

La flamabilidad de un material tiene que ver con su grado de susceptibilidad par arder, al aumentar su temperatura. Las sustancias más flamables son líquidos con punto de ignición por debajo de 60°C.

GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Conforme al reglamento en materia de residuos peligrosos, es la acción de producir dichos residuos.

LIXIVIADO

Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percloración y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

LIXIVIACIÓN

Es la transferencia de un componente soluble de un sólido a un disolvente adecuado.

LODOS

En este residuo se agrupan lodos generados en diferentes procesos, y que se componen de materia particulada arrastrada por el líquido utilizado para el lavado que se sedimenta en el fondo del equipo.

MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Se entiende por manejo, el conjunto de operaciones que incluyen almacenamiento, recolección, transporte, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de los residuos peligrosos. Todas estas actividades requieren de autorización del INE.

MATERIAL PELIGROSO

Elementos; sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o de los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico - infecciosas.

PESO ESPECÍFICO

Se refiere a la masa o peso de un volumen igual de agua, se trata de saber si esta sustancia es más o menos pesada que el agua.

PROCESO PIROMETALÚRGICO

Ocurren a temperaturas elevadas en hornos metalúrgicos y el calor necesario para su realización se obtiene de la quema de combustibles o de reacciones exotérmicas.

PROCESO HIDROMETALÚRGICO

Se basan en el empleo de diversas soluciones químicas para disolver los metales contenidos en los minerales por medio de la lixiviación. Después de la lixiviación y purificación de las soluciones se realiza la operación de precipitación de los metales o sus contenidos en la solución por vía química.

PRESIÓN DE VAPOR

Mide indirectamente la cantidad de una sustancia que se vaporiza a temperatura dada.

PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas comprenden aquellas que pueden ser determinadas sin alterar la composición química de la materia; son típicas de cada sustancia o compuesto, u aunque son comunes para varias sustancias, no todas son las mismas para dos compuestos diferentes

PROPIEDADES QUÍMICAS

Son aquellas que pueden ser determinadas cuando la sustancias sufren cambios en su composición básica, y las que al manifestarse, en general se acompañan de cambios en una o varias de sus propiedades físicas.

POLIMERIZACIÓN

Consiste en una reacción química en la cual un gran número de molecular relativamente simple se combinan para formar una gran cadena de moléculas. Una polimerización peligrosa será una reacción en la que se liberan grandes cantidades de energía.

REACTIVIDAD

Una sustancia reactiva es aquella que al entrar en contacto con aire o agua, o a causa de un movimiento, sufre cambios químicos y físicos que pueden estar acompañados por la liberación repentina de energía.

RESIDUOS PELIGROSOS

De acuerdo con la legislación ambiental, son aquellos residuos en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

RESIDUO

Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo genero.

RESIDUOS DE PROCESO

Se considera como un residuo de proceso aquel sólido que ha sido generado durante un proceso de producción, como materiales absorbentes, sustancias o productos que no cumplen con especificaciones mínimas de pureza o calidad, o bien, subproductos cuya comercialización no es económicamente rentable.

SINTERIZADO

Consiste en mezclar los finos los polvos finos de mineral con los de coque y, a continuación, extender esta mezcla sobre unas bandas móviles adecuadas en capas de un espesor inferior a 15mm.

SÓLIDOS RESIDUALES

Se consideran como sólidos residuales el material de desecho que no es generado a través de un equipo, sino a partir de operaciones de maquinado.

SOLUBILIDAD

Esta propiedad se expresa como la cantidad el porcentaje d un material (en peso) que se disuelve en agua a temperatura ambiente. La movilidad de los residuos peligrosos en los suelos se ve favorecida por su solubilidad en agua. Cuando esta es mayor a 500 ppm (parte por millón), los residuos alcanzan una gran movilidad y una mayor concentración en los medios acuáticos como ocurre con el aluminio y el cadmio.

SOLUCIONES GASTADAS

Las soluciones gastadas incluyen a las soluciones que fueron utilizadas en el proceso (procesos electrolíticos, de galvanizado, etc.) o como soluciones reveladoras, fijadoras, estabilizadoras, neutralizadoras, etc. Se les denomina gastadas debido a que la especie iónica de interés ha disminuido notablemente su concentración en dicha solución.

TEMPERATURA DE AUTOIGNICION

Es la temperatura más baja en la cual un material flamable, al mezclarse con el aire, se incendia por sí sólo, sin la presencia de una flama o chispa en una atmósfera enriquecida con oxígeno puede ocurrir una mezcla flamable se incendie espontáneamente a temperaturas bajas que las normales.

TEMPERATURA DE IGNICIÓN

Es la temperatura más baja en la cual un material emite vapores flamables en cantidad suficiente para incendiarse en presencia del aire, ante cualquier fuente de ignición.

VOLATILIZACIÓN

La volatilización consiste en la evaporación de parte de un componente, el cual se genera o se incorpora a una fase gaseosa; en este proceso ocurre una concentración de componente tanto en la fase líquida como en la fase gaseosa. La volatilidad de compuestos orgánicos en residuos del manejo de combustibles y otros derivados del petróleo imponen riesgos de inhalación de sustancias tóxicas.

**APLICACIÓN DE UN
PROCESO QUÍMICO
PARA EL
TRATAMIENTO DE LOS
RESIDUOS PELIGROSOS
GENERADOS EN EL
PROCESO DE PROCCIÓN
DE ALUMINIO**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

PRODUCCIÓN DE ALUMINIO

Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en metal no ferroso de mayor uso. El aluminio puede extraerse de muchos minerales, pero prácticamente, sólo se beneficia la bauxita y la criolita. El aluminio se produce por la electrólisis de alúmina, esta última es producida de mineral crudo (bauxita). La operación propiamente dicha del metal, se opera por electrólisis que descompone su aluminio y oxígeno, la alúmina disuelta en la proporción del diez por ciento en criolita fundida. La operación se realiza en hornos electrolíticos cuyo crisol de hierro, revestido interiormente con bloques de antracita constituye el cátodo mientras que los ánodos son barras de coque aglomerado. El calor que se desprende entre los electrodos donde se eleva la temperatura del baño hasta 950° C. La electrólisis lentamente del aluminio, se acumula en el fondo de la cuba y se extrae periódicamente. Al mismo tiempo se rellena agregándole alúmina por arriba.

Los ánodos se consumen durante la operación y para evitar las pérdidas de tiempo que se invertiría en reemplazarlos, se han ideado electrodos continuos constituidos por tubos de aluminio, en los cuales se inyecta constantemente y a presión coque pulverizado y aglomerado con brea.

Para fabricar una tonelada de aluminio se necesitan 4 toneladas de bauxita o sea dos toneladas de alúmina. El aluminio así fabricado tiene una pureza de 99.5% y hasta 99.8%. La refinación electrolítica del mismo permite pasar a 99.99%. El aluminio se produce por la electrólisis de alúmina, esta última es producida de mineral crudo (bauxita) por el proceso Bayer.

En el proceso Bayer, la bauxita finamente molida es reactivada con una solución de hidróxido de sodio en depósitos de digestión a altas temperaturas y presiones. El óxido de aluminio se disuelve como aluminato de sodio, mientras las impurezas tales como sílice, fierro, calcio y óxidos de titanio se dejan como residuos insolubles conocido como lodo rojo.

Después de la recuperación de calor y de enfriamiento, la separación de líquidos / sólidos tienen lugar por etapas. El lodo rojo se filtra y la solución limpia se cristaliza en precipitadores para formar cristales de alúmina. La alúmina se calcina en hornos rotatorios y se almacena antes de la reducción electrolítica.

La producción de metal de aluminio se realiza en una serie de depósitos electrolíticos grandes llamados celdas. Estas son celdas de lotes o semi lotes de 10-15 m de largo, de 3-4 m de ancho y de 1-2 m de alto, con barras de acero catódico y ánodos de carbón, guardadas en un casco forrado con refractarios.

La corriente electrolítica es típicamente de 280,000 amps, con una temperatura de baño de 980°C. Muchas fundidoras de aluminio fabrican sus propios ánodos de carbón, con brea horneada.

La reducción electrolítica a metal de aluminio se lleva a cabo en un electrolito de sal fundida consistente de creolita (floruro de aluminato de sodio) con adiciones menores de otras sales.

Las emisiones de gases y partículas generadas en el horno de electrodos y en las celdas de reducción son captados y conducidos a un lavador de gases que emplea una solución de cal con el fin de captar la mayoría, generándose residuos: lodos de las soluciones de cal del lavador de gases en la fundición y refinado de aluminio, en el cual se encuentran cantidades de hidróxidos de metales (zinc, magnesio y aluminio).

El metal líquido es vaciado, aleado con otros metales, tales como magnesio o zinc y colado en lingotes para darle una forma por colado, enrollado, forjado o extrusión.

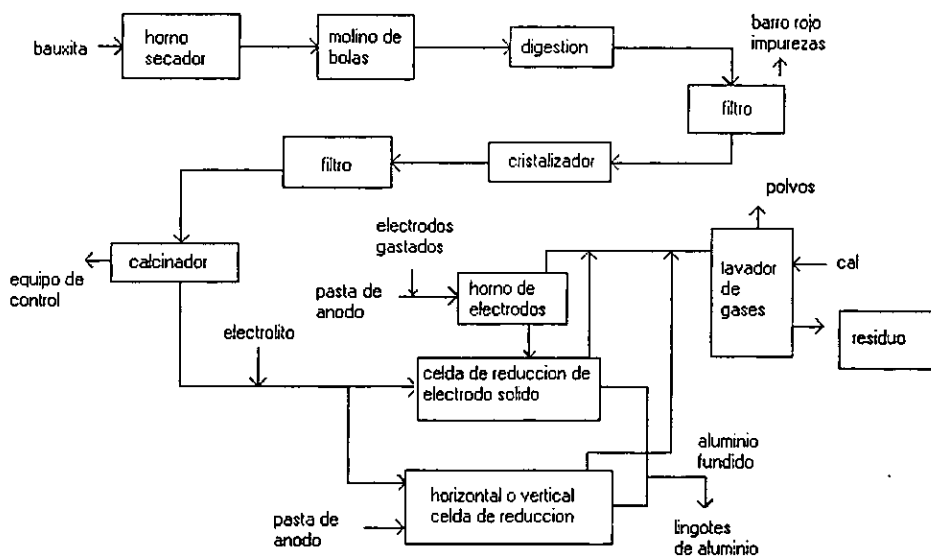


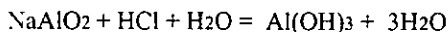
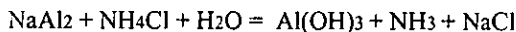
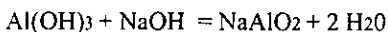
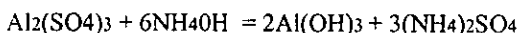
DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PRODUCCION DE ALUMINIO

METODOLOGÍA PARA LA SEPARACIÓN DE METALES QUE CONTIENE UN RESIDUO PELIGROSO QUE SE GENERA EN EL PROCESO DE ALUMINIO

Para separar los constituyentes se utilizo la siguiente metodología en particular, pero dependiendo de la composición cambia esta(26):

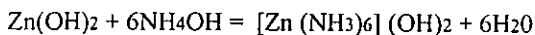
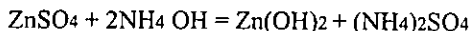
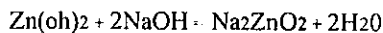
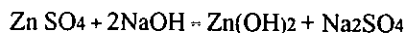
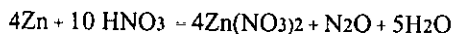
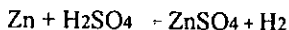
1. Se agrega unas gotas de HCl diluido a la solución fría. Si se forma precipitado se sigue agregando HCl hasta que no se forme más precipitado. Se filtra.
2. Al filtrado se agrega gota a gota, solución de sulfuro de amonio, hasta que no se forme más precipitado o se agrega una solución de NH_4OH y se pasa H_2S durante 1 minuto. Se hierve y se filtra.
3. Se obtiene un precipitado y se identifica el catión Al^{+++} de la siguiente manera:
 - Se adifica con HCl y agrega luego NH_4OH hasta reacción alcalina. Se procede a calentar a ebullición. Precipitado blanco de $\text{Al}(\text{OH})_3$. Esto indica la presencia de aluminio.

Reacciones del ion aluminio



4. Se procede a separar al catión Zn , contenido en el filtrado.
5. No debe de dar precipitado con solución de sulfuro de amonio. Se concentra en una cápsula de porcelana a uno 10 ml. Se agrega una pequeña cantidad de solución de NH_4OH y después, un ligero exceso de solución de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.
6. Se calienta, pero sin hervir. Posteriormente se deja en reposo durante 5 minutos y se filtra.
7. Analizar el precipitado para comprobar la presencia de Zn^{++} , mediante la prueba siguiente:
 - Se pasa H_2S durante un minuto, dando un precipitado blanco de ZnS lo que indica la presencia de Zinc.

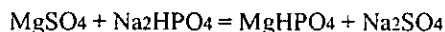
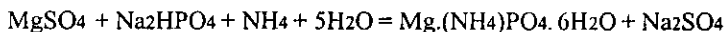
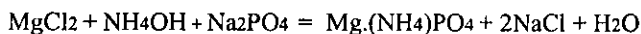
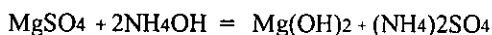
Reacciones del ion zinc



8. Finalmente se obtiene un filtrado que contiene Mg^{++} , en el cual se adicionan las soluciones de NH_4Cl , NH_4OH Y Na_2HPO_4 a la solución fría da un precipitado de $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$ para lo cual se identifica con dos formas diferentes:

- Se separa el precipitado por filtración y se disuelve en caliente algunos ml de HCl diluido, se agregan algunas gotas de reactivo magneson y un exceso de solución de NaOH . Un precipitado azul confirma presencia de magnesio.
- Se agrega solución de NH_4OH y un exceso de solución de Na_2HPO_4 . Se enfría y se agita.
- Un precipitado cristalino blanco indica la presencia de magnesio.

Reacciones del ion magnesio



Nota: dependiendo el estado químico del residuo, cambia el procedimiento de separación

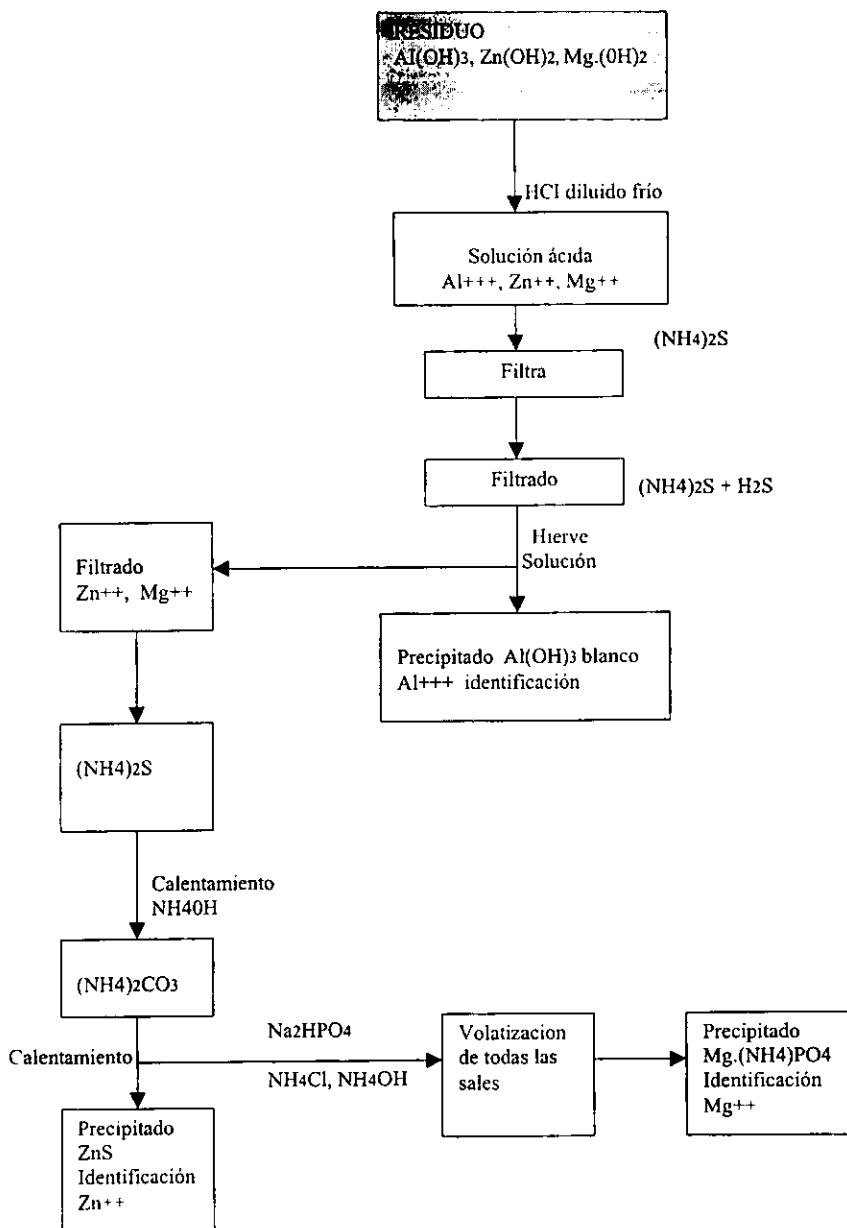


Diagrama de la separación de metales que contiene un residuo

CLASIFICACIÓN DE LOS IONES DE METALES O CATIONES

Grupo	Reactivo de Grupo	Iones	Precipitado	Características
I (Grupo de la plata)	HCl diluido	Ag ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Hg ⁺⁺	AgCl, PbCl ₂ , Hg ₂ Cl ₂	Cloruros insolubles en HCl diluido
II (Grupos del cobre y del arsénico)	H ₂ S en presencia de HCl diluido	Hg ⁺⁺ , Pb ⁺⁺ , Bi ⁺⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Cd ⁺⁺ , Sn ⁺⁺ , As ⁺⁺⁺ , Sb ⁺⁺⁺ , Sn ⁺⁺⁺⁺	HgS, PbS, Bi ₂ S ₃ , CuS, CdS, SnS, As ₂ S ₃ , Sb ₂ S ₃ , SnS ₂	Sulfuros insolubles en HCl diluido.
IIIA (Grupo del hierro)	NH ₄ OH en presencia de NH ₄ Cl	Al ⁺⁺⁺ , Cr ⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	Al(OH) ₃ , Cr(OH) ₃ , Fe(OH) ₃	Hidróxidos precipitables por NH ₄ OH en presencia de NH ₄ Cl
IIIB (Grupo del zinc)	(NH ₄) ₂ S en presencia de NH ₄ OH y NH ₄ Cl	Ni ⁺⁺ , Co ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Zn ⁺⁺	NiS, CoS, MnS, ZnS	Sulfuros precipitables por (NH ₄) ₂ S en presencia de NH ₄ Cl
IV (Grupo del calcio)	(NH ₄) ₂ CO ₃ en presencia de NH ₄ OH Y NH ₄ Cl	Ba ⁺⁺ , Sr ⁺⁺ , Ca ⁺⁺	BaCO ₃ , SrCO ₃ , CaCO ₃	Carbonatos precipitables por (NH ₄) ₂ CO ₃ EN presencia de NH ₄ Cl
V (Grupo de los metales alcalinos)	Sin reactivo del grupo	Na ⁺ , K ⁺ , (Li ⁺), NH ₄	Sin precipitación de grupo	Iones que no precipitan en los grupos anteriores

Nota: a continuación se describirá solamente el grupo I Y II.

**TABLA I. --ANALISIS DEL GRUPO DE LA PLATA
GRUPO**

<p>El Residuo puede contener: $PbCl_2$, $AgCl$ y Hg_2Cl_2. El precipitado se lava sobre el filtro con HCl diluido, después con cantidades con pequeñas cantidades de agua fría, y se desechan los lavados. Se traspasa el precipitado a un recipiente y se hierve con agua. Se filtra en caliente.</p>		
<p>Residuo. Puede contener: Hg_2Cl_2 y $AgCl$. Se lava el precipitado varias veces con agua caliente hasta que el filtrado no de un precipitado con solución de K_2CrO_4; así se consigue la total separación del plomo Se vierte una cantidad de solución de NH_4OH sobre el precipitado y se recoge el filtrado</p>		<p>Filtrado: Puede contener $PbCl_2$. Se enfría la solución y entonces se obtiene un precipitado cristalino blanco, si está presente el plomo en una concentración algo elevada. Se divide el filtrado en 3 porciones:</p>
<p>Residuo Si es negro es $Hg.(NH_2)Cl + Hg$. Indica: presencia de MERCURIO (Hg^{++})*</p>	<p>filtrado: Puede contener $[Ag.(NH_3)_2]Cl$ Se divide en dos proporciones: (I) Se agrega HNO_3 diluido hasta reacción ácida(se agita). Se obtiene un precipitado blanco de $AgCl$. (II) Se agrega solución de KI Se forma un precipitado amarillo pálido de AgI. Indica: Presencia de PLOMO</p>	<p>(I) Se agrega solución de K_2CrO_4, se obtiene un precipitado amarillo de $PbCrO_4$ insoluble en ácido acético diluido. (II) Se agrega solución de KI. Se forma un precipitado amarillo de PbI_2 soluble en agua hirviente, dando solución incolora que, por enfriamiento, deposita cristales amarillos. (III) Se agrega H_2SO_4 diluido. Se obtiene un precipitado blanco de $PbSO_4$, soluble en solución de acetato de amonio. Indica: Presencia de PLOMO</p>

* Esta es una reacción concluyente para el mercurio (oso). Además, puede ser confirmado disolviendo el precipitado en agua regia hirviendo, diluyendo, filtrando si fuera necesario y agregando entonces solución SnCl_2 . Se obtiene un precipitado blanco de Hg_2Cl_2 que pasa a gris cuando se reduce a mercurio metálico.

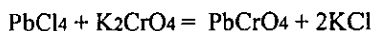
**Si el mercurio está presente en una cantidad apreciablemente grande y no se ha investigado aún plata, se efectúa la reacción anterior para mercurio y se trata el residuo insoluble en agua regia, previamente lavado a fondo con solución diluida de NH_4OH . Se filtra, si fuera necesario y se agrega HNO_3 diluido a la solución. Se forma un precipitado blanco de AgCl si hay presente cantidades pequeñas de plata. Este otro procedimiento para separar mercurio y plata en la mezcla de Hg_2Cl_2 - AgCl .

Cuando la cantidad de $\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{Cl} + \text{Hg}$ es grande y la de AgCl es pequeña, el AgCl puede ser reducido a plata según la reacción: $2\text{Hg} + 2\text{AgCl} = 2\text{Ag}$, por lo que luego no se encuentra en la solución amoniacal.

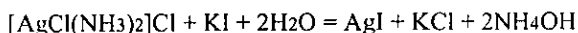
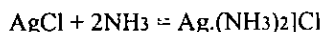
EXPLICACIÓN DE LA TABLA 1. ANÁLISIS DEL GRUPO I

Los iones plomo, plata y mercurio precipitan con HCl diluido como cloruros insolubles: PbCl_2 , AgCl y Hg_2Cl_2 respectivamente; los cloruros de los demás metales comunes son solubles. La separación se basa en los siguientes hechos:

- 1- El PbCl_2 es soluble en agua caliente, mientras que el Hg_2Cl_2 y AgCl son insolubles. Por lo tanto, la extracción del precipitado con agua caliente separa el PbCl_2 . En la solución así obtenida se efectúan las reacciones para confirmar la presencia de los iones plomo, con solución de cromato de potasio:



- 2- El AgCl es soluble en solución diluida de NH_4OH produciéndose la sal compleja soluble, $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$. La solución de esta sal compleja se descompone por HNO_3 diluido precipitando AgCl y por la solución de KI precipitando AgI .



- 3- La transformación del Hg_2Cl_2 mediante solución de NH_4OH en la mezcla negra, insoluble, de cloruro de amonio mercúrico, $\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{Cl}$ y mercurio finamente dividido.



El agua regia transforma la mezcla negra en HgCl₂. El ion mercurico se reconoce con solución de SnCl₂ o, en solución neutra, con el reactivo etilendiamina.

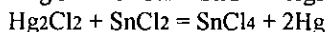
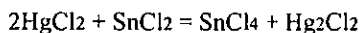
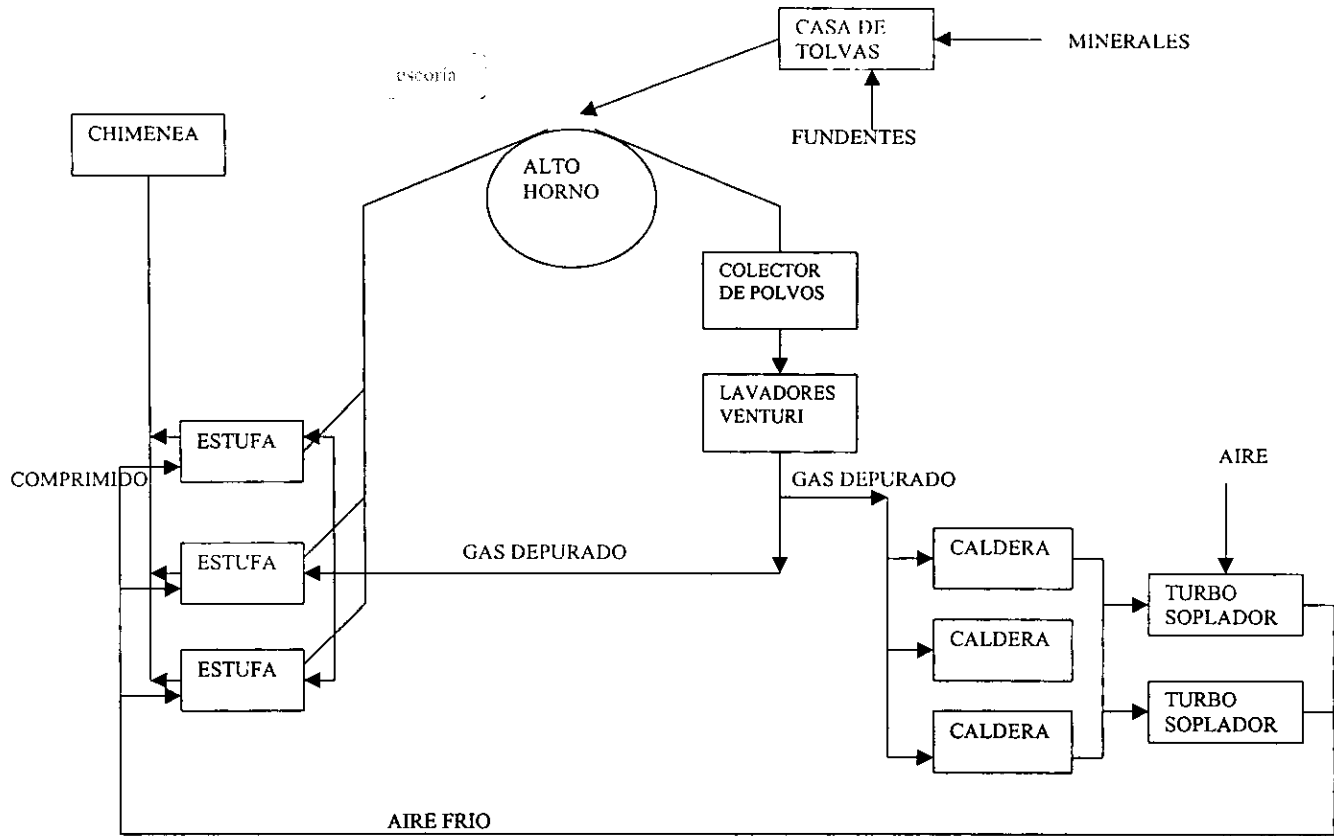


TABLA II.-- ANÁLISIS DEL GRUPO DEL COBRE

El precipitado puede contener HgS, PbS, Bi ₂ S ₃ , CuS y CdS. Se traspasa a un recipiente, sé Agrega una cantidad de HNO ₃ diluido, se hierve durante 5 minutos y se filtra			
Residuo: Negro: HgS, se disuelve en agua regia o en agua de Br ₂ ; por ebullición se separa el halógeno, se diluye y se agrega solución de SnCl ₂ . Se obtiene un precipitado blanco o gris Indica: Presencia de MERCURIO	Filtrado. Puede contener nitratos de plomo, bismuto, cobre y cadmio. En una pequeña porción se investiga plomo, agregando H ₂ SO ₄ , diluido y alcohol. Un precipitado blanco de PbSO ₄ , indica presencia de plomo		
	Residuo: Blanco; PbSO ₄ . Se lava. Se disuelve en solución de acetato de amonio, se agrega ácido acético diluido y solución K ₂ CrO ₄ . Se obtiene un precipitado de amarillo de PbCrO ₄ . Indica: Presencia de PLOMO	Filtrado. Puede contener nitratos y sulfatos de bismuto, cobre y cadmio. Se agrega solución de NH ₄ OH hasta que la reacción sea francamente alcalina. se filtra	
		Residuo blanco; Bi(OH) ₃ . Se lava, se disuelve en HCl diluido y se vierte en una solución fría de estaño de sodio. Se produce un precipitado negro. También se puede disolver el precipitado en HNO ₃ diluido y agregar solución de Na ₂ HPO ₄ , se obtiene un precipitado blanco de BiPO ₄ . Indica: presencia de BISMUTO.	Filtrado Si es azul, contiene [Cu(NH ₃) ₄]SO ₄ QUE indica presencia de COBRE Si es incoloro no hay cobre Filtrado incoloro (puede contener [Cd(NH ₃) ₄]SO ₄). Se pasa H ₂ S durante 30 segundos. Un precipitado inmediato amarillo de CdS. Indica: presencia de CADMIO

DIAGRAMAS



Residuo peligroso

FIG.1 ESQUEMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DE ALTO HORNO PARA LA PRODUCCIÓN DEL HIERRO

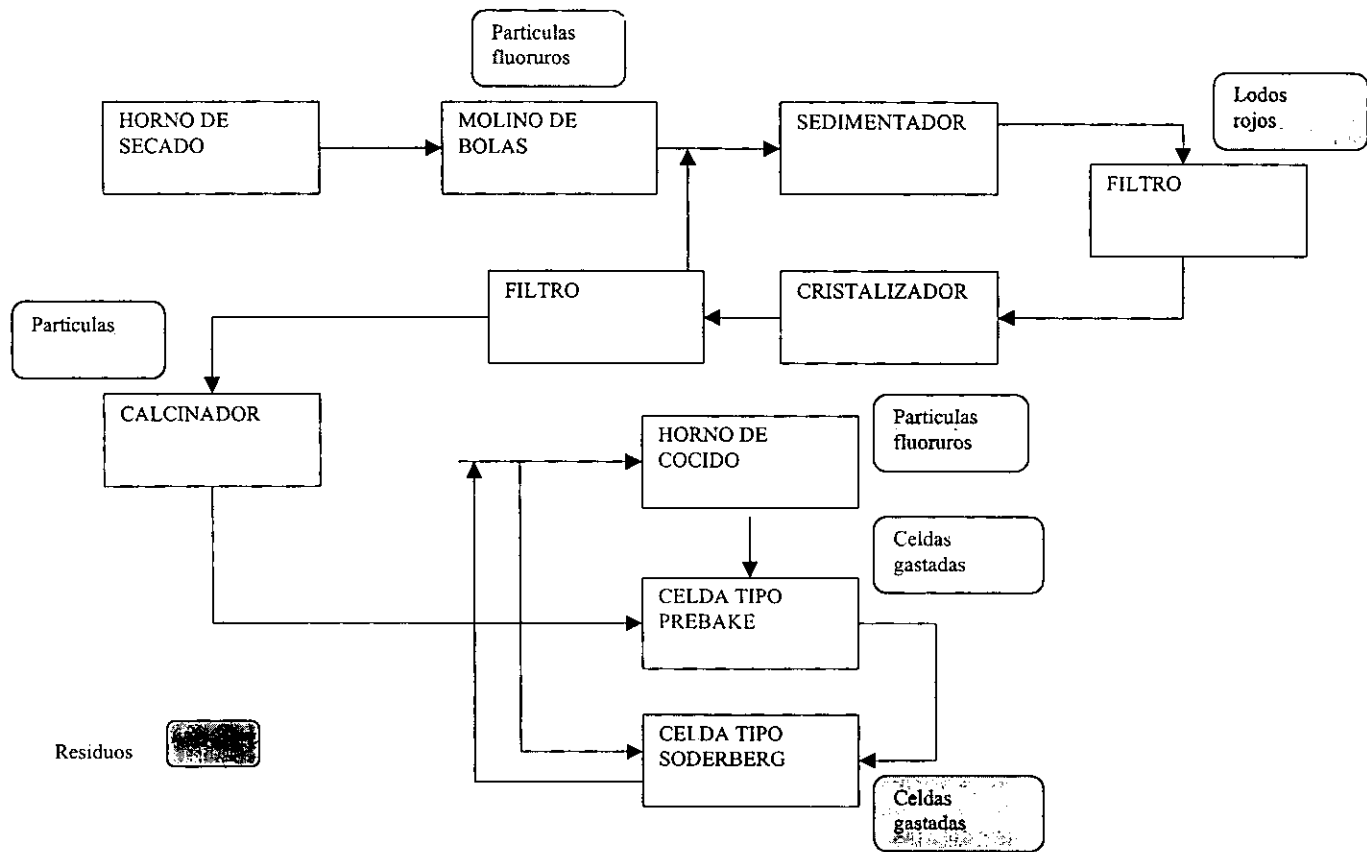


FIG. 2. DIAGRAMA DE GENERACION DE RESIDUOS DE ALUMINIO

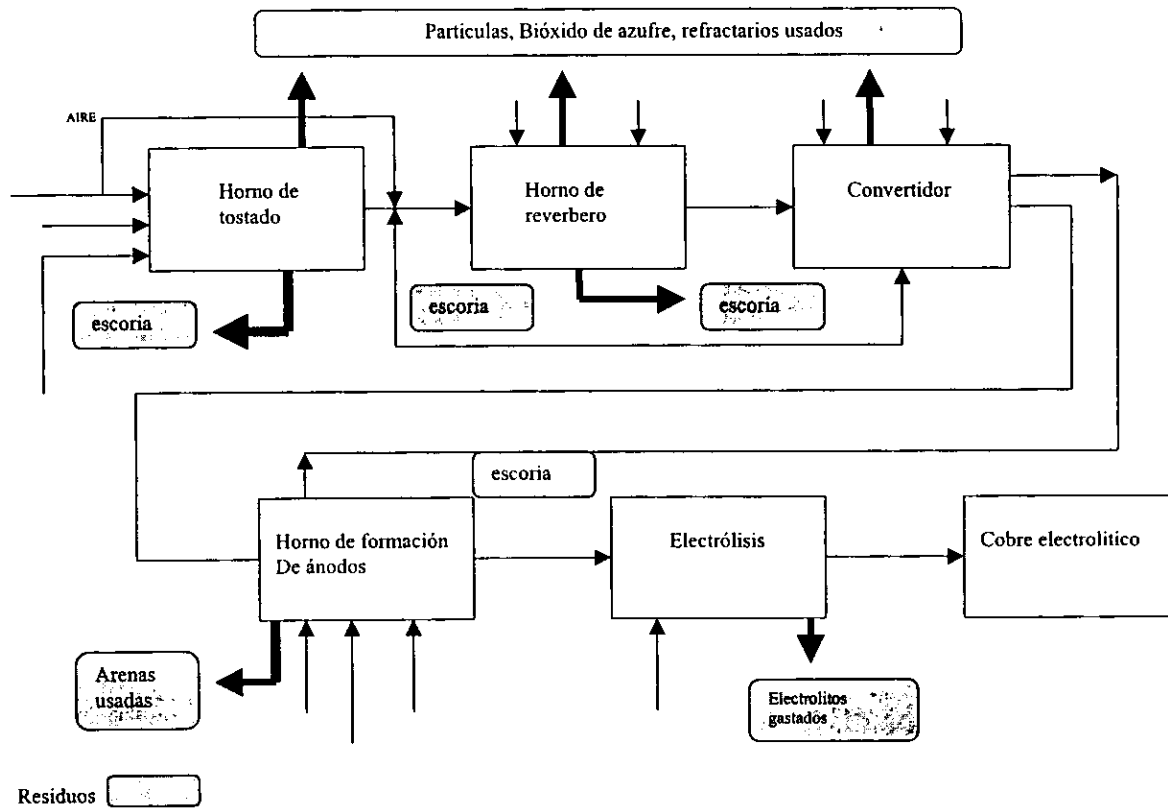


FIG. 3 DIAGRAMA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA PRODUCCION DE COBRE

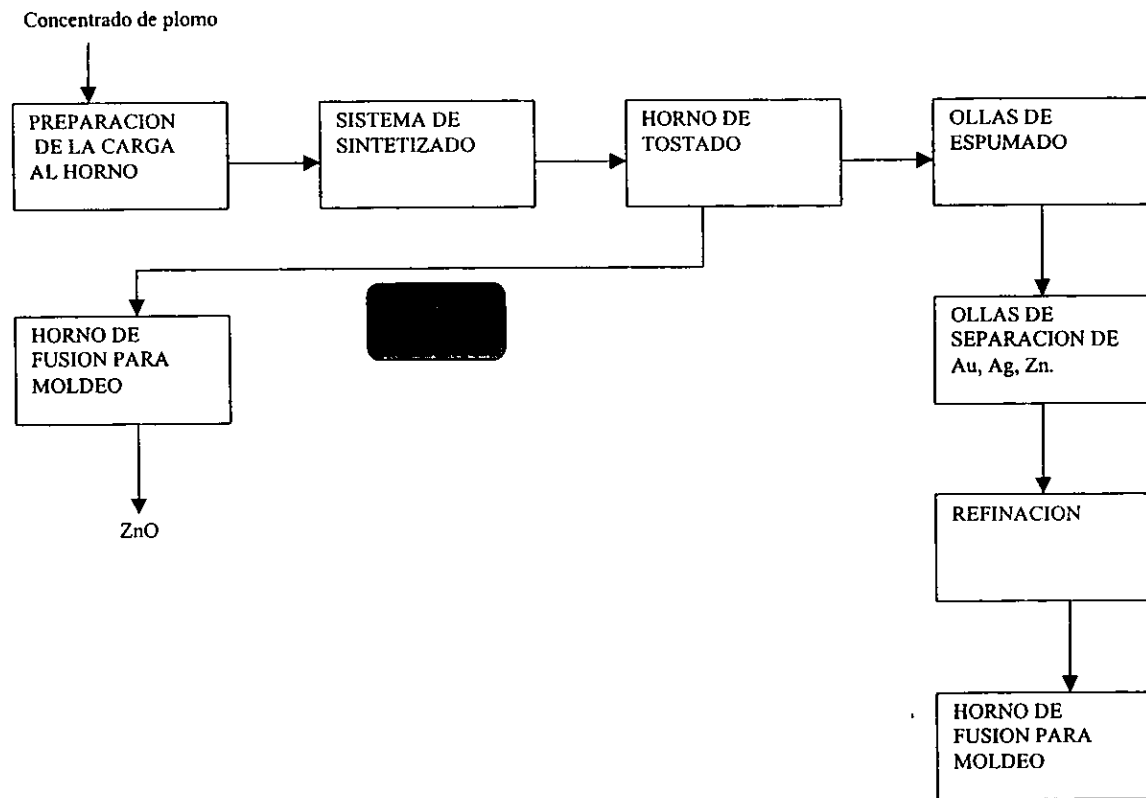


FIG. 4 DIAGRAMA DE BLOQUES EN LA OBTENCION DE PLOMO

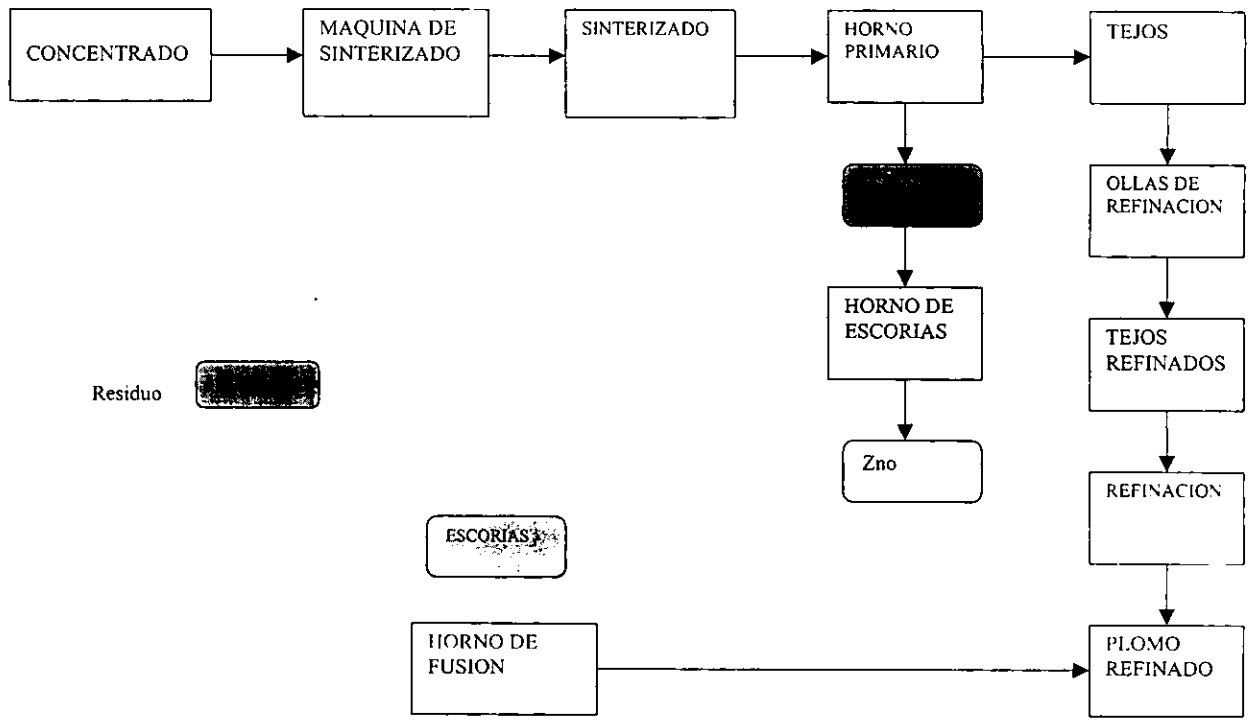


FIG.5 DIAGRAMA GENERAL DE PROCESOS DE LA INDUSTRIA DEL PLOMO

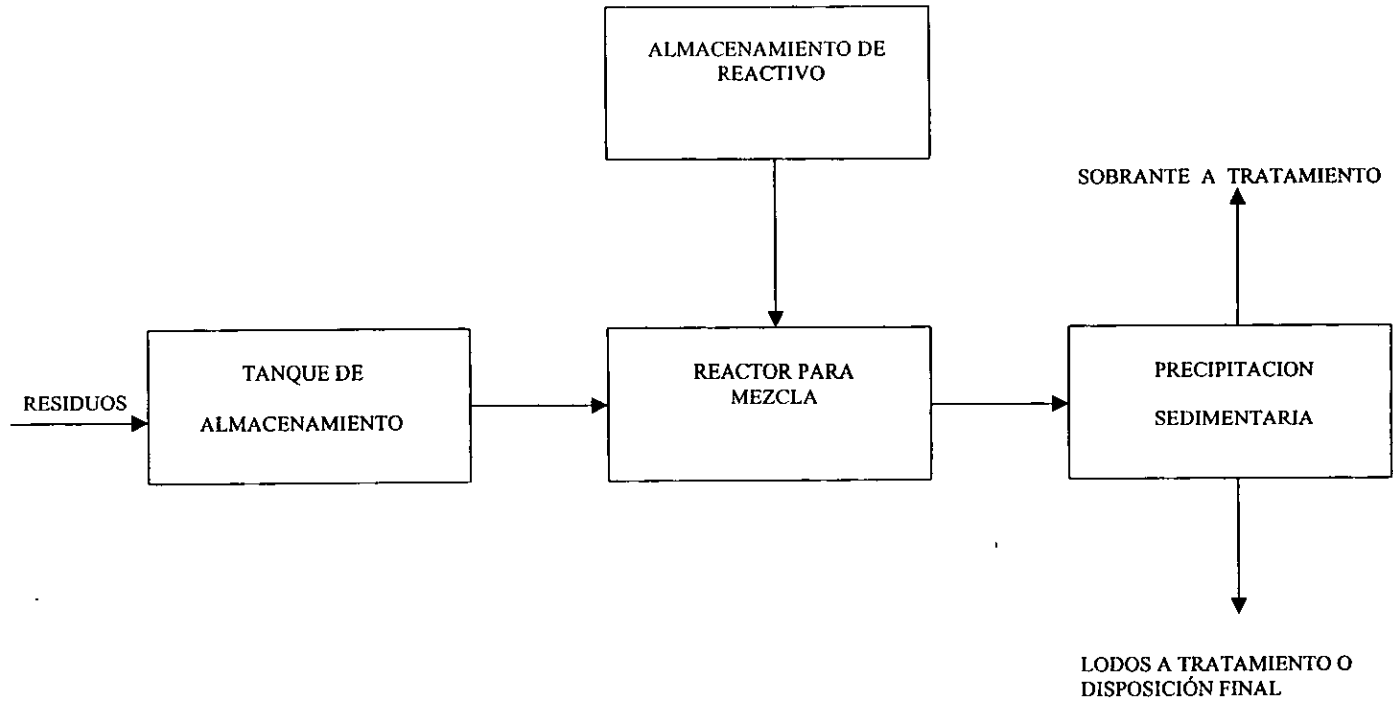


FIG.6 DIAGRAMA DE BOLQUES PARA EL PROCESO DE PRECIPITACION QUÍMICA

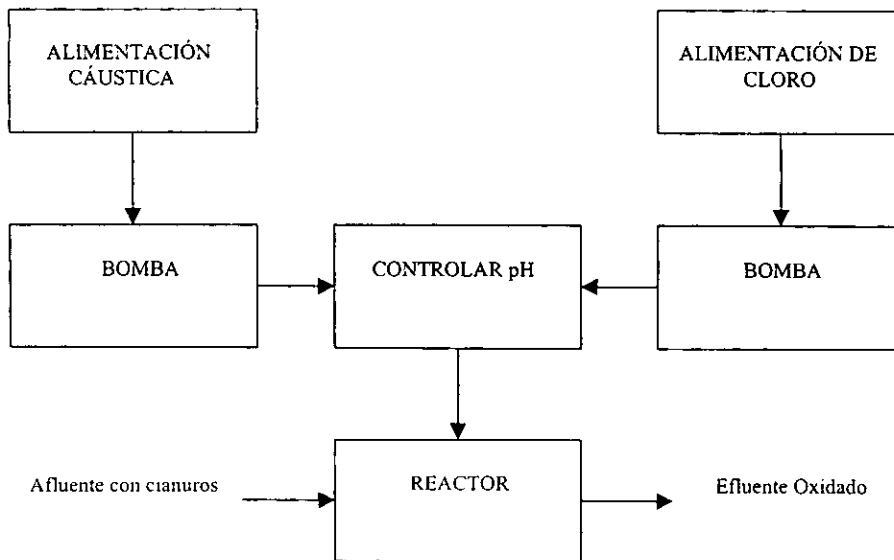


FIG. 7 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL PROCESO DE OXIDACIÓN

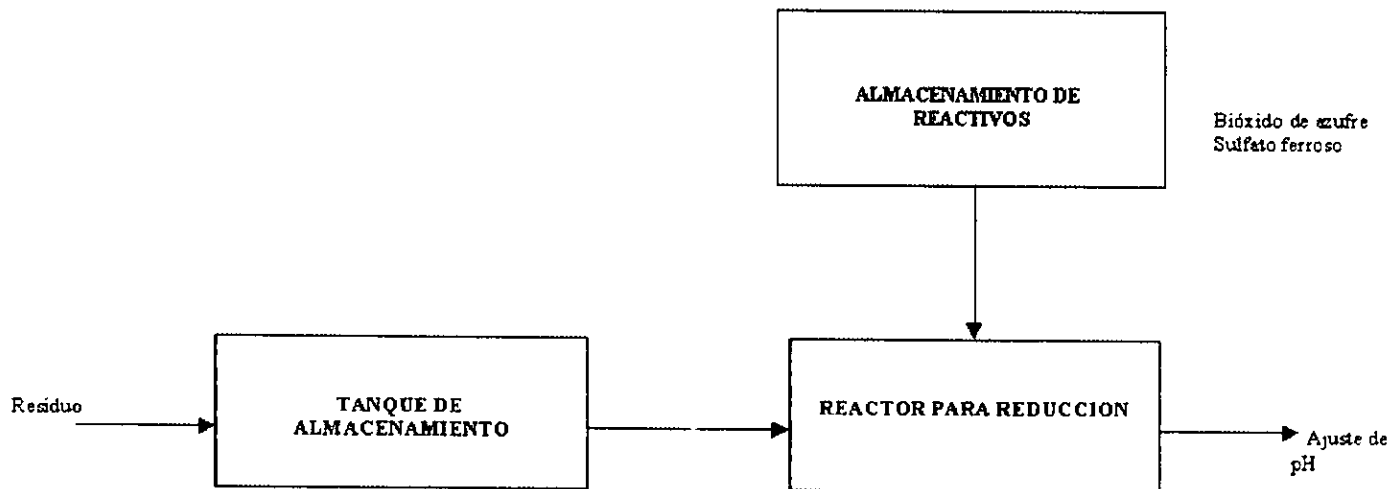


FIG. 8 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL PROCESO DE LA REDUCCION.

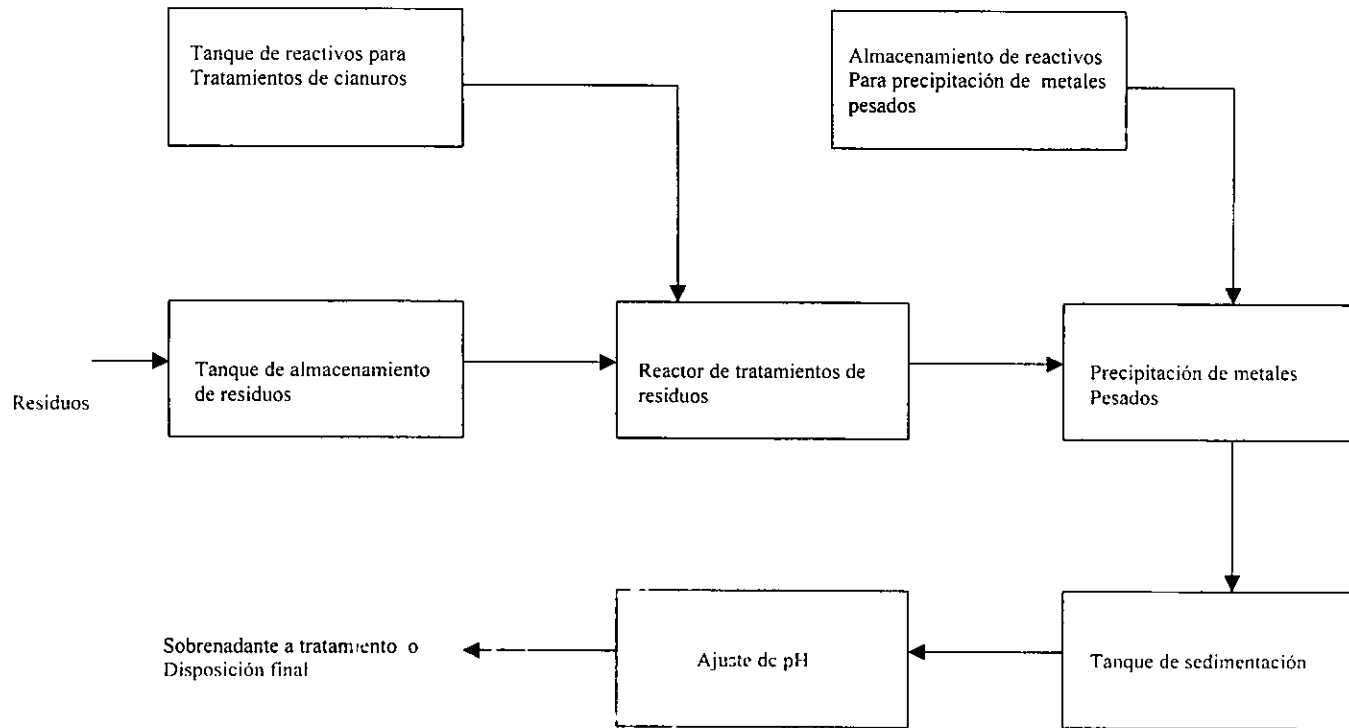


FIG. 9 PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DILUIDAS Y CONCENTRADAS DE ÁCIDOS Y BASES CONTENIENDO METALES PESADOS.

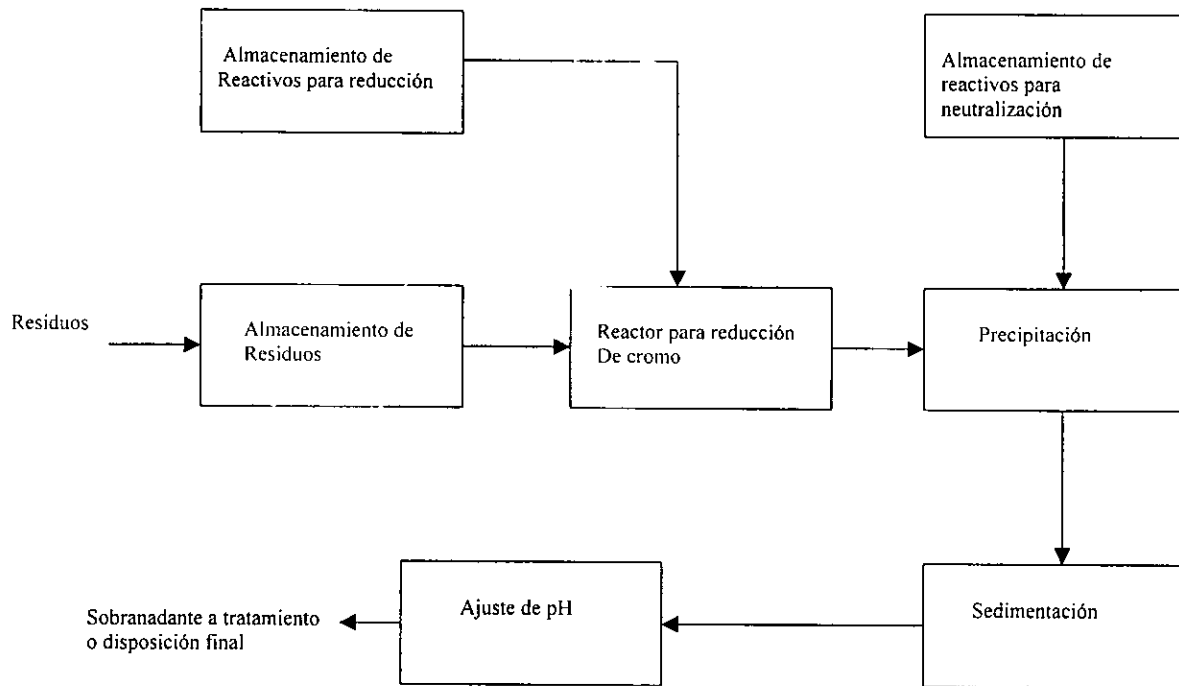


FIG. 10 PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN PARA SOLUCIONES CONTENIENDO ÁCIDO CROMICO

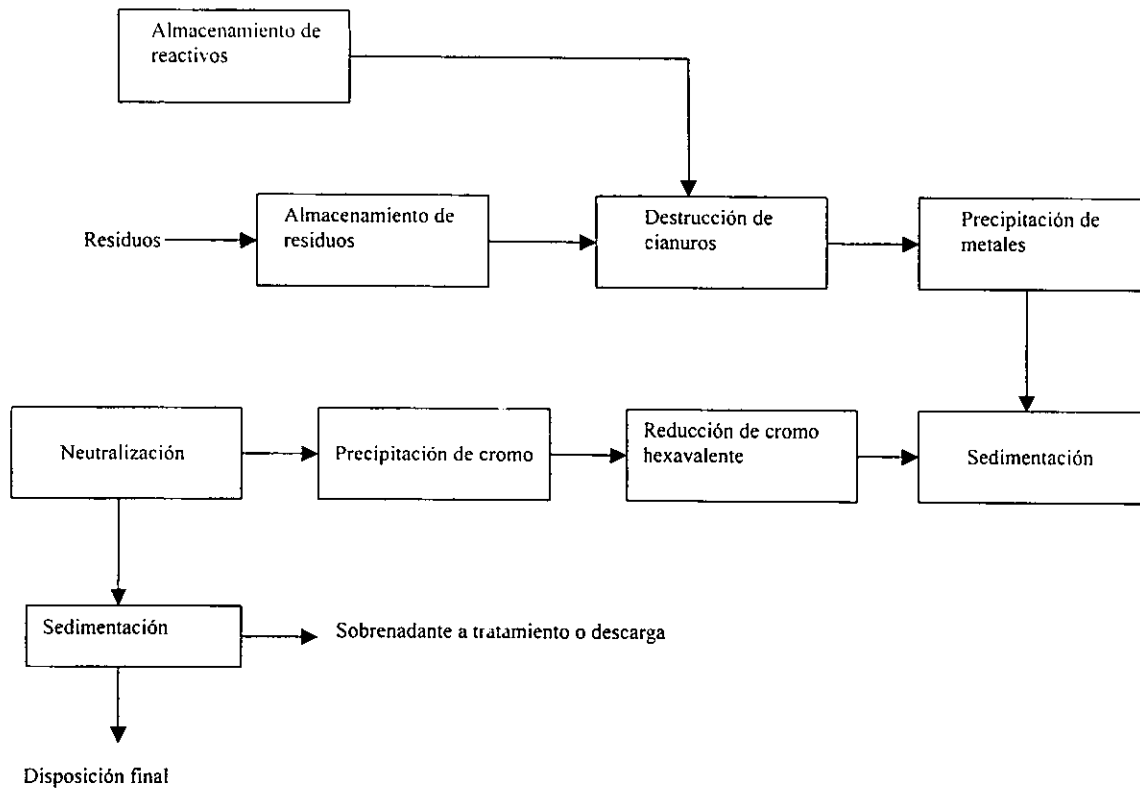


FIG. 11 PROCESO DE NEUTRALIZACIÓN Y AJUSTE DE pH EN EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTENIENDO CIANUROS, METALES PESADOS

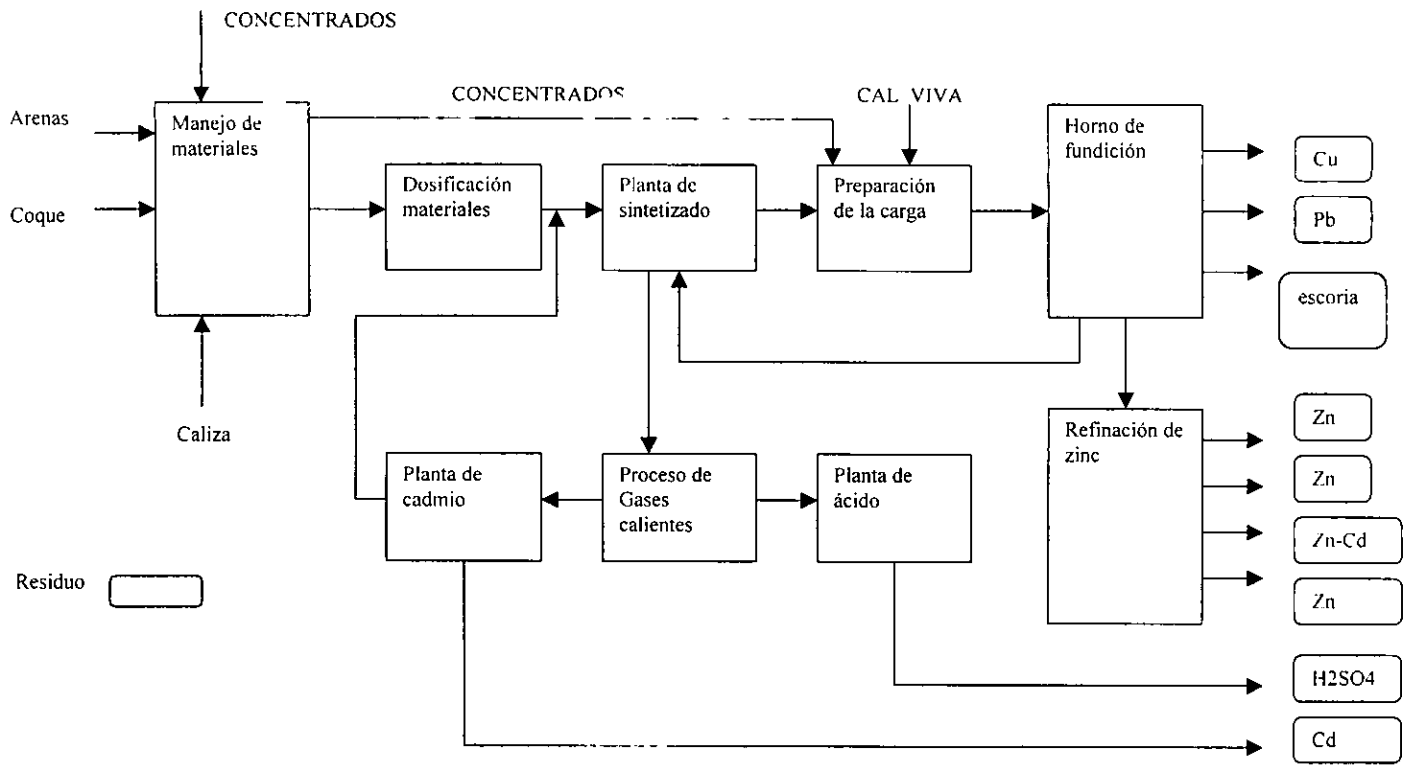


FIG.12. DIAGRAMA GENERAL DE PROCESOS DE LA INDUSTRIA DEL ZINC