



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

T E S I S

**“OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE
ALUMINIO A PARTIR DE LODOS DEL PROCESO
DE ANODIZADO”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO INDUSTRIAL

PRESENTAN

**Omar Asael Hernández Montiel
Julio César Vargas Cuevas**

Tijuana, B. C.

Abril de 2007

Universidad Autónoma de Baja California
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
E INGENIERÍA

FOLIO No. **223**

Tijuana, B.C.
03 de enero de 2007

C. OMAR ASael HERNÁNDEZ MONTIEL

Pasante de QUÍMICO INDUSTRIAL

Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la

Opción TESIS

es propuesto, por el C. DR. GERARDO CÉSAR DÍAZ TRUJILLO Y M.C. MARÍA DEL PILAR HARO VÁZQUEZ

quien será el responsable de la calidad de trabajo que usted presente, referido al tema

"OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE ALUMINIO A PARTIR DE LODOS DEL PROCESO DE

ANODIZADO"

el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- ANTECEDENTES
- III.- OBJETIVO
- IV.- MATERIALES Y MÉTODOS
- V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
- VIII.- BIBLIOGRAFÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS E INGENIERÍA

M.C. MARÍA DEL PILAR HARO
VÁZQUEZ
ASESOR

M.C. RUBÉN GUILLERMO SEPÚLVEDA
MARQUÉS
Sub-Director Secretario

DR. GERARDO CÉSAR DÍAZ
TRUJILLO
Asesor

M.C. MARÍA EUGENIA PÉREZ MORALES
Directora

Universidad Autónoma de Baja California

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

FOLIO No. **221**

Tijuana, B.C.
03 de enero de 2007

C. JULIO CÉSAR VARGAS CUEVAS

Pasante de QUÍMICO INDUSTRIAL

Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la

Opción TESIS

es propuesto, por el C. DR. GERARDO CÉSAR DÍAZ TRUJILLO Y M.C. MARÍA DEL PILAR HARO VÁZQUEZ

quien será el responsable de la calidad de trabajo que usted presente, referido al tema

"OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE ALUMINIO A PARTIR DE LODOS DEL PROCESO DE

ANODIZADO"

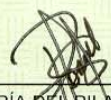
el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- ANTECEDENTES
- III.- OBJETIVO
- IV.- MATERIALES Y MÉTODOS
- V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
- VIII.- BIBLIOGRAFÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA

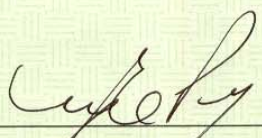


FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS E INGENIERÍA


M.C. MARÍA DEL PILAR HARO
VÁZQUEZ
ASESOR


M.C. RUBÉN GUILLERMO SEPÚLVEDA
MARQUÉS
Sub-Director Secretario


DR. GERARDO CÉSAR DÍAZ
TRUJILLO
Asesor


M.C. MARÍA EUGENIA PÉREZ MORALES

Directora

ÍNDICE

	<i>Página</i>
Introducción	1
Antecedentes	
2.1 Residuos peligrosos	3
2.2 Criterios empleados en México para clasificar un residuo como peligroso	14
2.3 Centros de tratamiento y confinamiento en México	17
2.3.1 Infraestructura	17
2.3.2 Confinamientos en México	20
2.3.3 Incineración de residuos peligrosos en México	25
2.3.4 Nuevas Tecnologías: Neutralización y destrucción de las características que hacen a un residuo peligroso	27
2.3.5 Los CIMARIS	28
2.3.6. El caso del CYTRAR Sonora	29
2.4. Normatividad Ambiental en materia de residuos peligrosos	30
2.4.1 Normas Oficiales Mexicanas-ECOL	30
2.4.2 Normas Oficiales Mexicanas-SCT2	33
2.5 Proceso de Anodizado	35
Objetivos	
3.1 Objetivo principal.	45
3.2 Objetivos Específicos	45
Materiales y Métodos	
4.1 Materiales	46
4.2 Métodos	46
4.2.1 Caracterización Mineralógica	46
Resultados Y Discusiones	
5.1 Obtención de Compuestos	51
5.2 Composición mineralógica	52
5.2.1 Residuos Industrial	52
5.2.2 Compuestos Obtenidos	52
Conclusiones	56
Futuras líneas de investigación	57
Bibliografía	58

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Se contó con apoyo financiero de la *Universidad Autónoma de Baja California a través de la Dirección de Investigación y Postgrado* mediante una *Beca*, dentro de programa de apoyo para investigación, específicamente en *9na. Convocatoria* de UABC, por lo cual se desea expresar agradecimiento a ambas instituciones. **"Aprovechamiento de lodos de planta de tratadora de agua en formulación de materiales cerámicos"**

Para lograr hacer efectivo el *Objetivo General*, plantearon una serie de objetivos específicos dentro de los cuales se encuentran:

- Dar *continuidad* en el ámbito regional la investigación dentro del área de aprovechamiento de residuos industriales para generar subproductos, a fin de disminuir el volumen de residuos destinados a confinamiento.
- *Promover* la colaboración entre instituciones educativas en el campo de la investigación,
- Generar grupo de investigadores multidisciplinarios dentro del *Cuerpo Académico de Química de Materiales* a fin de logran un avance mas acelerado en el proceso de caracterización aplicando técnicas utilizadas dentro del proceso de análisis de materiales.
- A la fecha, se cuenta con una *colaboración interinstitucional e internacional* donde participan; Argentina, Bolivia, Brasil, Cuba y España dentro de un *anteproyecto de Red* a presentarse a programa de CYTED, dentro de las

acciones del Cuerpo Académico de Química de Materiales, lo que viene a ratificar la continua colaboración existente.

A raíz de estos objetivos, se genera una serie de proyectos de tesis a nivel Licenciatura dentro del cual se encuentra uno en la carrera de Químico Industrial que lleva como título: "***OBTENCION DE SUBPRODUCTOS DE ALUMINIO A PARTIR DE LODOS DEL PROCESO DE ANODIZADO***" que permite ofrecer el presente trabajo de investigación dentro de la *labor experimental* que se esta realizando en la Universidad Autónoma de Baja California en colaboración con el *Instituto de Investigaciones en Materiales*, institución incluida dentro del grupo de colaboradores con apoyo va agradecimiento a; *Dra. Maria Elena Villafuerte Castrejón, Dr. Jose Chávez Carvayar, Ing. Leticia Baños* por el apoyo durante el proceso de caracterización aplicando Difracción de Rayos X y al Ing. Israel Gradilla del Centro de Ciencias de la Materia Condensada por su apoyo en Microscopía Electrónica de Barrido, ambas instituciones de la *Universidad Nacional Autónoma de México*.

En primer término agradecemos a Dios por habernos permitido materializar un sueño que nos acompaña por largo tiempo.

De igual forma manifestamos el más profundo agradecimiento a toda nuestra familia, especialmente a nuestros padres y hermanos que durante toda nuestra vida nos han acompañado y nos han sabido guiar con su consejo y ejemplo, con paciencia, comprensión, apoyo, confianza y amor indispensables para llegar hasta aquí.

Por otra parte extendemos un agradecimiento especial a nuestros asesores de tesis por su paciencia, apoyo constante y comentario oportuno necesarios para alcanzar nuestras metas, especialmente a la MC María del Pilar Haro Vázquez por orientarnos durante el desarrollo de la tesis.

Especialmente agradezco a mi esposa:

Loana Robles Nevarez

`...por su amor, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de este tiempo.

Omar Asael Hernández Montiel

Índice de Figuras

<i>Figura</i>		<i>Pagina</i>
1	<i>Participación de los sectores económicos en el PIB</i>	3
2	<i>Muestra la clasificación de las 5 regiones generadoras de residuos peligroso en México</i>	10
3	<i>Distribución porcentual de residuos generados a nivel nacional por regiones</i>	11
4	<i>Clasificación de los diferentes residuos peligrosos en la industria manufacturera (cifras en toneladas anuales)</i>	11
5	<i>Distribución de tipo de tratamiento proporcionado al 32 % de residuos peligrosos generados</i>	12
6	<i>Distribución de RIP's de origen industrial</i>	13
7	<i>Diagrama de flujo para la identificación de residuos peligrosos, conforme a NOM-052-ECOLI-1995</i>	17
8	<i>Representación gráfica de Coloide</i>	38
9	<i>Representación gráfica de proceso; a) Coagulación, b) Floculación</i>	39
10	<i>Representación gráfica de adsorción polímero-coloide</i>	40
11	<i>Representación gráfica de adsorción polímero-coloide en vista transversal</i>	40
12	<i>Esquema de un tubo de Rayos X</i>	47
13	<i>Difracción de rayos X por un cristal</i>	49
14	<i>Difractogramas obtenidos DRX de residuo; a) Residuo industrial b) Residuo lavado</i>	52
15	<i>Difractogramas obtenidos DRX de compuestos obtenidos</i>	53
16	<i>Difractogramas obtenidos DRX de fase sólida residual una vez obtenido el compuesto</i>	54
17	<i>Difractogramas obtenidos DRX de compuestos obtenidos después de la recristalización</i>	54
18	<i>Difractogramas obtenidos DRX de compuesto intermedio obtenido</i>	55

Índice de Tablas

<i>Tabla</i>		<i>Pagina</i>
<i>1</i>	<i>Norma Oficial Mexicana 052-ECOL-1993</i>	<i>5</i>
<i>2</i>	<i>Relación de empresas mexicanas que tratan residuos peligrosos</i>	<i>20</i>
<i>3</i>	<i>Relación de tratamiento de residuos peligrosos en México y zona fronteriza</i>	<i>22</i>
<i>4</i>	<i>Relación de empresas nacionales autorizadas para uso de mezcla de combustibles en sus procesos</i>	<i>26</i>
<i>5</i>	<i>Relación de resultados de materiales analizados</i>	<i>51</i>

INTRODUCCIÓN

La actividad industrial ha tenido un papel protagónico en el desarrollo económico y social en México. De tal manera que representa un factor fundamental en la generación y distribución de riqueza, originando la creación de empleo y la incorporación de la población a sectores modernos de la economía.¹

Como consecuencia de las actividades industriales se generan algunos subproductos indeseables, entre los que se encuentran los residuos industriales, considerados como peligrosos por nuestra normatividad legal; ya que tienen características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico infecciosas (CRETIB), y por lo tanto, deben ser manejados y dispuestos adecuadamente para que no afecten al ser humano o a su entorno.²

Se ha estimado que la generación de residuos industriales peligrosos en México alcanza la cifra de 8 millones de toneladas al año, según un informe de 1999 del Instituto Nacional de Ecología. En cuanto a los residuos que se generan en mayores cantidades, los aceites y grasas conjuntamente con los disolventes, representan más del 45% del total. Las resinas, ácidos y bases representan el 10% y los desechos de pinturas y barnices el 8%. Se considera que solo el 26 % recibe un manejo adecuado, y el resto de los residuos, se acumula en las instalaciones de las industrias o se dispone empleando procedimientos y prácticas inadecuadas.

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap), a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), publicó en 1996 el Programa para la Minimización y Manejo Integral de Residuos Industriales Peligrosos en México 1996-2000, con la idea de que sirviera de guía para orientar los esfuerzos en este campo en todo el territorio nacional.³

En dicho documento se plantearon como objetivos básicos del Programa cinco puntos:

1. Promover la minimización en la generación de los residuos industriales peligrosos y en los riesgos inherentes a su manejo, incentivando cambios hacia procesos y tecnologías cada vez más limpios.
2. Fomentar la recuperación de materiales e insumos secundarios, en un contexto de eficiencia económica y ambiental, así como de conservación de los recursos naturales.
3. Asegurar el manejo adecuado de los residuos industriales peligrosos.
4. Promover la valorización y el manejo de los residuos como componente fundamental del sector ambiental de la economía.
5. Inducir la integración de nuevas cadenas productivas, tanto para los residuos con alto valor comercial en el mercado, como para materiales secundarios producto de tratamiento de aquellos.

De acuerdo con el Ing. Alfredo Núñez Cantú presidente de la Asociación Mexicana para el Control de Residuos Sólidos y Peligrosos, A.C., Sección Noreste.

"El tratamiento se considera como la penúltima alternativa y tiene como inclinación destruirlos o reducir su volumen y peligrosidad; en este sentido el confinamiento es considerado como la última alternativa y sólo para aquellos residuos que no puedan ser manejados de otra manera."

Los lodos de neutralización son los principales contaminantes que se producen en las plantas de anodizado. Estos lodos se producen en la etapa de neutralización de las corrientes ácidas y básicas que se producen en los diferentes tratamientos. El tratamiento de estos lodos, permite la obtención de productos comerciales, como sulfato o hidróxido de aluminio, útiles en el tratamiento de agua y la industria papelería entre otras aplicaciones.

En base a lo anterior bajo lo recomendado en el punto 2, la presente tesis versa sobre el tratamiento dado a lodos residuales del proceso de anodizado, para la obtención de un producto de valor comercial; tratando de evitar el confinamiento como disposición final tratando de fomentar la búsqueda de alternativas de tratamiento.

ANTECEDENTES

2.1 Residuos Peligrosos

Al tratar el tema de los residuos peligrosos generados en el sector industrial, en particular, la industria manufacturera contribuye con cerca del 20.7 % del Producto Interno Bruto (PIB) y el 80 % del total de las exportaciones. Las ramas con mayor participación al PIB del sector manufacturero son los Productos Metálicos, Maquinaria y Equipo con el 30.31%, seguida de los Alimentos, Bebidas y Tabaco con el 24.4 % y en tercera posición la de los Químicos, Derivados del Petróleo, Caucho y Plástico con el 16.06 %, aproximadamente.⁶ La Figura 1 ofrece un gráfico que permite conocer la cantidad de aportación de residuos conforme a los sectores económicos.

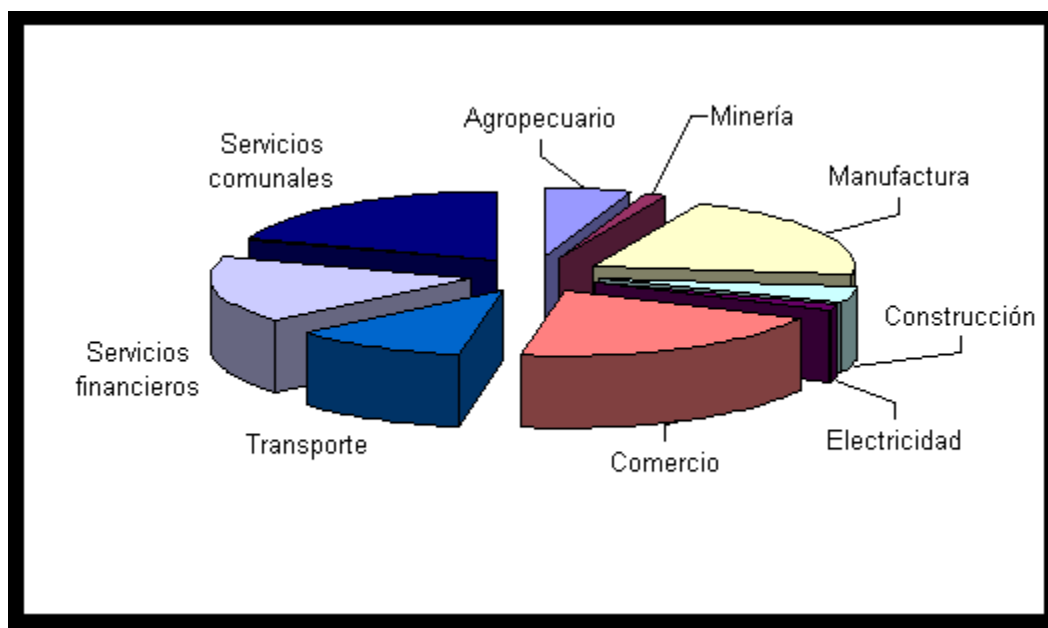


Figura 1: Participación de los sectores económicos en el PIB.⁸

Dentro de la industria manufacturera, el 90.83% de las unidades económicas son micro-industriales, mientras que el 0.84% corresponde a la gran industria; esto no se refleja proporcionalmente en el PIB, ya que la industria grande y mediana aporta alrededor del 92% y la industria pequeña y micro, tan sólo el 8% aproximadamente.

Por su parte, la industria maquiladora esta concentrada en la zona fronteriza, albergando alrededor del 60 % de las unidades económicas de este tipo establecidas en el país. Su productividad va en acenso desde 1995, con una gran participación dentro del sector manufacturero, con tasas de empleo que se incrementan anualmente en un 14% aproximadamente y con un ritmo acelerado en la producción, representado en el PIB con un 1.5%.

Como consecuencia de las actividades industriales se generan algunos subproductos indeseables, entre los que se encuentran los residuos industriales considerados como peligrosos por nuestra normatividad (RIP` s), y que deben ser manejados y dispuestos adecuadamente para que no afecten al ser humano o a su entorno.

Generalmente se emplea como sinónimo el término de desechos tóxicos como equivalente al de residuos peligrosos; sin embargo un desecho toxico es parte de una clasificación de los residuos peligrosos los cuales pueden incluir otras características además de las tóxicas: En México la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Al Ambiente (LGEEPA) define a los **residuos peligrosos** como:

"...son todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables o Biológico-Infecciosas representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente"¹³¹ (art.2, fr. XXII)

Y a los **materiales y sustancias químicas peligrosas** como:

"aquellos materiales y sustancias que por sus propiedades físicas y químicas, al ser manejados, transportados, almacenados o procesados presentan la posibilidad de inflamarse, explotar, ser tóxicos, reactivos, radiactivos, corrosivos o presenten acción biológica dañina y pueden afectar a la salud de las personas expuestas o causar daños materiales a instalaciones o equipo"¹⁴¹

Los residuos peligrosos se clasifican como: aguas de proceso, arenas, tierras y polvos, breas, cabezas, colas, catalizadores gastados, disolventes, efluentes tratados, envases y empaques, escorias, líquidos residuales, lodos de proceso, lodos de tratamiento, materiales de relleno contaminados, lubricantes gastados entre otros. La lista completa de los residuos peligrosos se encuentra en la NOM 052-ECOL-1993 que se ofrecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Norma Oficial Mexicana 052-ECOL-1993

NO.DE GIRO	GIRO INDUSTRIAL Y PROCESO.	CLAVE CRETIB	RESIDUO PELIGROSO	NO.INE
1. ACABADO DE METALES Y GALVANOPLASTIA.				
1.1	PRODUCCION EN GENERAL.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL LAVADO DE METALES PARA REMOVER SOLUCIONES CONCENTRADAS.	RP1.1/01
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LAS OPERACIONES DEL DESENGRASADO.	RP1.1/02
		(T)	SALES PRECIPITADAS DE LOS BAÑOS DE REGENERACION DE NIQUEL.	RP1.1/03
		(T)	BAÑOS DE ANODIZACION DEL ALUMINIO	RP1.1/04
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL LATONADO.	RP1.1/05
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CADMIZADO.	RP1.1/06
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL CROMADO.	RP1.1/07
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL COBRIZADO.	RP1.1/08
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL PLATEADO.	RP1.1/09
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL	RP1.1/10

			ESTAÑADO.	
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL NIQUELADO.	RP1.1/11
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL ZINCADO.	RP1.1/12
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DEL TROPICALIZADO.	RP1.1/13
		(T)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS DE LOS TANQUES DE ENFRIAMIENTO POR ACEITES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES.	RP1.1/14
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y CEDIMENTOS DE LOS BAÑOS DE CIANURO DE LAS OPERACIONES DE GALVANOPLASTIA.	RP1.1/15
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS DE CIANURO DE LOS TANQUES DE LIMPIEZA CON SALES EN LAS OPERACIONES DE TRATAMIENTO EN CALIENTE DE METALES.	RP1.1/16
		(T,C)	SOLUCIONES GASTADAS Y RESIDUOS PROVENIENTES DE LOS BAÑOS DE FOSFATIZADO.	RP1.1/17
		(T,C)	RESIDUOS DE CATALIZADORES AGOTADOS.	RP1.1/18
		(T)	RESIDUOS CONTENIENDO MERCURIO DE LOS PROCESOS ELECTROLITICOS.	RP1.1/19

2. BENEFICIO DE METALES

OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE ALUMINIO A PARTIR DE LODOS DEL PROCESO DE ANODIZADO

2.1	FUNDICION DE PLOMO PRIMARIA.	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO.	RP2.1/01
		(T)	LODOS PROVENIENTES DE LA LAGUNA DE EVAPORACION.	RP2.1/02
		(T)	SOLUCION RESIDUAL DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENE DEL PROCESO DEL AFINADO.	RP2.1/03
2.2	FUNDICION DE PLOMO SECUNDARIO.	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DEL AFINADO.	RP2.2/01
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO.	RP2.2/02
		(T)	LODOS PROVENIENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	RP2.2/03
		(T)	LODOS PROVENIENTES DEL LAVADOR DE GASES QUE PROVIENEN DEL PROCESO DEL AFINADO.	RP2.2/04
2.3	PRODUCCION DE ALUMINIO.	(C,T)	LODOS DE LAS SOLUCIONES DE CAL DEL LAVADOR DE GASES EN LA FUNDICION Y REFINADO DE ALUMINIO.	P2.3/01
		(C,T)	SOLUCIONES GASTADAS PROVENIENTES DE LA EXTRUSION.	RP2.3/02
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO DE FUNDICION DE CHATARRA DE ALUMINIO.	RP2.3/03
2.4	PRODUCCION PRIMARIA DE COBRE	(T)	LODOS DE LAS PURGAS DE LAS PLANTAS DE ACIDO.	RP2.4/01
		(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE	RP2.4/02

OBTENCIÓN DE SUBPRODUCTOS DE ALUMINIO A PARTIR DE LODOS DEL PROCESO DE ANODIZADO

			COBRE.	
2.5	PRODUCCION SECUNDARIA DE COBRE	(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO.	RP2.5/01
		(T)	RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRUSION DE TUBERIA DE COBRE.	RP2.5/02
2.6	PRODUCCION DE COQUE.	(T)	LODOS DE DESTILACION CON CAL AMONIACAL.	RP2.6/01
		(T)	LIXIVIADOS Y CENIZAS DEL PROCESO DE COQUIZADO.	RP2.6/02
		(T)	LODOS DE ALQUITRAN DEL TANQUE SEDIMENTADOR.	RP2.6/03
2.7	PRODUCCION DE HIERRO Y ACERO.	(T)	RESIDUOS DEL ACEITE GASTADO.	RP2.7/01
		(C,T)	LICOR GASTADO EN LAS OPERACIONES DE ACERO INOXIDABLE.	RP2.7/02
		(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES DE HORNOS ELECTRICOS.	RP2.7/03
2.8	PRODUCCION DE ALEACIONES DE HIERRO.	(T)	LODOS Y POLVOS DEL EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES EN LA PRODUCCION DE HIERRO-CROMO.	RP2.8/01
		(T)	COLAS EN LAS PLANTAS DE MANUFACTURA DE HIERRO-NIQUEL.	RP2.8/02
		(T)	ESCORIAS PROVENIENTES DEL HORNO.	RP2.8/03
		(T)	CASCARILLA Y/O COSTRAS METALICAS ACEITOSAS DEL PROCESO DE FORJA EN	RP2.8/04

			CALIENTE.	
2.9	PRODUCCION DE COMPUESTOS DE NIQUEL.	(T)	LODOS DE LA MANUFACTURA DE ALEACIONES DE NIQUEL.	RP2.9/01
		(T)	RESIDUOS DE LA PRODUCCION DE CARBONILO DE NIQUEL.	RP2.9/02
2.10	PRODUCCION PRIMARIA DE ZINC.	(T)	LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y/O PURGAS DE LA PLANTA DE ACIDO.	RP2.10/01
		(T)	LODOS DEL ANODO ELECTROLITICO	RP2.10/02
		(T)	RESIDUO DEL LIXIVIADO DE CADMIO.	RP2.10/03

En México no existe un inventario completo del tipo y volumen de residuos peligrosos generados en el país, a pesar de los manifiestos que por ley es requisito para las empresas y establecimientos generadores. Los cálculos aproximados nos hablan en 1991, de 14, 500 ton de residuos peligrosos al día. (5 292 000 ton al año); en 1996 los cálculos habían aumentado a 8 millones de toneladas anuales de residuos peligrosos en México, sin incluir los residuos mineros que también pueden ser peligrosos y que se producen en grandes cantidades (de 300 mil a 500 mil toneladas diarias). En la Figura 2, se presenta la distribución geográfica de regiones conforme a los residuos generados.

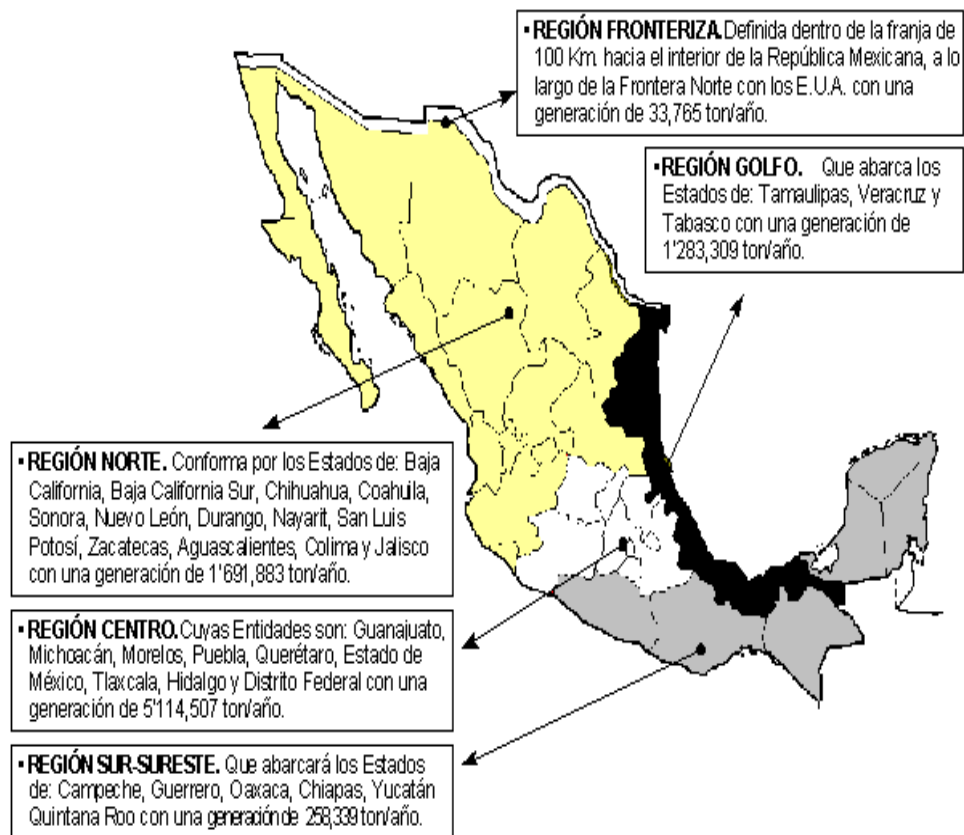


Figura. 2 Muestra la clasificación de las 5 regiones generadoras de residuos peligroso en México.⁹

En la región centro destacan, principalmente el Distrito Federal (22.98%) y el Estado de México (17.68%); en la región Norte destacan principalmente Nuevo León (10%), Jalisco (7.50%) y Coahuila (3.75%), en la región del Golfo, el principal generador de residuos peligrosos es Veracruz con el 5.73%; y de la región Sureste Yucatán con el 1% nacional.

Según los cálculos oficiales de 1994, de los 8 millones de toneladas anuales de residuos peligrosos y de las cinco zonas en el que se clasificó el territorio nacional (Figura 3), prácticamente el 65% de los residuos peligrosos se generan en la zona centro del país (5,267 mil ton/año), que junto con la región Norte (2,006 mil

Ton/año) incluyendo su franja fronteriza (62 mil ton/ año) generan casi el 90% de los residuos peligrosos del país.¹⁰

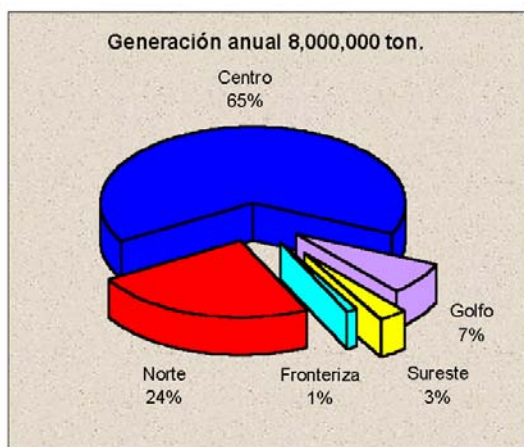


Figura 3. Distribución porcentual de residuos generados a nivel nacional por regiones

De acuerdo a los cálculos oficiales del Programa de Minimización 1996-2000, por tipo de residuo, los aceites y las grasas conjuntamente con los disolventes representan más del 45% del total de residuos peligrosos generados en el país. Las resinas, ácidos y bases representan el 10% y los desechos de pinturas y barnices el 8%. Sin embargo, como se indica en la Figura 4, cerca del 31% de los RIP's generados corresponden a sólidos, siguen en importancia los aceites gastados con el 21% y en tercer lugar los líquidos residuales de proceso los cuales representan un 16% aproximadamente.

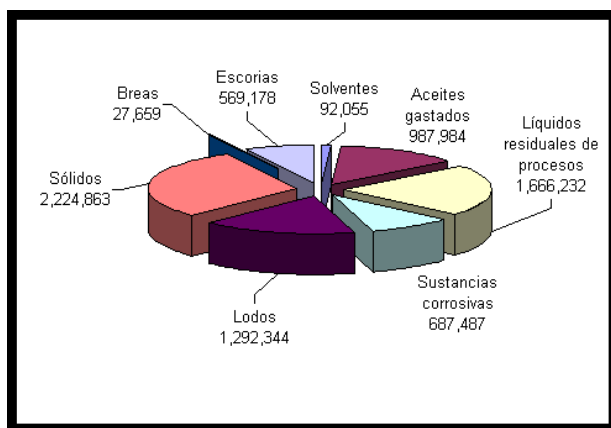


Figura 4. Clasificación de los diferentes residuos peligrosos en la industria manufacturera (cifras en toneladas anuales)

La industria no es el único sector generador de residuos peligrosos, pues también hay que considerar el uso indiscriminado de plaguicidas químicos en la agricultura, y los residuos biológico-infecciosos generados por clínicas y hospitales. De un total de 100 mil empresas que producen residuos peligrosos, sólo 27 mil lo manifiestan a las autoridades. Según Semarnat, "no existe un reglamento para obligar a las empresas a declarar si producen residuos peligrosos"

"Por lo tanto no lo hacen y prefieren almacenarlos, venderlos o entregarlos a gente irresponsable, que luego falsifica las autorizaciones de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y van y los tiran a cualquier tiradero que encuentran"

Alfonso Flores Ramírez, del Departamento de Materiales y Residuos Peligrosos en la Semarnat, comenta que desde 1993, año en que se autorizó el confinamiento en Mina Nuevo León, "no se ha podido concretar ningún otro confinamiento, debido a tres factores principales: uno es la oposición social a este tipo de obras, la percepción social que se tiene sobre el tema y en un momento dado pueden jugar intereses políticos"

Se estima que de los 8 millones de toneladas de residuos peligrosos generadas al año, solo el 32 % recibe un manejo adecuado. El resto de los residuos, se acumula en las instalaciones de las industrias o se dispone empleando procedimientos y prácticas inadecuadas. En la Figura 5, se muestra un gráfico que permite conocer el porcentaje de residuos tratados a nivel nacional.

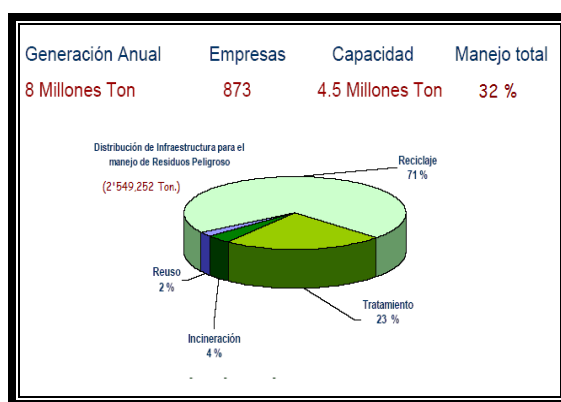


Figura 5. Distribución de tipo de tratamiento proporcionado al 32 % de residuos peligrosos generados.

En cuanto a la generación de RIP's por ramas industriales, el subsector de Sustancias Químicas, Derivados del Petróleo, Productos de Caucho y Plástico, aportan alrededor del 41%. Le siguen los Productos Metálicos, Maquinaria y Equipo con el 23% y los Productos de Minerales no Metálicos, exceptuando los Derivados del Petróleo y Carbón con el 12% como se puede apreciar en la Figura 6.

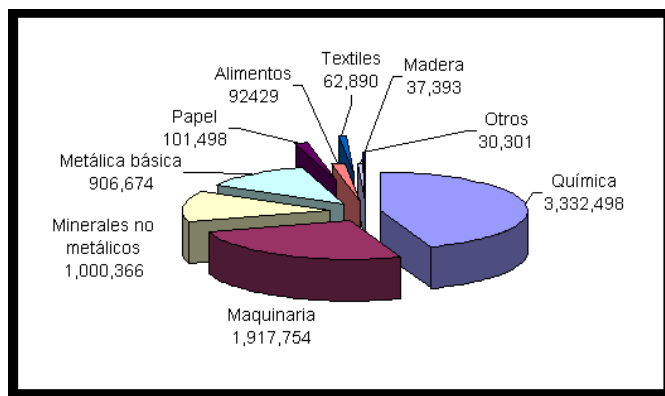


Figura 6. Distribución de RIP's de origen industrial.

2.2 Criterios empleados en México para clasificar un residuo como peligroso.

La Norma Oficial Mexicana, NOM-052-ECOL-1993, establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen peligroso a un residuo establece los siguientes criterios para saber si un residuo es peligroso^{5,6}:

1. Presencia de sustancias tóxicas en cantidades establecidas consideradas como límites máximos permisibles.
2. Generación de residuos en giros industriales y procesos particulares.
3. Generación de residuos en fuentes no específicas.
4. Generación de residuos derivados del empleo de materias primas peligrosas en la producción de pinturas.
5. Generación de residuos, bolsas o envases de materias primas peligrosas empleadas en la producción de pinturas.

6. Identificación de características peligrosas de los residuos mediante una prueba de laboratorio para determinar si son corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables o biológico-infecciosos (análisis CRETIB).

Los residuos peligrosos clasificados conforme los cinco primeros criterios, se denominan residuos por definición y las sustancias tóxicas que hacen a un residuo peligroso, como las corrientes de residuos que pueden provenir de los distintos procesos a los que se hace mención, aparecen en los listados que complementan la norma.

Los criterios para definir cada característica de peligrosidad, se fijan también en la norma, según lo siguiente:⁷

- a. **Corrosividad.** - Un residuo se considera peligroso por corrosividad cuando:
 - En estado líquido en solución acuosa presenta un pH menor ó igual a 2.0 o mayor ó igual a 12.5.
 - En estado líquido o en solución acuosa y a una temperatura de 55 °C, es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 10 20), a una velocidad de 6.35 mm o más por año.
- b. **Reactividad.** - Un residuo es peligroso por su reactividad cuando:
 - Bajo condiciones normales (25 °C y 1 atm), se combina o polimeriza violentamente sin detonación.
 - En condiciones normales (25 °C y 1 atm), cuando se pone en contacto con agua en relación residuos- agua de 5:1, 5:3, 5:5, reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
 - Bajo condiciones normales, cuando se pone en contacto con soluciones de pH: ácido (HCl 1.0 N) y básico (NaOH 1.0 N), en relación (residuo solución), de 5:1, 5:3, 5:5, reacciona violentamente formando gases, vapores o humos.
 - Posee en su constitución cianuros o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de p H entre 2.0 y 12.5, pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades mayores a 250 mg de HCl/kg de residuo ó 500 mg de H₂S/kg de residuo.
 - Es capaz de producir radicales libres.
- c. **Explosividad.** - Un residuo puede ser considerado peligroso por su explosividad cuando:

- Tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del dinitrobenceno.
 - Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva, a 25 °C y 1.03 kg/cm² de presión.
- d. ***Toxicidad al ambiente.*** - Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente, cuando después de aplicar la prueba de extracción para toxicidad, el lixiviado de la muestra representativa obtenido contenga cualquiera de los constituyentes listados en las Tablas 5, 6 y 7 (anexo 5), en concentraciones mayores a las señaladas en dichas tablas.
- e. ***Inflamabilidad.*** - Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad, cuando:
- En solución acuosa, contiene más del 24 % de alcohol en volumen.
 - Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60 ° C.
 - No es líquido pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25 °C y 1.03 kg/cm²).
 - Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión.
- f. ***Características biológico infecciosas.*** - Un residuo con características biológico infecciosas se considera peligroso por lo siguiente:
- Contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección.
 - Contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos.

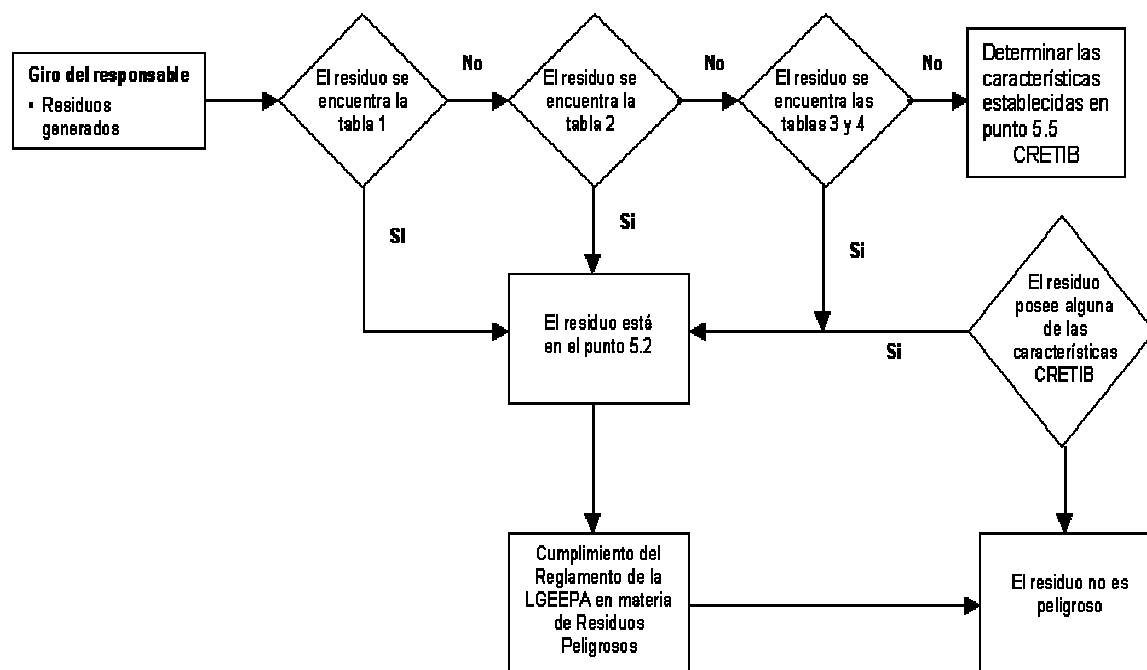


Figura 7. Diagrama de flujo para la identificación de residuos peligrosos, conforme a NOM-052-ECOL-1995.

Actualmente la política nacional en materia de residuos peligrosos responde ante esta realidad estableciendo que se tiene que buscar la manera de disminuir la generación y peligrosidad de residuos peligrosos, y de manera particular, mediante la adopción de procesos productivos más limpios, los cuales se pueden fragmentar en tres pautas:

1. Minimización de residuos en la fuente de producción,
2. Fomentar el rehúso, reciclado y recuperación, esto observado como una oportunidad para constituir cadenas productivas, en el que los generadores respondan por el costo de un manejo apropiado, así como de concebir nuevas ramas de actividad económica y oportunidades de empleo.
3. Cambios en insumos y cambio de proceso o producción.

2.3 Centros de tratamiento y confinamiento en México

2.3.1 Infraestructura

En México, la capacidad para el control de los RIP's es muy limitada y sólo representa una capacidad de manejo de una cuarta parte del total de la generación

anual, lo que propicia la proliferación de prácticas ineficientes de gran impacto ambiental.

Actualmente, la infraestructura para la disposición final de los residuos peligrosos consiste exclusivamente en un solo "confinamiento", controlado y en operación, ubicado en el Estado de Nuevo León

Esto constituye una situación lamentable porque la generación de más de 170,000 toneladas semanales de este tipo de residuos es muy alarmante, y se requiere de una infraestructura adecuada para su manejo y disposición final.

Sin embargo, para cubrir esta necesidad, el país cuenta con una legislación ambiental de las mejores a nivel mundial, uno de cuyos artículos establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radiactivos.

Aunque no hay un estudio exhaustivo que determine los efectos que ha tenido el manejo inadecuado de los RIP's sobre el medio ambiente, se han documentado casos importantes derivados de problemas específicos o accidentes, y se cuenta con un extenso inventario de sitios contaminados, como cauces de ríos y cañadas, derechos de vía, zonas industriales y rellenos de residuos urbanos.

Las consecuencias abarcan desde el deterioro de la salud y la inutilización de acuíferos, hasta la afectación de cadenas tróficas a través de procesos de bioacumulación.

Un estudio del Banco Mundial, concluyó que hay una gran capacidad de los Estados Unidos para el tratamiento, recuperación y disposición de residuos peligrosos procedentes de México, mientras que la demanda para construcción de grandes plantas de tratamiento y disposición fijas que supongan una gran inversión, está muy limitada en la zona mexicana de la frontera.³

Un estudio del INE estimó que sólo un 12% de los 8 millones de toneladas de residuos peligrosos generados en 1994 estuvo controlado adecuadamente.⁴

La falta de información, la poca responsabilidad de las empresas para entregar sus informes, y la ineficacia del gobierno, impide tener una idea clara de cómo se manejan los residuos peligrosos en este país.

A pesar de la sobrada capacidad de los estados fronterizos norteamericanos, México ha tratado de atraer inversión extranjera para la construcción de costosas y complejas plantas de tratamiento y disposición. En los últimos años, el número de "infraestructura" para el manejo de residuos peligrosos ha aumentado espectacularmente en México.

La mayor parte de ellas están destinadas a pequeñas operaciones de reciclaje y reutilización, así como tratamiento de residuos peligrosos en sitio, aunque en muchos de los casos se duda, de la capacidad real y tecnología apropiada para realizar estas labores.

De hecho, si las estimaciones del INE sobre la capacidad de tratamiento en sitio y las instalaciones comerciales en México son acertadas, se podría decir que se cuenta con instalaciones comerciales suficientes para tratar y gestionar por lo menos el 40% de sus residuos peligrosos.⁵

Existen tres confinamientos en todo México para residuos peligrosos; 94 plantas para reciclaje y reutilización; 13 plantas de mezcla de combustibles que envían el combustible resultante a 21 hornos cementeros o industriales para su incineración; 11 incineradoras privadas de residuos peligrosos; 22 incineradoras de residuos biológico-infecciosos; y 23 compañías que proporcionan tratamiento en sitio para los residuos peligrosos. Además hay otras 234 empresas de recolección y/o transporte y 67 empresas de almacenamiento temporal.⁶

La mayor parte de estas industrias fueron autorizadas en los últimos tres años la Tabla 2 presenta los nombres y direcciones de tales empresas ubicadas en los estados fronterizos Mexicanos.

Tabla 2. Relación de empresas mexicanas que tratan residuos peligrosos

TIPO DE TRATAMIENTO	NUMERO DE INSTALACIONES CON PERMISO en MÉXICO y ESTADOS FRONTERIZOS*	CAPACIDAD ANUAL ESTIMADA, Ton./Año	PORCENTAJE DEL TOTAL
Reciclaje de lubricantes	18 (2)	25,000	
Reciclaje de metales	18 (6)	362,000	
Reciclaje de disolventes	24 (7)	109,000	
Reciclaje de tambores y envases usados	31 (7)	9,000 y 977,000 tambores	
Otros reciclajes	2 (0)	Menos que 500	
Reuso de disolventes	1 (0)	Menos que 500	
Reciclaje y reutilización total	94 (23)	505,000 más 977,000 tambores	12%
Mezcla de combustibles	13 (7)	494,000	
Incineradoras de residuos peligrosos	11 (1)	62,500	
Incineradoras de residuos biológico-infecciosos	22 (4)	38,000	
Total de incineración	46 (13)	594,500	15%
Tratamiento de residuos con BPCs	6 (0)	382,000	
Tratamiento de residuos peligrosos	8 (7)	425,000	
Compañías con tratamiento de residuos peligrosos "in-situ"	33 (6)	952,000	
Tratamiento de residuos biológico-infecciosos	24 (7)	16,500	
Total de tratamiento	71 (18)	1,775,500	44%
Confinamientos de residuos peligrosos	2** (1)	1,201,000	29%
TOTAL	213 (55)	4,076,000	100%

Nota: * El Anexo I incluye los nombres de todas las instalaciones con autorización en los estados fronterizos.⁷

**Dos confinamientos -- Cytrar en Hermosillo, Sonora y CONFIN en San Luis Potosí dejó de operar en 1998 y no están incluidos aquí.

2.3.2 Confinamientos en México

El primer confinamiento autorizado por el gobierno mexicano fue RIMSA, que se encuentra ubicado en Puerto de San Bernabé, a 100 km. de Monterrey, en el

municipio de Mina, N.L. Después de recibir la licencia en 1987, se le otorgó permiso para aceptar residuos peligrosos en 1988⁸ En 1994, RIMSA comenzó a recibir asistencia técnica y material de Waste Management Inc., la compañía más grande del mundo de tratamiento de residuos. RIMSA dispone de instalaciones para tratamiento, reciclaje, disposición, y mezcla de combustibles. Debido a que la información en México sobre la cantidad generada y lugar en dónde se manejan los residuos es bastante limitada y, en su mayoría, no reportada, no es posible determinar exactamente la cantidad procesada y dispuesta por ésta empresa. De todas formas, RIMSA sostiene que sus instalaciones son capaces de tratar entre 600,000 y 800,000 toneladas de residuos peligrosos al año. El INE reporta la capacidad mensual de disposición de RIMSA como 100,000 toneladas ó 1'200,000 toneladas por año.

Además de RIMSA, un "confinamiento" de residuos peligrosos conocido como CYTRAR estuvo operando, desde mediados de los 80 a tan sólo 7 kilómetros de Hermosillo, Sonora. Construido originalmente por la Corporación Ford para manejar sus propios residuos peligrosos, la planta recibió un permiso en 1988 para poder gestionar residuos industriales y peligrosos de las cercanías del parque industrial donde se ubica. En 1994 el permiso se hizo extensivo a las afueras de la región, generando así, una gran polémica.

Más tarde, y en medio de la controversia, la empresa española TECMED compró y comenzó a operar el "confinamiento" de residuos peligrosos. En 1995 el "confinamiento" comenzó a recibir residuos de Alco-Pacífico, una extractora de plomo de baterías, abandonada en las afueras de Tijuana. La compañía Quemetco, Inc., fue sorprendida violando las leyes estatales de California sobre residuos peligrosos, transportándolos desde la planta de tratamiento hasta el Condado de Los Ángeles. En este caso, se llegó a un acuerdo con la Corte Suprema del Condado de Los Ángeles, por el que se reconocía la responsabilidad de la compañía, y tuvieron que pagar 2.5 millones de dólares.

Alrededor de 2 millones de dólares se entregaron al gobierno mexicano, para que transportara el resto de residuos desde Alco-Pacífico hasta Hermosillo. Los residuos procedentes de Alco-Pacífico se han relacionado con impactos a la salud de los niños que residían en los alrededores. Al mismo tiempo, los ciudadanos que vivían cerca de Alco-Pacífico han iniciado una demanda legal contra la compañía matriz de Alco-Pacífico. En la Tabla 3 se presenta una relación de infraestructura autorizada en México y Zona fronteriza México - EUA para tratar residuos peligrosos.

Tabla 3. Relación de tratamiento de residuos peligrosos en México y zona fronteriza.

TABLA III. Infraestructura autorizada para el manejo de residuos peligrosos en México y Estados Fronterizos, 1998

TIPO DE TRATAMIENTO	NÚMERO DE INSTALACIONES CON PERMISO en MÉXICO y ESTADOS FRONTERIZOS*	CAPACIDAD ANUAL ESTIMADA, Ton./Año	PORCENTAJE DEL TOTAL
Reciclaje de lubricantes	18 (2)	25,000	
Reciclaje de metales	18 (6)	362,000	
Reciclaje de disolventes	24 (7)	109,000	
Reciclaje de tambores y envases usados	31 (7)	9,000 y 977,000 tambores	
Otros reciclajes	2 (0)	Menos que 500	
Reuso de disolventes	1 (0)	Menos que 500	
Reciclaje y reutilización total	94 (23)	505,000 más 977,000 tambores	12%
Mezcla de combustibles	13 (7)	494,000	
Incineradoras de residuos peligrosos	11 (1)	62,500	
Incineradoras de residuos biológico-infecciosos	22 (4)	38,000	
Total de incineración	46 (13)	594,500	15%
Tratamiento de residuos con EPCs	6 (0)	382,000	
Tratamiento de residuos peligrosos	8 (7)	425,000	
Compañías con tratamiento de residuos peligrosos "in-situ"	33 (6)	952,000	
Tratamiento de residuos biológico-infecciosos	24 (7)	16,500	
Total de tratamiento	71 (18)	1,775,500	44%
Confinamientos de residuos peligrosos	2** (1)	1,201,000	29%
TOTAL	213 (55)	4,076,000	100%

Notas: * El Anexo II incluye los nombres de todas las instalaciones con autorización en los estados fronterizos.

** Dos confinamientos -- Cytrar en Hermosillo, Sonora y CONFIN en San Luis Potosí dejó de operar en 1998 y no están incluidos aquí.

En Hermosillo, comunidades y grupos han protestado por la decisión de trasladar los residuos de Tijuana al confinamiento de CYTRAR en Hermosillo, argumentando que además de ser una instalación que no cumple ningún requerimiento de "confinamiento", sólo debería recibir residuos de Sonora tal y como consta en el permiso original y, por lo tanto, no convertirse en un confinamiento de carácter nacional para sustancias altamente contaminantes. También se alegó que la municipalidad nunca ha concedido el permiso de operación para tal lugar y además, que no cumple la NOM055, que sólo permite confinamientos de residuos peligrosos a partir de 25 kilómetros desde el centro de una ciudad. En enero de 1998, grupos de derechos humanos, ambientales, de colonos, académicos y

periodistas se organizaron en lucha contra CYTRAR ya que, según ellos, éste lugar no contaba con ninguna infraestructura de confinamiento ni de seguridad ambiental. Entre múltiples acciones¹¹, bloquearon el Palacio de Gobierno; interpusieron un recurso ante la CCA, hasta lograr que el INE revocara el permiso.

El 2 de noviembre de 1998, el INE revocó el permiso de CYTRAR para que, a partir del 20 de noviembre de ese mismo año no recibiera más residuos hasta nuevo aviso.

Actualmente, no está operando en México la compañía.¹² El confinamiento actualmente conocido como CONFIN en Guadalupe ha sido sujeto de controversia desde que fué comprado por Metalclad. El confinamiento era originalmente operado como una estación de transferencia de residuos peligrosos por una compañía Mexicana llamada Coterin. Las autoridades Mexicanas decidieron cerrarla cuando se descubrieron más de 20,000 toneladas de residuos peligrosos en contenedores bajo la tierra. Cuando Metalclad compró el sitio, prometió que lo limpiaría antes de construir un confinamiento pero decidió "contener" los residuos en situ. Los habitantes locales se opusieron al sitio, y tanto el gobierno estatal como el local han demorado la operación del confinamiento desde 1995. Aún con la licencia de operación del gobierno federal, Metalclad decidió en 1999 salirse del mercado Mexicano, dejando tanto el sitio en Guadalupe como un sitio propuesto en Aguascalientes. Mientras tanto, la compañía estadounidense está esperando un juicio en su disputa legal con el gobierno Mexicano. En 1997, Metalclad llevó a cabo un proceso legal bajo las provisiones de protección de inversión del TLCNA.¹²

Finalmente, cabe resaltar que para aliviar la falta de "confinamientos", México, está promoviendo el establecimiento de una serie de Centros Integrales para el Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales (CIMARI's) lugares en los que se dispondrán los residuos con infraestructura adecuada para el tratamiento, reciclaje, disposición y mezcla de metales y, así, fomentar también el mercado de la industria de tratamiento de residuos. De acuerdo con el INE, frente a la carencia de infraestructura para la disposición de residuos, el desarrollo de los CIMARI's es una alternativa para el país, y ofrece de esta manera mayores posibilidades para el tratamiento y reciclaje de residuos en pocas instalaciones. Los CIMARI's se están promoviendo como la solución a los problemas del país en el manejo de residuos peligrosos.

Según el programa oficial del gobierno mexicano respecto al manejo de residuos peligrosos:

"el mercado ambiental se plantea como medio y fin por sí mismo, para responder a las necesidades de protección ambiental, y para reforzar la interrelación entre la política ambiental" ¹¹ (Información del Dr. Germán Ríos Barceló, Alianza Cívica, Hermosillo, Sonora.).

De aquellas compañías que podrían ofrecer este tipo de tecnología. Se escogieron ocho compañías mexicanas (la mayoría con un socio estadounidense) aprobadas por el INE, con la tecnología apropiada para construir un CIMARI.¹⁵

RIMSA en Nuevo León presenta su confinamiento como el primer CIMARI en el país, aunque el título se lo han concedido ellos mismos, y no el INE.

Como parte del proceso de promoción de los CIMARI's, el INE ha creado el "Atlas de Vulnerabilidad" para todo el país, incluyendo la frontera. La idea básica es determinar los lugares más adecuados para la gestión, tratamiento, almacenamiento y disposición de los residuos peligrosos. La EPA le ofreció \$10,000 dólares a México para ayudarlo a cumplir con los intereses públicos como parte del desarrollo del citado "Atlas de Vulnerabilidad", el dinero nunca fue aceptado y utilizado así por México.¹⁶

Según Luis Wolf del INE, quien forma parte del Grupo de Trabajo Residuos Sólidos y Peligrosos de Frontera XXI, México utilizará el Atlas para decidir dónde localizar las instalaciones de la mejor manera. Sobre este tema, México espera estar preparado para el año 2001, cuando varias compañías maquiladoras podrían cambiar su estatus y ya no se les requiere enviar sus residuos a los Estados Unidos, y evitando así la oposición pública a los confinamientos de residuos peligrosos, como ha ocurrido en el caso de Saltillo, Coahuila.

El caso siguiente contradice la supuesta política gubernamental de protección ambiental y de poner a consulta pública este tipo de proyectos. La industria Servicios Ambientales de Coahuila obtuvo la licencia de operación como un CIMARI. Se propone la construcción de un confinamiento al norte de General Cepeda, Coahuila (entre Saltillo y Torreón), cerca de la Presa el Tulillo, santuario para la migración de aves. Se trata de una inversión conjunta de \$70 millones de dólares entre RACT (una empresa de gestión en Utah) y CleanMex (una compañía de

Tamaulipas). Este proyecto se encuentra paralizado por la oposición de agricultores y ganaderos de la zona, así como por los partidos políticos opositores al gobierno. La instalación fue apoyada y, posteriormente aprobada casi en secreto por el municipio. Incluso, el INE desarrolló un "estudio preventivo". Cuando los planes sobre este confinamiento de residuos peligrosos se hicieron públicos, el INE admitió la necesidad de realizar un Estudio de Impacto Ambiental más riguroso para la obtención del permiso. El apoyo público a ésta empresa por parte de Gabriel Quadri, entonces presidente del INE, y el escándalo resultante de la falta de información y el hermetismo que imperó en todo el proceso de autorización, fueron algunos de los motivos de su renuncia en septiembre de 1998.¹⁷

2.3.3 Incineración de residuos peligrosos en México

México ha fomentado la práctica de quemar aceites usados, disolventes y otros residuos peligrosos en hornos cementeros. Ésta estrategia ha sido impulsada tanto por las empresas cementeras como una forma de ahorrar dinero en combustible, como por industrias como Waste Management, BFI y Mobley Environmental Management que manejan residuos peligrosos en los Estados Unidos. Por ejemplo, BFI y Metalclad se unieron en México para colaborar con BFI Omega, empresa que preparó residuos peligrosos para su quema en la industria cementera. De igual manera, Waste Management ayudó financiera y técnicamente en la construcción de la planta Ecoltec que mezcla combustibles cerca de la planta de Cementos Apasco en Ramos Arizpe, Coahuila. Esta empresa también ha ofrecido asistencia técnica a otra de las instalaciones que tiene RIMSA para mezclar combustibles.

De hecho, al comienzo de 1998 había seis plantas de mezcla de combustible. Durante el transcurso de 1998 y 1999, el gobierno Mexicano dio autorización a 8 instalaciones más de la mezcla de combustibles (*véase la tabla 4*). De acuerdo con la información suministrada por Cementos de México, cinco de sus plantas quemaron un total de 23,000 toneladas de residuos peligrosos en 1997, mientras que seis plantas propiedad de Cementos Apasco quemaron 20,000 el año pasado.

Los residuos más utilizados para la quema son los aceites usados y los disolventes, así como algunos residuos sólidos (neumáticos). Es importante señalar que los permisos para protocolos de prueba de incineración y las autorizaciones para quemar combustibles alternos en hornos cementeros se basan en un acuerdo con la industria cementera, ya que, hasta el momento, no existe ninguna norma al respecto.

Tabla 4. Relación de empresas nacionales autorizadas para uso de mezcla de combustibles en sus procesos

NOMBRE DE LA PLANTA	LUGAR	CAPACIDAD ESTIMADA TONS/AÑO
Pro-Ambiente	Torreón, Coahuila	48,000
Ecoltec, S.A. (1)	Ramos Arizpe, Coahuila	180,000
Ecoltec, S.A. (Planta Orizaba)	Distrito Federal	120,000
Ecoltec, S.A. (Planta Tecomán)	Tecomán, Colima	
Clearumex	Tamaulipas, Matamoros	
Cementos de Chihuahua (Planta Samalayuca, Chih.)	Samalayuca, Chihuahua	
Comisión Federal de Electricidad -- Carbon II)	Nava, Coahuila	
Comisión Federal de Electricidad -- Plutarco Elias Calles	Distrito Federal	
Administración de Residuos Industriales, S.A.	Distrito Federal	18,000
Industria Nacional de Lubricantes	Zapopan, Jalisco	21,600
Karbek Combustibles, S.A.	Quéretaro, Quéretaro	6,300
Nueva Exportadora Latina de México	Tijuana, Baja California	7,262.4
Química RIMSA	Distrito Federal	8,534
RIMSA	Mina, N.L. en Puerto de San	90,000

2.3.4 Nuevas Tecnologías: Neutralización y destrucción de las características que hacen a un residuo peligroso

Una variedad de tecnologías nuevas y emergentes puede neutralizar y en algunos casos, incluso destruir, las características peligrosas de los residuos industriales. Una de ellas es conocida como oxidación supercrítica del agua. El proceso es simple, pero caro.

El agua es calentada, presurizada y mezclada con compuestos orgánicos que se disuelven. Después, se añade oxígeno a la mezcla y las sustancias dañinas se queman. El compuesto que queda es inofensivo. Este dispositivo desafortunadamente resulta caro, aunque un equipo de la Universidad de Austin, Texas desarrolló un oxidante de agua.

Otras tecnologías que son usadas con frecuencia en Texas

- **Oxidación:** Tanto por aire húmedo como por proceso químico, se utiliza para extraer los constituyentes orgánicos que contiene el agua contaminada con residuos peligrosos.
- **Bio-remediación:** Este proceso utiliza microorganismos producidos para comer hidrocarburos que acaban con los derrames de aceites e incluso con metales pesados.
- **Absorción en carbón:** En este proceso las sustancias tóxicas se adhieren a una superficie especial tratada con carbón.
- **Absorción de gases:** Los gases tóxicos se comprimen bajo presión y se expulsan dentro de una unidad de absorción o reacción.
- **Decloración:** Mediante este proceso se consigue reemplazar químicamente el cloro por hidrógeno o iones de hidróxido, obteniendo sustancias cloradas no tóxicas.
- **Neutralización:** Se reduce la acidez de una sustancia mediante la adición de sustancias alcalinas, así como acidificar otra añadiéndola ácidos.
- **Oxidación:** Se añade oxígeno a sustancias como sulfuros, fenoles o cianuros, convirtiéndolos en materiales no peligrosos.
- **Precipitación:** Separación de los sólidos existentes en residuos líquidos de manera que puedan ser manejados con mayor seguridad.
- **Vitrificación:** Cualquier proceso que utilice electricidad para encerrar productos en recipientes de cristal. Por ejemplo, se puede introducir corriente eléctrica de alto voltaje de manera que los suelos contaminados se cristalicen. Otros sistemas que química o físicamente reducen la movilidad de los constituyentes peligrosos, pueden ser la encapsulación o la estabilización, tanto a través del uso del cemento como del material pozzolanico.

2.3.5 Los CIMARIS

En años recientes se adoptó en nuestro país, tanto por parte del sector privado como del sector público, la idea de desarrollar una red de *Centros Integrales para el Manejo y Aprovechamiento de Residuos Industriales (CIMARI's)*. Estos pueden describirse como instalaciones industriales que utilizan a los residuos como insumos para nuevas cadenas productivas en procesos de reciclaje y recuperación de materiales y energía, donde sólo se confinan aquellos para los cuales no es viable aplicar otra solución, una vez estabilizados y neutralizados.

La idea tuvo una respuesta favorable entre el sector empresarial, y hasta mediados de 1997 se habían presentado propuestas viables que incluyen emplazamientos en los estados de México, Coahuila, Puebla, Hidalgo, Tamaulipas, Aguascalientes, Guanajuato y Veracruz, y que de concretarse podrían atender para el año 2006 a casi el 66 % de las necesidades anuales de manejo de RIP's.

A pesar de que se plantearon estos ocho proyectos del sector privado para invertir en la creación de instalaciones integrales para el manejo y aprovechamiento de RIP's, todos, salvo uno, se han detenido por presiones basadas en argumentos extratécnicos por parte de ambientalistas, legisladores y sectores de la población.

Mientras tanto, al no haber incremento en la capacidad instalada para manejo de RIP's, se extienden aún más los daños ambientales y se afecta la competitividad de la industria.

Dentro de las políticas ambientales que se manejan en el país, esta establecido que se debe buscar reducir la generación de RIP's mediante la adopción de mejores procesos, o cambiando la materia prima utilizada; sin embargo, en la actualidad, la disponibilidad de tecnologías limpias es limitada y en general su costo es elevado, lo que acota las posibilidades reales de minimización. En consecuencia, se hace necesario atender el problema del manejo de los RIP's acumulados y en proceso de generación.

La creación de infraestructura para el manejo adecuado de los RIP's en México, es una necesidad urgente.

2.3.6. El caso del CYTRAR Sonora

En el fraccionamiento Las Víboras de **Hermosillo, Sonora**, se ubican las instalaciones de **CYTRAR, S.A. de C.** para el tratamiento y confinamiento de residuos peligrosos. Esta empresa pertenece a un grupo internacional que maneja exitosamente alrededor de 10 confinamientos controlados en Europa. Obtuvo la autorización correspondiente desde diciembre de 1987 y funcionó normalmente hasta fines del año pasado, en que se presentó un derrame de tierras contaminadas provenientes de la empresa Alco Pacífico, S.A., de Baja California, en una espuela de ferrocarril en las inmediaciones de sus instalaciones. A partir de este suceso, una organización local ha demandado la cancelación de la autorización o la relocalización del confinamiento controlado.

Inspecciones de PROFEPA han determinado que el derrame no significó riesgo sobre la población o los ecosistemas y que en todo caso CYTRAR no tuvo responsabilidad sobre el mismo, ya que éste se presentó durante actividades externas de transporte y no en la operación del confinamiento. Más aún, la revisión realizada permite concluir que la instalación cumple con los requisitos para su operación y que no existen violaciones a la normatividad que pudieran conducir a su clausura o justificar su reubicación. Sin embargo, y a pesar de los dictámenes favorables, el grupo local ha alimentado una campaña con claros componentes políticos que distorsionan la discusión. Cabe señalar que éste **es uno de los dos únicos** confinamientos de servicio público en funcionamiento.

En los casos de otras promociones para la instalación de CIMARI`s en diversos lugares del país, se ha manifestado una actitud de retroceso o reserva por parte de los inversionistas. Así, los proyectos de Hidalgo y Tamaulipas han sido cancelados, y los de Puebla, Guanajuato, Veracruz y Estado de México han sido postergados en espera de señales de certidumbre.

El costo en México por disponer adecuadamente de los residuos peligrosos en centros de confinamiento controlado fluctúa entre 500 y 10 000 pesos, mientras que en USA la disposición adecuada de estos residuos fluctúa de 500 a mas de 3 000 Dólares!.

2.4. Normatividad Ambiental en materia de residuos peligrosos.

2.4.1 Normas Oficiales Mexicanas-ECOL

Con relación a las Normas Oficiales Mexicanas para el manejo de residuos peligrosos, se tiene lo siguiente:

- **NOM-052-ECOL-1993**, que 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 (antes NOM-CRP-001-ECOL/93). Es importante citar que esta NOM fue revisada y aprobada por el Subcomité para Residuos Municipales, Peligrosos y Sustancias Químicas, para ser presentada ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, con el fin de que sea publicada en el Diario Oficial de la Federación.
- **NOM-053-ECOL-1993**, que 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 (antes NOM-CRP-002-ECOL/93).

- **NOM-054-ECOL-1993**, (antes NOM-CRP-003-ECOL/93) que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.
- **NOM-055-ECOL-1993**, que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radioactivos (antes NOM-CRP-004-ECOL/93). Dicha Norma será sustituida por el actual Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-055-ECOL-1996, que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán al establecimiento de confinamientos controlados y Centros Integrales para el Manejo de Residuos Industriales Peligrosos. Se está a la espera, de que este proyecto de Norma sea publicado como tal en el Diario Oficial de la Federación.
- **NOM-056-ECOL-1993**, que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (antes NOM-CRP-005-ECOL/93). Es importante citar que esta NOM actualmente se encuentra en revisión y en proceso de integración, en la cual también se incluirán las Normas NOM-057 y 058 - ECOL-1993.
- **NOM-057-ECOL-1993**, que establece los requisitos que deben de observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (antes NOM-CRP-006-ECOL/93). Se debe mencionar que esta NOM, en la actualidad se encuentra en revisión y en proceso de incluirse dentro de la NOM 056-ECOL-1993.
- **NOM-058-ECOL-1993**, que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (antes NOM-CRP-007-ECOL/93). Conviene mencionar que esta NOM, actualmente se halla en revisión y en vías de incluirse en la NOM 056-ECOL-1993.
- **NOM-087-ECOL-1995**, que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológicos-infecciosos que se generan en establecimientos que prestan atención médica.

Otras Normas Oficiales Mexicanas aprobadas por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental y publicadas en el Diario Oficial de la Federación, que son complementarias a las Normas Oficiales Mexicanas, específicas para el manejo de Residuos Peligrosos.

- **NOM-001-ECOL-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

- **NOM-007-ECOL-1993**, de la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales y opacidad de humo, provenientes del escape de motores nuevos, que usan diesel como combustible y que utilizarán para la propulsión de vehículos automotores, con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos.
- **NOM-008-ECOL-1993**, de la opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

Las principales Normas Oficiales Mexicanas para el manejo de residuos peligrosos, en etapa de elaboración y/o modificación, son las siguientes:

- **Norma Oficial Mexicana NOM-090-ECOL-1994** que establece los requisitos para la ubicación, diseño, construcción y operación de presas de jales. (Se ha concluido con la revisión final del Proyecto de Norma, para que sea publicado como Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, una vez que el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental así lo determine).
- **Norma Oficial Mexicana** para el Manejo y Aprovechamiento de Solventes Residuales. Está por instalarse el grupo de trabajo que desarrollará el proyecto de Norma.
- **Proyecto de Norma Oficial Mexicana** que regula las instalaciones destinadas al tratamiento térmico de Materiales y Residuos, provenientes de cualquier actividad y sus emisiones al ambiente. El grupo de trabajo que fue creado para formular este proyecto de Norma, presentó a fines de diciembre de 1997, la versión final del proyecto de Norma ante el Subcomité para Residuos Municipales, Peligrosos y Sustancias Químicas, quien lo aprobó, determinando que fuera presentado ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, para solicitar su publicación en el Diario Oficial de la Federación.
- **Proyecto de Norma Oficial Mexicana** que establece las técnicas de muestreo y el manejo de las muestras para su análisis, con el objeto de determinar su peligrosidad. (El grupo de trabajo se encuentra desarrollando el proyecto de Norma).
- **Norma Oficial Mexicana** que establece los procedimientos para la restauración de sitios contaminados y la limpieza de sistemas de saneamiento contaminados. (Esta por instalarse el grupo de trabajo que desarrollará el proyecto de Norma).

- **Proyecto de Norma Oficial Mexicana** que establece los requisitos para el Manejo y Disposición de Lodos provenientes de Plantas de Tratamiento. (Esta por instalarse el grupo de trabajo que desarrollará el proyecto de Norma).
- **NOM-101-ECOL-1996 Norma Oficial Mexicana** que establece los requisitos y especificaciones para el manejo de lubricantes usados. (Esta por ser publicada como proyecto de Norma Oficial Mexicana).
- **Norma Oficial Mexicana** que establece los "Requerimientos Generales para el Manejo de Bifenilos Policlorados (BPC's)" (Está listo el documento que será discutido en el seno del grupo de trabajo).

2.4.2 Normas Oficiales Mexicanas-SCT2

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha publicado una serie de Normas Oficiales Mexicanas, relacionadas con el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

- **NOM-002-SCT2-1993.** Listados de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
- **NOM-003-SCT2-1993.** Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-004-SCT2-1994.** Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-005-SCT2-1994.** Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-006-SCT2-1994.** Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-007-SCT2-1994.** Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
- **NOM-009-SCT2-1994.** Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1, explosivos.
- **NOM-010-SCT2-1994.** Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-011-SCT2-1994.** Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos en cantidades limitadas.
- **NOM-012-SCT2-1994,** sobre el peso y dimensiones máximas que deben cumplir los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

- **NOM-018-SCT2-1994.** Disposiciones para la carga, acondicionamiento y descarga de materiales y residuos peligrosos en unidades de arrastre ferroviario.
- **NOM-019-SCT2-1994.** Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-021-SCT2-1994.** Disposiciones generales para transportar otro tipo de bienes diferentes a las sustancias, materiales y residuos peligrosos en unidades destinadas al traslado de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-023-SCT2-1994.** Información técnica que debe contener la placa que portarán los autotanques, recipientes metálicos intermedios para granel (RIG) y envases de capacidad mayor a 450 lts. que transportan materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-024-SCT2-1994.** Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-025-SCT2-1994.** Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1, explosivos.
- **NOM-027-SCT2-1994.** Disposiciones generales para el envase, embalaje y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la división 5.2, peróxidos orgánicos.
- **NOM-028-SCT2-1994.** Disposiciones especiales para los materiales y residuos peligrosos de la clase 3, líquidos inflamables transportados.
- **NOM-043-SCT2-1995.** Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-EM-008-SCT2-1995.** Disposiciones para efectuar la inspección de equipo de arrastre ferroviario asignado al transporte de materiales y residuos peligrosos.
- **NOM-EM-020-SCT2-1995.** Requerimientos generales para el diseño y construcción de autotanques destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos, especificaciones STC 306, STC 307 y STC 312.

Además de los elementos de la estructura jerárquica descritos con anterioridad, existen otros publicados por la autoridad en materia ambiental, relacionados directamente con el cumplimiento que tanto los generadores como los prestadores de servicio, deben atender para informar sobre los movimientos que llevan a cabo entre sí, con residuos peligrosos. Estos ordenamientos consisten básicamente de manifiestos y reportes que deben ser presentados por los

generadores de residuos peligrosos, o bien por aquellos dedicados al manejo de los mismos. Estos documentos son

2.5 PROCESO DE ANODIZADO

El proceso de anodizado tiene como finalidad el brindar dureza y resistencia a la corrosión a los objetos de aluminio, de acuerdo al uso que se le vaya a dar.

El anodizado es una oxidación acelerada del aluminio superficial a óxido de aluminio, el cual posee características que dependen de las condiciones mediante las cuales fue producido y el aluminio utilizado; permitiendo una amplia versatilidad para diferentes aplicaciones. Las características del anodizado se ven afectadas significativamente por la composición o contenido de la aleación de aluminio.

El siguiente esquema muestra la secuencia del proceso de anodizado con ácido sulfúrico como electrolito:

- 1.Limpieza Alcalina Ligera (Solución 1)
- 2.Enjuague frío
- 3.Alcalino matizado (Solución 2)
- 4.Enjuague frío
- 5.Enjuague frío
- 6.Anodizado (Solución 4)
- 7.Enjuague frío
- 8.Coloreado
- 9.Sello (Solución 5)
- 10.Limpieza, inspección y envoltura





En la primera fase, se reciben los Perfiles de Aluminio, sometiéndoles a una esmerada revisión, antes de entrar en producción. Comenzando el proceso de clasificación y colocación, por su acabado final.

El Aluminio es sensible al proceso de *Oxidación* ambiental, como cualquier metal. Esto produce manchas aleatorias, que afectan negativamente a la estética de los perfiles. El proceso de anodizado se puede definir, como una oxidación controlada, acelerada y uniforme de la capa superficial del perfil, por medio de un proceso *Electroquímico*. Tal proceso se realiza de la siguiente forma:



Desengrase:

Consiste en la limpieza de posibles impurezas depositadas en la superficie de los perfiles. Estas impurezas provienen del proceso de extrusión o de los tratamientos mecánicos. El tratamiento se efectúa con sustancias de naturaleza alcalina.

Matizado:

Proceso utilizado después del desengrase, para acabados no brillantes.

Aclarados:

El material se aclara con tres baños de agua desmineralizada, con el objeto de no aportar ningún elemento extraño al proceso. Ayudados de serpentines de aire a presión, conseguimos una limpieza absoluta.

Neutralizado:

Consiste en un baño de ácido sulfúrico y aditivos especiales, para evitar posibles desequilibrios superficiales.

Anodizado:

En esta parte del proceso, la oxidación de la superficie del perfil es forzada, creando una capa "anódica". Esta se mide en "micras", la cual servirá como pantalla de protección contra la oxidación atmosférica. Dependiendo de la zona geográfica a donde va destinado el perfil, debemos conseguir de 15 a 25 micras de grosor de capa anódica.

Tratamientos en Baños

Se aprovecha la creación de poros en la superficie del perfil de aluminio, en el proceso de anodizado, para conseguir la coloración deseada por medio de sales de estaño. Existe una amplia gama de colores: Bronces claros y oscuros, Oros claros y oscuros, Negros, ...etc.

Sellado

Este consiste en cerrar los poros, que se formaron en el proceso de anodizado sobre la superficie de los perfiles. Esto se realiza con baños de sales de níquel, a una temperatura de 30°C.

Pulido:

Con este proceso se consigue que el perfil adquiera brillo, y a la vez, se eliminan impurezas de la superficie.

- ***Lijado:*** *Este proceso consiste en aplicar un acabado rayado, a base de lija. Después, se puede pulir o no, dotándolo de un aspecto muy decorativo.*

- ***Gratado:*** *Proceso similar al del lijado, pero menos pronunciado. Es posiblemente, el tratamiento más extendido.*

- ***Repulido:*** *Consiste en volver a pulir la superficie del perfil, que ha sido anodizada. Con este proceso, se consigue un acabado con mucho más brillo.*

Tratamiento de agua

Las aguas naturales contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas, su tamaño y densidad permiten separar ciertas partículas por simple sedimentación, pero algunas son de un tamaño tan pequeño que va entre 1 y 0.2 μm , poseen una carga eléctrica superficial que las hace repelerse continuamente, estabilizándolas, impidiendo su aglomeración y formación de

partícula más pesada y poder así sedimentar. Estas partículas se conocen con el nombre de Coloides.

Los tamaños varían entre 1 nm y 1 μm , normalmente se encuentran formando una disolución en un medio con partículas de tamaño más pequeño. Tienen una gran importancia científica y tecnológica, son muchos de los productos de nuestra vida cotidiana: la leche, las pinturas y tintes, la sangre, etc.

Los coloides generalmente son estables en solución al predominar los factores estabilizantes sobre los desestabilizantes. Los factores estabilizantes son aquellas fuerzas que provocan repulsión entre las partículas como son las fuerzas electrostáticas y la propia hidratación. Los factores desestabilizantes son por el contrario las fuerzas de atracción que dan lugar a la unión, entre estas figuran el movimiento Browniano, las fuerzas de Van der Waals y también en menor grado las fuerzas de gravedad. La estabilización se puede realizar de dos maneras, que dan lugar a los dos tipos de coloides: estabilizados por carga y estabilizados entrópicamente (o estéricamente). En la Figura 8 se presenta un gráfico que permite apreciar como esta conformado un coloide.

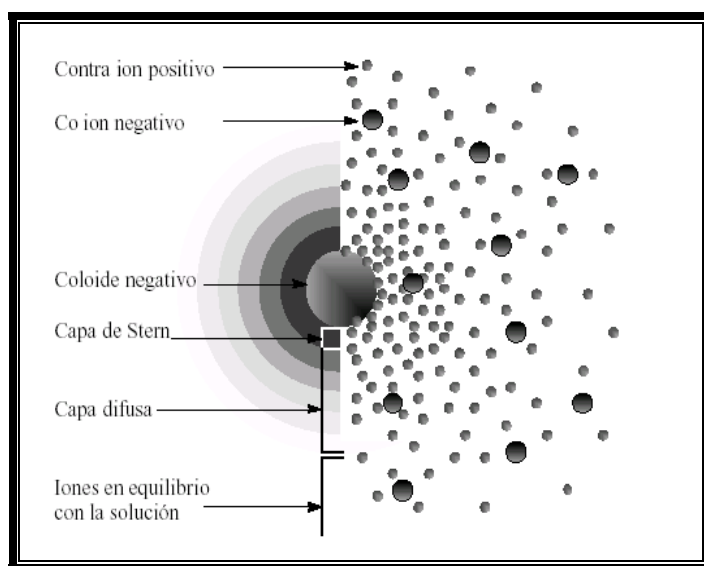


Figura 8. Representación gráfica de Coloide.

La coagulación es la formación de flóculos, mediante la adición en el agua de un producto capaz de neutralizar la carga de los coloides, las cuales generalmente son electronegativas, debido a la presencia de grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie. Estos grupos

reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes lo que genera la posterior precipitación. Así la desestabilización de los sistemas coloidales se ve mejor bajo el punto de vista químico.

La Coagulación y Floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación. El primero forma parte del tratamiento para la separación de materia suspendida y coloidal presente en el agua, y consta de mezclado, coagulación, floculación y sedimentación. El mezclado es la distribución uniforme y rápida de un coagulante en el agua antes de que se verifiquen reacciones químicas en proporción notable. En la Figura 9 se presenta un diagrama que permite dar seguimiento a ambos procesos.

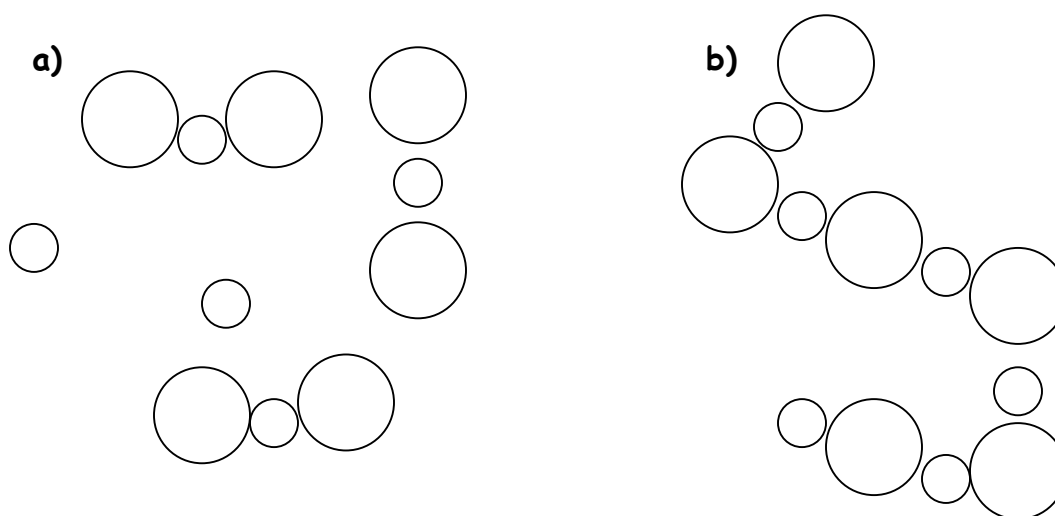


Figura 9. Representación gráfica de proceso; a) Coagulación, b) Floculación

Floculación

Para obtener una buena floculación, es preciso crear por espacio de unos minutos una agitación enérgica en el momento de la dosificación de los reactivos o floculantes, con el objeto de que se mezclen íntimamente con el agua. Estas sustancias también llamadas ayudantes de coagulación o incluso ayudantes de filtración, son productos destinados a favorecer cada una de estas operaciones.

La agitación deberá efectuarse por medio de agitadores mecánicos en la primera cámara de floculación, el gradiente de velocidad es 40 ciclos/segundo y la segunda tiene un gradiente de velocidad de 20 ciclos/segundo.

Este mecanismo de estabilización de coloides involucra la presencia de moléculas poliméricas (liofílicas), que se adsorben sobre la superficie de las partículas coloidales y que evitan que éstas floculen, como se puede apreciar en la Figura 10.

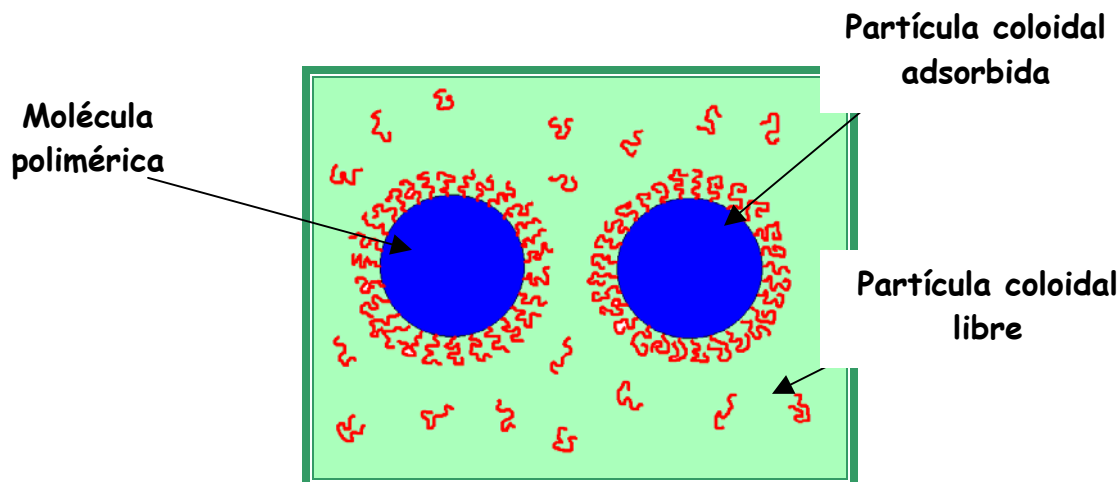


Figura 10. Representación gráfica de adsorción polímero-coloides.

El efecto de la adsorción de polímero sobre las interacciones entre las partículas coloidales se puede entender conforme a la representación gráfica en la Figura 11, la molécula polimérica posee una extensión característica *delta* (δ), cuando la distancia entre las superficies de las partículas coloidales, *H*, es mayor que dos veces *delta* (δ), no hay interacción o si la hay es muy pequeña. Sin embargo, si *H* es menor que dos veces *delta* (δ), las capas de material polimérico adsorbidas se interpenétran, lo que resulta en una interacción repulsiva, de origen entrópico: el reducido espacio limita el movimiento de las moléculas, lo que reduce la entropía y hace a esta configuración menos favorable.

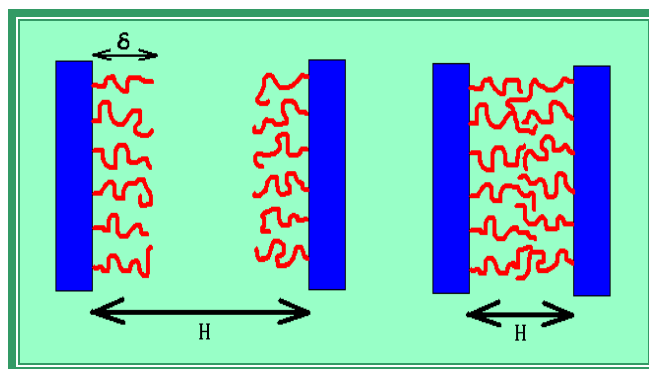
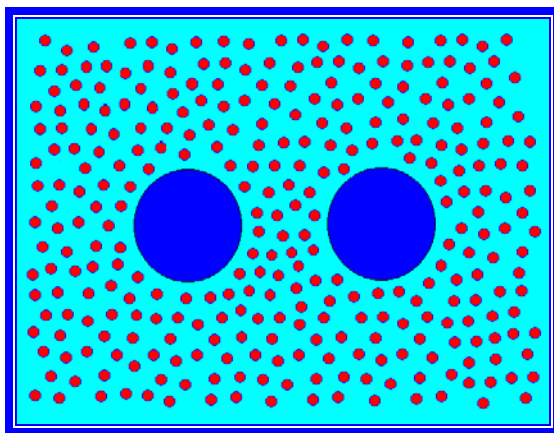


Figura 11. Representación gráfica de adsorción polímero-colloide en vista transversal

A esta interacción repulsiva hay que añadir la interacción atractiva de tipo van der Waals entre las partículas coloidales.

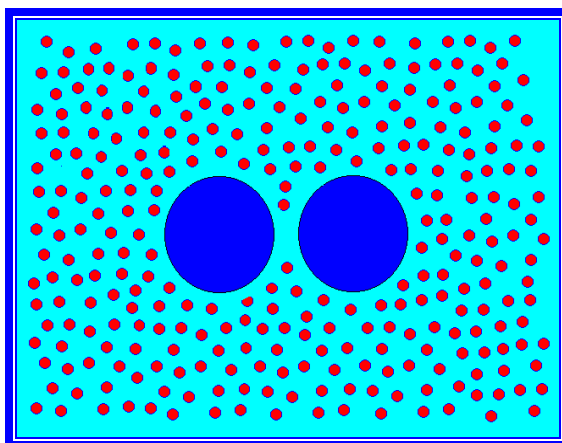
La estabilización entrópica se puede explicar de la siguiente manera: si se mezclan esferas duras de diámetros diferentes, uno mayor que otro, han sido objeto de gran interés desde hace tiempo, motivado principalmente por la posibilidad de que muestren separación de fases. Parece hoy en día claro que, al menos para valores altos del cociente entre los diámetros, las mezclas de esferas duras no se separan para ningún valor de la presión. Sin embargo, la situación podría ser diferente para relaciones pequeñas entre los diámetros. Este caso se puede transformar formalmente en el de un sistema de esferas duras (en este caso, el sistema de esferas grandes) que interaccionan mediante un potencial efectivo que muestra una atracción a cortas distancias. El origen de esta atracción es entrópico y se puede entender como sigue:

Distancias grandes: las esferas grandes se encuentran a una distancia suficientemente grande como para que existan muchas esferas pequeñas entre las dos grandes. De manera que el momento que las esferas pequeñas comunican a las grandes en todas las direcciones se compensa y la fuerza total sobre las esferas grandes es cero.

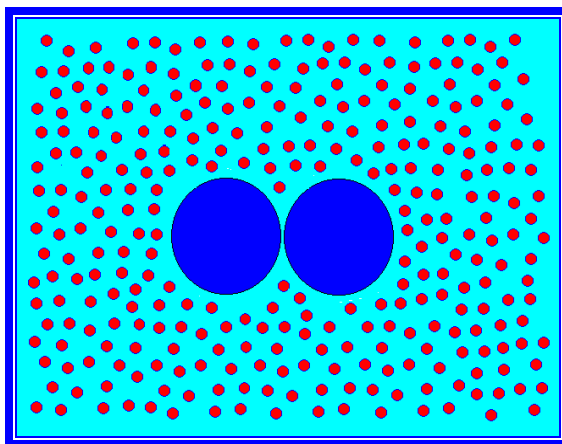


Distancias intermedias: en el espacio dejado por las esferas grandes no caben demasiadas esferas pequeñas. Comienza a existir una descompensación en el

momento total transferido a lo largo de la distancia que une las dos esferas grandes.



Distancias pequeñas: no existe espacio suficiente entre las esferas grandes, de manera que las esferas pequeñas no pueden penetrar entre las grandes y aquéllas comunican un momento neto a éstas que produce una atracción efectiva entre las esferas grandes.



Entre los principales y mas conocidos coagulantes tenemos el Sulfato de Aluminio, con dosis que van de 15 a 150 ppm del reactivo comercial $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$, según turbiedad del agua, permite utilizar una dosis adecuada en polvo sin afectar la salud de las personas y sedimentando las partículas suspendidas en el fondo del recipiente.

La dosis correcta de sulfato de aluminio se determina inicialmente a partir de las pruebas de jarras de agua cruda. La formación óptima de flóculos utilizando sulfato de aluminio, ocurre cuando el valor del pH se encuentra entre 7.5 y 8.5, si la alcalinidad no es suficiente para reaccionar con el sulfato de aluminio, se debe añadir un álcali como la cal.

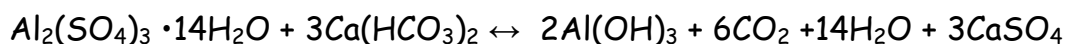
El $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ es un compuesto químico muy práctico de utilizar y económico. Su presentación es en forma de cristales de color blanco.

Se utiliza como coagulante de impurezas en todo tipo de aguas, ya sea para el uso industrial o doméstico. La importancia de los coagulantes se debe, en parte, a las propiedades esponjosas del flóculo, ya que este tipo de estructura posee amplias áreas superficiales a las que se adhieren las partículas coloidales o semicoloidales.

Esta sustancia presenta las siguientes reacciones:



Esta reacción va disminuyendo su pH a medida que la reacción se lleva a cabo hasta un punto en que se detiene. Si el agua contiene bicarbonatos, el pH puede mantenerse relativamente constante, ya que estos actúan como amortiguadores. La reacción se puede ver en la reacción;



Los lodos de neutralización son los principales contaminantes que se producen en las plantas de anodizado. Estos lodos se producen en la etapa de neutralización de las corrientes ácidas y básicas que se generan en los diferentes tratamientos.

Se ha comprobado la utilidad de residuos generados en el proceso de neutralización en plantas de anodizados como agentes de floculantes en aguas residuales y de encolado en la industria papelera. Se puede utilizar sulfato o hidróxido de aluminio obtenido a partir de dichos lodos, con la misma finalidad.

Los lodos del anodizado provienen de la mezcla de soluciones de sosa cáustica empleadas durante el proceso para el decapado de los perfiles de aluminio y el ácido sulfúrico proveniente del baño de anodizado

La utilización de los lodos estabilizados o modificados además de rebajar la turbidez de la solución se disminuye la concentración de elementos contaminantes, en especial el DQO (Demanda Química de Oxígeno) en más del 90 %. Su empleo está especialmente indicado en el tratamiento de las aguas residuales procedentes de las fábricas de pinturas de las papeleras.

OBJETIVOS

3.1 Objetivo Principal

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal establecer las condiciones idóneas para la obtención de subproductos de aluminio con un valor comercial a partir de un residuo industrial, con esto se ofrece una alternativa de tratamiento para este tipo de lodos de anodizado buscando la recuperación del metal con un alto rendimiento dejando a un lado la otra opción que es el confinamiento del residuo. Los subproductos de aluminio a producir son hidróxido de aluminio $[Al(OH)_3]$, sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3]$, cuyos productos químicos son comúnmente usados en tratamiento de agua, industria de papel, impermeabilización de tejidos, fabricación de recipientes refractarios.

3.2 Objetivos específicos.

- a) Identificar y caracterizar el residuo a utilizar como materia prima, para saber si es rentable la recuperación del metal, en este caso del aluminio.
- b) Investigar y diseñar modelos de reacción que conduzcan a la obtención de un subproducto con valor comercial.
- c) Ensayos de dichas con las especificaciones recomendadas.
- d) Caracterización de los productos obtenidos, estudiando su composición y su pureza.
- e) Variar condiciones de reacción para observar su efecto en la cantidad y calidad del producto.
- f) Presentar una alternativa de residuos sólidos como fuente de materia prima ya sea de manera directa para generar un producto de valor comercial o simplemente retirando sus características tóxicas.
- g) Plantear un análisis de rentabilidad del procesamiento del residuo a nivel industrial.

MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales

Se lleva a cabo la reacción de formación del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mediante la mezcla de Residuos Industrial en donde predomina como impureza sal de Aluminio como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y H_2SO_4 concentrado en una relación 1:1 (50 g residuo en fase sólida con 50 mL de ácido) con 4 adiciones de un volumen de 12.5 mL cada una de ellas y a temperatura promedio de 35 °C con un tiempo de agitación y digestión de 30 minutos en cada adición de H_2SO_4 . Una vez concluido el proceso, se procede a su filtración en caliente y se lleva a sequedad a 110 °C.

Se lleva a cabo el proceso de purificación utilizando el medio acuoso como solvente, se adiciona al precipitado obtenido agua destilada y se calienta ligeramente hasta solubilidad, finalmente, se deja recristalizar el respectivo compuesto.

4.2 Métodos

4.2.1 caracterización mineralógica

Difracción de Rayos X; los rayos x son radiaciones en el espectro electromagnético de longitud de onda corta producida por la desaceleración de electrones de elevada energía o por transiciones electrónicas que implican electrones de los orbitales internos de los átomos. el intervalo de longitudes de onda de la espectroscopia de rayos x convencional abarca la región de aproximadamente 0,1 a 25 Å.

Emisión de Rayos X

Los rayos X para usos en experimentos de difracción se obtienen de varias maneras, la fuente más usual de rayos X es el tubo de rayos X (algunas veces llamado tubo de Coolidge) Figura 12 n donde se produce una colisión de un haz de electrones con un blanco metálico (cobre), y cuando el voltaje alcanza un determinado valor (potencial crítico, que depende del elemento del ánodo), el haz de electrones en los orbitales internos de los átomos.

Las fuentes de rayos X, producen un espectro continuo y otro discontinuo (líneas de rayos característicos). La radiación continua se llama también radiación blanca o frecuentemente "Bremsstrahlung", que proviene del alemán *strahlung* (que significa radiación), y *brems* (que significa frenar, es decir, desacelerar), la cual según el nombre se interpreta como: radiación que proviene de la desaceleración de partículas. La radiación continua es el resultado de las colisiones entre los

electrones del haz incidente y los átomos del material del blanco. En cada colisión, el electrón se desacelera y la energía que pierde el electrón aparece en forma de radiación como un fotón de energía de rayos X, siendo muchos de los fotones discretos cuyas longitudes de onda varían desde $\lambda_{\min}$ hasta λ_{∞} correspondiendo a las diferentes pérdidas de energía en los choques individuales.

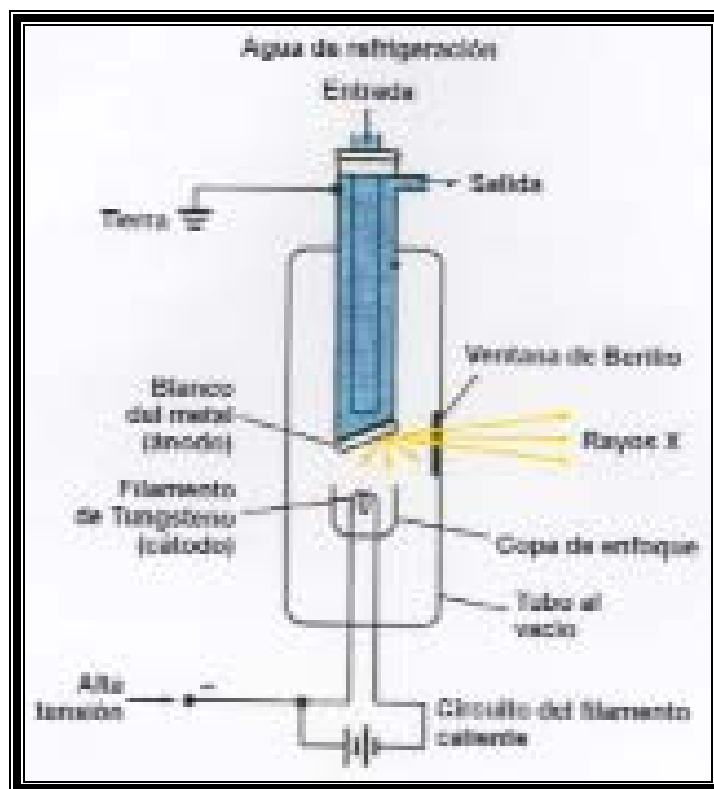


Figura 12 Esquema de un tubo de Rayos X.

La energía del fotón será igual a la diferencia entre la energía cinética del electrón antes y después de la colisión. Esto se calcula mediante la siguiente expresión:
En donde:

$$h\nu = K - K' = eV$$

K = energía cinética inicial del electrón

K' = energía cinética final del electrón

también se puede escribir como :

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_0} = eV$$

y la longitud de onda para el fotón es:

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eV}$$

En donde:

h: cte. de Planck = 6.62×10^{-27} erg/seg

c: velocidad de la luz = 3×10^{10} cm/seg

e: carga del electrón = 1.6029×10^{-29} Coulomb

V: potencial de aceleración

Sustituyendo los valores numéricos, la ecuación queda:

$$\lambda_0 = 12398 / V$$

Difracción de Rayos X

La interacción entre el vector eléctrico de la radiación X y los electrones de la materia por la que pasa da lugar a una dispersión. Cuando los rayos X son dispersados por el entorno ordenado de un cristal, tienen lugar interferencias (tanto constructivas como destructivas) entre los rayos dispersados ya que las distancias entre los centros de dispersión son del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la radiación. El resultado es la difracción.

Método de Difracción de Rayos X

El método usado en este estudio se conoce con el nombre de difracción de rayos-X de polvo cristalino, el cual es el único método analítico que es capaz de suministrar información cualitativa y cuantitativa sobre los compuestos presentes en una muestra sólida. En este método, la muestra cristalina se tritura hasta obtener un polvo fino homogéneo. Esto trae consigo, que el enorme número de pequeños cristales presenten orientaciones en todas las direcciones posibles; y por consecuencia, cuando un haz de rayos-X atraviesa el material, se esperaría que un número significativo de partículas esté orientado de tal manera que cumpla la

condición de Bragg para la reflexión para todos los espaciados interplanares posibles.

Ley de Bragg

En 1912, W.L. Bragg estudió la difracción de rayos X mediante el uso de cristales, mostrando que cada uno de los planos atómicos (capas) compuestos en los cristales, reflejan la radiación en la misma forma como la luz es reflejada por un espejo. De esta forma cuando un rayo X alcanza la superficie de un cristal a cualquier ángulo θ , una fracción es dispersada por la capa de átomos de la superficie. La fracción no dispersada penetra en la segunda capa de átomos donde otra vez una parte es dispersada y la que queda pasa a la tercera capa, (Figura 13)

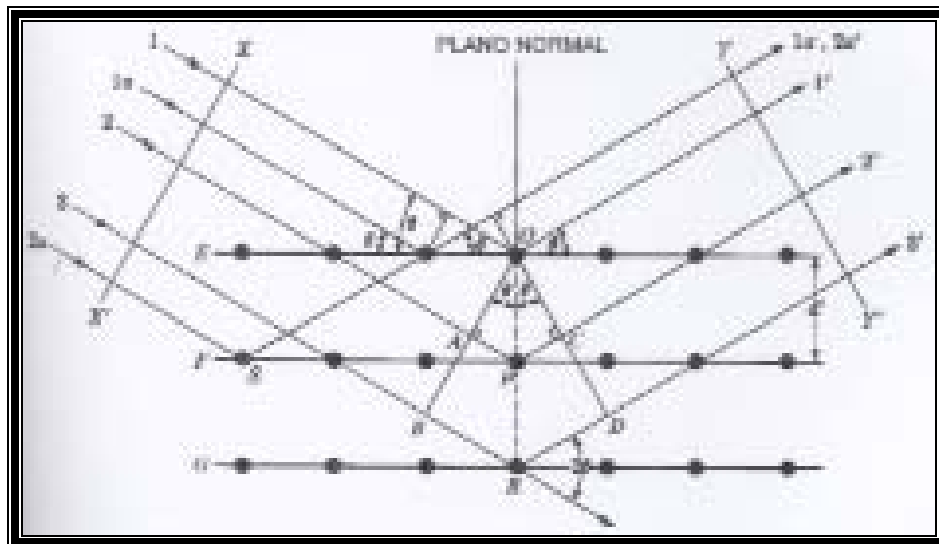


Figura 13. Difracción de rayos X por un cristal.

Si la distancia:

$$AP + PC = n\lambda$$

En donde:

n = número entero

Y el valor de :

$$AP = PC = d \text{ Sen } \theta$$

Entonces:

$$d \operatorname{Sen} \theta + d \operatorname{Sen} \theta = n\lambda$$

Y tendremos:

$$2d \operatorname{Sen} \theta = n\lambda$$

Ecuación de Bragg

$$\operatorname{Sen} \theta = \frac{n\lambda}{2d}$$

Hay que señalar que los rayos X parecen ser reflejados por el cristal sólo si el ángulo de incidencia corresponden con los ángulos de Bragg, para que el haz reflejado esté en fase y nos dirija a una interferencia constructiva, se debe satisfacer la ley de Bragg. Las condiciones para la difracción de rayos X consiste en 2 puntos : que la distancia entre capas de átomos sea aproximadamente igual a la longitud de onda de la radiación y que los centros de dispersión estén distribuidos en el espacio de forma muy ordenada.

Preparación de las muestras

La muestra cristalina se tritura en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino homogéneo, procediendo a extender la muestra en una placa plana (porta muestra) con un área de 1.5 cm y un espesor de 0.5 mm.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Obtención de Compuestos

Por medio de un proceso de reacción de formación, ha sido posible llegar a obtener una serie de compuestos a base de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ partiendo de residuos de origen industrial que están conformados predominantemente por Aluminio en forma de sal soluble y silicatos, principalmente como sílice que tiende a ser insoluble.

Los diferentes compuestos generados han sido en su gran mayoría en forma de gránulos de homogéneos que tienden a ser claros (blancos) los que han sido recrystalizados y color beige aquellos obtenidos en primera reacción, en la Tabla 5 se presenta la relación de resultados de los materiales analizados.

Tabla 5. Relación de resultados de materiales analizados

<i>Material</i>	<i>proceso</i>	<i>Rendimiento % p/p</i>	<i>Sodio ppm</i>	<i>Aluminio ppm</i>	<i>Observaciones</i>
Producto 1	30 min c/a 4 Alim. 12 mL	74.93	1.16	12.6 %	Manchas cafés Olor maple
Producto 2	40 min c/a 4 alim. 12.5 mL	83.15	1.24	14.1 %	Color gris/verde
Producto 3	30 min c/a 4 alim 12.5 mL secado 60°C	69.12	1.14	12.3 %	Color café homogénea
Producto 4	4 alim 13 mL Cada 25 min Se recrystalizo a Tamb.	78.13	1.27	16.9 %	se obtuvo una sal blanca homogénea
Producto 5	Mismas cond. 130 °C de secado	85.29	1.06	12.2 %	Película cristalina verdosa, olor a maple
Residuo 1	Filtración en caliente	No aplica	.46	17.8 %	Color café muy duro, Granulado
Residuo 2	Filtración en caliente	No aplica	.49	13.6 %	Color café, fragmentos duros
Residuo 3	Filtración en frío	No aplica	.41	11.4	Color café, compactado y duro.
Residuo Anodizado	No aplica	No aplica	1.12	16.4 %	Piezas cafés, muy duras, sin olor
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	No aplica	No aplica	1.21		Sal homogénea blanca y sin olor

5.2 Composición mineralógica

5.2.1 Residuo Industrial

Con apoyo de Difracción de Rayos X, fue posible identificar los diferentes compuestos obtenidos; iniciando por caracterizar el residuo original el cual esta conformado principalmente por $\text{Al}(\text{OH})_3$ presente en tres fases; Gibbsita en dos formas cristalinas y Bayerita sintética. Se realizaron dos análisis, uno sobre la muestra origina previamente libre de humedad y pulverizada y otro sobre la muestra previamente lavada en medio acuoso, en ambos casos se obtienen las mismas fases cristalinas, si bien en el residuo lavado se aprecia una mayor intensidad de picos de dichas fases, en ambos casos es fácilmente identificables dichas fases. En la Figura 14 se presenta el par de difractogramas correspondientes a los compuestos obtenidos.

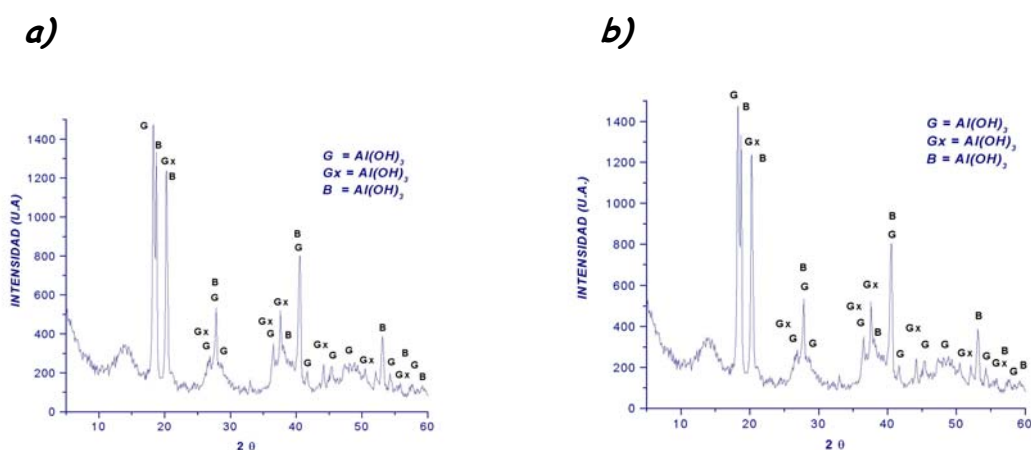


Figura 14. Difractogramas obtenidos DRX de residuo; a) Residuo industrial b) Residuo lavado

5.2.2 Compuestos obtenidos

Mediante una reacción de formación, el residuo se disuelve en medio de H_2SO_4 concentrado y se aplica un calentamiento ligeramente y agitación continua para posteriormente dejar en digestión por espacio de 20 minutos en cada proceso de alimentación. Finalmente se filtra, y se obtiene dos fases, la líquida que contiene a la sal de aluminio disuelta y la fase sólida correspondiente a la fase insoluble en medio ácido.

Una vez en la fase líquida cristalizada la sal de sulfato se obtiene un precipitado blanco que una vez libre de humedad tiende a formar aglomerados ligeramente resistentes a presión normal pero que mediante molienda es posible obtenerlo en forma de polvo. A aplicación de Difracción de Rayos X permite conocer su composición mineralógica, logrando identificar en todos los casos tres fases cristalinas predominantes; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ (Alunogen sintético), $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ y $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Tamarugita). En la Figura 15 se presenta el par de difractogramas correspondientes a los compuestos obtenidos.

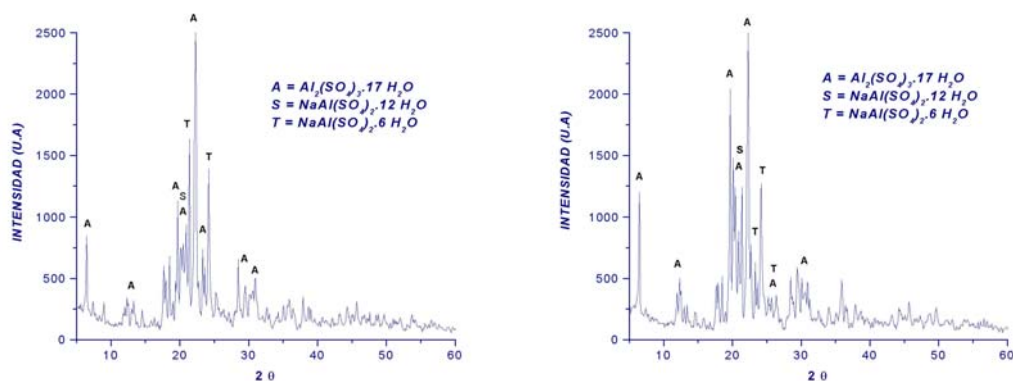


Figura 15. Difractogramas obtenidos DRX de compuestos obtenidos

La fase sólida residual en el papel filtro se procede a caracterizar para conocer su composición mineralógica, se obtienen fases que se consideran propias del residuo original; $\text{Al}(\text{OH})_3$ presente en tres fases; Gibbsita en dos formas cristalina y Bayerita que se puede atribuir que la reacción fue incompleta ya sea que faltó reactivo ácido o tiempo de reacción. Se identifica una fase de $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ que se puede atribuir a un silicato propio de material residual original que anteriormente no se identificó siendo atribuido a que se encuentra en bajo porcentaje y que una vez aprovechado aluminio en forma de sal de sulfato, se incrementa dicho silicato insoluble y se detecta por medio de Difracción de Rayos X. En la Figura 16 se presenta el par de difractogramas correspondientes a la fase sólida residual presente en papel filtro en el proceso de separación.

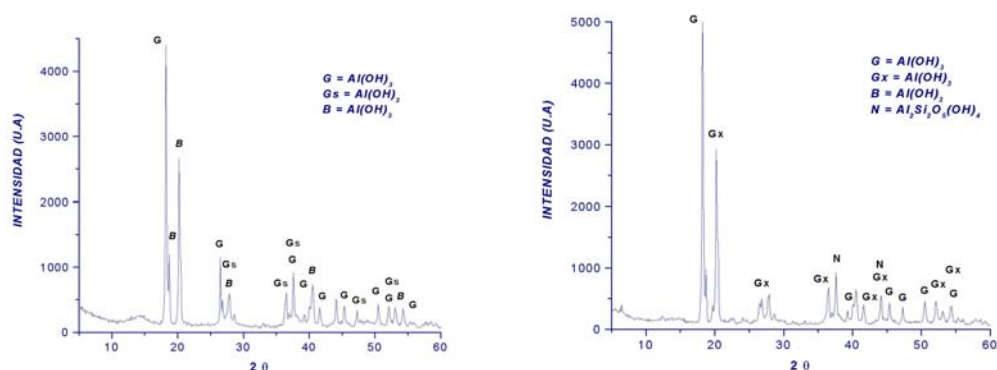


Figura 16. Difractogramas obtenidos DRX de fase sólida residual una vez obtenido el compuesto

Una vez obtenido el material a base de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$, se procede a aplicar una purificación mediante el proceso de recrystalización, lográndose obtener un material que presenta un aspecto mas homogéneo en cuanto a color y distribución de aglomerados, mediante la identificación de fases cristalinas, persisten las mismas previamente analizadas; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ (Alunogen sintético), $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ y $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Tamarugita) con la variante de que se aprecia un menor fondo de difractograma y una mayor definida de picos característicos de las diferentes fases. Se confirma que se ha logrado obtener la fase deseada; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ y un par de fases adicionales que se conforman por la presencia de sodio; $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ y $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. En la Figura 17 se presenta el par de difractogramas correspondientes a los compuestos obtenidos después de la recrystalización.

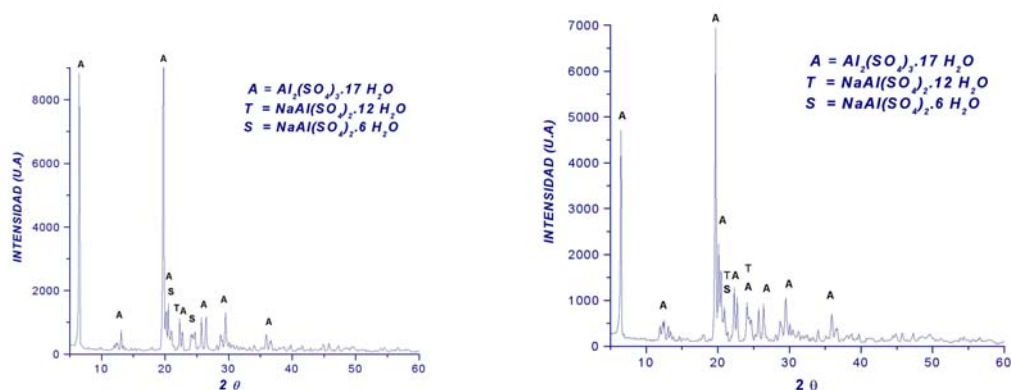


Figura 17. Difractogramas obtenidos DRX de compuestos obtenidos después de la recristalización

Durante el proceso de formación del compuesto por medio de precipitación, se genera un compuesto intermedio que se atribuye al exceso de NH_4OH durante el proceso de obtención en primera estancia de mayor cantidad de $\text{Al}(\text{OH})_3$, mediante Difracción de Rayos X fue posible identificar la fase de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Mascagnita sintética). En la Figura 18 se presenta el difractograma correspondiente al compuesto intermedio obtenido que permite eliminar el interés de aumentar la fase de $\text{Al}(\text{OH})_3$ en reacción previa a la precipitación de la sal de sulfato.

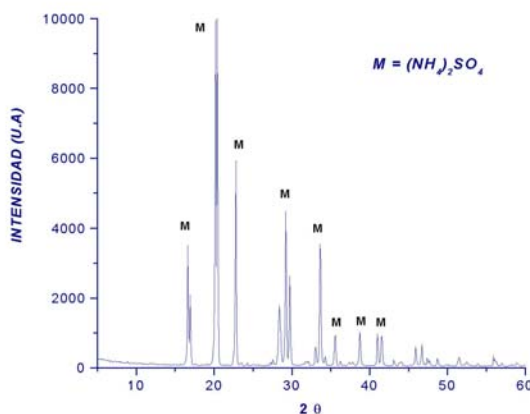


Figura 18. Difractogramas obtenidos DRX de compuesto intermedio obtenido

CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos, se puede concluir que el uso de residuos generados en planta de anodizados, en principio conformados de sales de aluminio que mediante apoyo de Difracción de Rayos X, fue posible identificar las fases de $\text{Al}(\text{OH})_3$ presente como; Gibbsita en dos formas cristalinas y Bayerita sintética.

Dada la solubilidad alto grado de reactividad en medio acuoso de dicho compuesto, ha sido posible el investigar y diseñar modelos de reacción que conducen a la obtención de una serie de subproductos conformados por las fases cristalinas; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ (Alunogen sintético), $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ y $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Tamarugita).

Se han obtenido en total 5 diferentes compuestos en su gran mayoría en forma de gránulos de homogéneos que tienden a ser claros (blancos) los que han sido aplicando variantes de tiempo y temperatura en el proceso de formación y crecimiento de cristales, de igual forma se ha aplicado procesos de recristalización de tal forma que ha sido posible obtener cristales de color beige; aquellos obtenidos en primera reacción, y blancos los cuales han sido recristalizados, presentado porcentajes de rendimiento promedio de 75 %, logrando obtener un material purificado con un 16.9 % de Aluminio y un rendimiento de reacción de 78.19 %.

En base a resultados obtenidos, se puede considerar el uso de residuo generado en planta de anodizados como una fuente alterna de materia prima para elaborar subproductos de sales de aluminio a base de sulfatos, se presenta una alternativa de residuos sólidos para generar un producto de valor comercial o simplemente retirando sus características toxicas, no se descarta el plantear un análisis de rentabilidad del procesamiento del residuo a nivel industrial.

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

En base a los resultados obtenidos, la investigación invita a que se de continuidad y se realice el estudio de aplicación directamente en proceso de tratamiento de agua como agente floculante sin descartar el uso de residuo de manera directa dado que esta conformado predominantemente en sal de hidróxido y se puede aprovechar la reactividad de compuesto de manera directa.

Durante el proceso de ejecución del presente proyecto de investigación, fue posible el poder considerar el realizar ensayos complementarios que permitieran obtener otro tipo de sales de aluminio, no se realizaron a fin de no desviar el objetivo trazado inicialmente, pero no se descartaron y se incluyen dentro de Futuras Líneas de Investigación, mencionándose el de realizar estudios térmicos para tratar el residuo de manera directa y el obtener materia prima secundaria para utilizarse en elaboración de materiales cerámicos, dígame cerámicas tradicional, vidrios o vitrocerámicos.

REFERENCIAS

1. www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/revista/revista_4/residuos_indus.htm
2. www.ine.gob.mx/ueajei/peligrosos.html
3. www.semarnat.gob.mx/sonora/que_es_remexmar.shtml
4. www.respyn.uanl.mx/iv/2/editorial/
5. www.temarry.com/Espanol/residuos_industriales1.htm
6. www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/rp/definicion/definicion.shtml
7. www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/normas/res_pel/no_052.html
8. www.unam.mx/cesem/SEAM/SEAM1/merpseam.htm
9. www.ens.uabc.mx/eca/ambiente/unid71d.htm
10. www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/revista/revista_4/residuos_indus.htm
11. Bertha Alicia Galindo, Artículo: Sin control, manejo de residuos tóxicos
12. www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/normas/res_pel/no_052.html
13. www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/normas/res_pel/no_087.html
14. www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/articulos/residuos.html
15. Promoción de la minimización y manejo integral de los residuos peligroso.
16. www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/rp/directorio/rubro9/shtml
17. www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/36/cap2.html
18. www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/articulos/residuos.html
19. www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaListaPub3.php
20. portal.semarnat.gob.mx/marco_juridico/#normas
21. www.economia.gob.mx/work/normas/noms/1994/p014sct
22. www.finishing.com/anodizing/index.html
23. R.H. Probert, ALUMINUM HOW-TO -- The Chromating - Anodizing - Hardcoating Handbook
24. www.san-ba.com/Paginas/Central%20anodizado.htm
25. www.jealser.com/html/servicios/proaluminio.php
26. www.fao.org/docrep/field/003/AB482S/AB482S04.html
27. Schrenk, W.G. *Applied Spectroscopy*. 40 (1), XIX, 1986.
28. Slavin, M. *Atomic Absorption Spectroscopy*. John Wiley & Sons, New York. 1978.
29. Van Loon, J.C. *Analytical Atomic Absorption Spectroscopy*. Academic Press, New York. 1980.