

10523
7



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTONOMA DE MÉXICO**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesorales

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN**

**Obtención de Sulfato de Aluminio y Sulfato de Sodio a Partir de
Desechos de una Planta Anodizadora de Aluminio**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUÍMICA

P R E S E N T A:

ERIKA DEL CARMEN RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ

**ASESORES: Q. MARÍA EUCENIA CARBAJAL ARENAS
M. EN C. JOSÉ DE JESÚS PÉREZ SAAVEDRA**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES
CUALIFICACION DE
2002

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Otención de Sulfato de Aluminio y Sulfato de Sodio a Partir de Desechos de una Planta Acidizadora de Aluminio.

que presenta la pasante: Erika del Carmen Rodríguez Gutierrez
con número de cuenta: 955604-8 para obtener el título de: Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 09 de Septiembre de 2002

PRESIDENTE	<u>Q. Elia Catalina Leon Arias</u>	
VOCAL	<u>L.Q. Gloria Borjón Anag Ruiz</u>	
SECRETARIO	<u>M. en C. José de Jesús Pérez Saavedra</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>L.Q. Graciela Delgadillo García</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Q.F.B. Elia Granados Enriquez</u>	

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por haberme dado la sabiduría y la paciencia de haber concluido una de mis metas.

A mis padres

Joel Rodríguez y María del C. Gutiérrez.

Por haberme dado el amor e inculcado las bases tan importantes como es el estudio y por llenar mi vida de valores humanos.

A mis hermanas

Elizabeth, Berenice e Itzel

Por brindarme su apoyo, amor y confianza.

A mis sobrinos

Alejandro y Amanda

Por darme el amor, la ternura y sus sonrisas.

A mis profesores

Chucho y Maru

Por el tiempo y la paciencia que me brindaron ya que juntos logramos un buen trabajo.

A la empresa

Por haberme tenido la confianza al proporcionarme las muestras para la realización de este trabajo

A mi esposo

Martín Cesar Valor Ponce

Por el apoyo, la paciencia, el amor y por compartir los buenos y malos momentos ya que siempre he estado a mi lado.

A mi hijo

Jair Valor Rodríguez

Por que es el amor de mi vida y el motivo para seguir adelante.

A mi tío

Francisco Rodríguez

Por haber sido mi maestro incondicionalmente durante toda mi formación académica.

A todos mis profesores de la

F.E.S.C.

Por el conocimiento que cada uno de ellos en su momento me brindó.

A todas las personas que de alguna manera me brindaron el apoyo en la realización de este trabajo

Capitulo I

Objetivos.....	1
Resumen.....	2

Capitulo II

Generalidades

2.1 Aluminio

2.1.1 Historia del Aluminio.....	4
2.1.2 Estado Natural.....	4
2.1.3 Propiedades Físicas y Químicas del Aluminio.....	5
2.1.4 Producción de Aluminio.....	6
2.1.5 Información Estadística.....	8

2.2 Sulfato de Aluminio

2.2.1 Sulfato de Aluminio y Alumbres.....	10
2.2.2 Usos y Economía del Sulfato de Aluminio y los Alumbres.....	10
2.2.3 Producción del Sulfato de Aluminio y Alumbres.....	11
2.2.4 Información Estadística.....	11

2.3 Sulfato de Sodio

2.3.1 Sulfato de Sodio.....	13
2.3.2 Información Estadística.....	14

2.4 Anodizado

2.4.1 ¿Que es el Anodizado?.....	15
2.4.2 Historia del Anodizado.....	16
2.4.3 Principio del Anodizado.....	16
2.4.4 El Anodizado en Medio Sulfúrico.....	17
2.4.5 Proceso de Anodizado.....	17
2.4.6 Ventajas del Anodizado.....	22

Capítulo III

Metodología Experimental

3.1 Lista de Materiales, Equipo y Reactivos	23
3.2 Diagramas de Flujo	24
3.3 Técnicas Experimentales	31
3.3.1 Análisis del contenido de Ácido Sulfúrico en la Tina Ácida	31
3.3.2 Análisis del contenido de Hidróxido de Sodio en la Tina Básica	31
3.3.3 Análisis del contenido de Aluminio en la Tina Ácida	31
3.3.4 Análisis del contenido de Aluminio en la Tina Básica	32
3.3.5 Curvas patrón de la Tina Ácida utilizando los resultados de la muestra 14/02/01	35
3.3.6 Curvas patrón de la Tina básica utilizando los resultados de la muestra 14/02/01	36
3.3.7 Obtención de Sulfato de Aluminio	
3.3.7.1 Con Ácido Sulfúrico Reactivo Analítico	37
3.3.7.2 Con Ácido Sulfúrico de la Tina Ácida	37
3.3.8 Determinación de la Pureza del Sulfato de Aluminio	38
3.3.9 Obtención de Sulfato de Sodio	39
3.3.10 Determinación de la Pureza de Sulfato de Sodio	39
3.3.11 Identificación de Aniones y Cationes	39

Capítulo IV

4.1 Resultados	40
4.2 Discusión	57
4.3 Conclusiones	61
4.4 Bibliografía	62
4.5 Anexos	65

E

Objetivo.

A partir de desechos de una planta anodizadora de aluminio obtener Sulfato de Aluminio con una pureza superior al 99%.

El Sulfato de Aluminio se obtiene mezclando los enjuagues del proceso de matizado con los enjuagues del proceso de decapado, para obtener Hidróxido de Aluminio, posteriormente este se hace reaccionar con Ácido Sulfúrico concentrado para obtener el Sulfato de Aluminio.

Esto se hace con el propósito de evitar las descargas residuales de aluminio al medio ambiente y para utilizarlo como un beneficio para la empresa obteniendo mas recursos evitando la contaminación.

Resumen

La protección ambiental es uno de los retos más importantes en la actualidad. Las plantas anodizadoras de aluminio generan una carga importante de contaminantes al medio ambiente.

Los residuos peligrosos con clave CRETIB de tóxicos, de las empresas anodizadoras provienen del agua residual generada por las operaciones de enjuague que siguen después de las operaciones de matizado y decapado.

La infraestructura con que cuentan algunas pequeñas y microempresas, aun son insuficientes para el manejo adecuado de los residuos peligrosos. Algunas de estas empresas solo neutralizan sus aguas residuales y posteriormente son descargadas a la red de alcantarillado. Algunas otras no emplean ninguna medida para tratar sus aguas residuales, por lo que las descargan directamente a la red de alcantarillado.

La industria esta consiente de esto, por lo cual permitió tomar muestras de estos residuos, de los enjuagues de matizado y de decapado, los cuales se aprovecharon para recuperar el contenido de aluminio y producir Sulfato de Aluminio, útil en el tratamiento de aguas residuales. También se obtuvo como subproducto Sulfato de Sodio

Para realizar el análisis de los residuos, se tomaron 3 muestras en diferentes tiempos de una planta anodizadora. Las muestras son clasificadas como tinas ácidas y tinas básicas, la muestra de tina básica es recolectada de los enjuagues del proceso de matizado y la muestra de tina ácida es recolectada del proceso de los enjuagues de decapado. Estas muestras se analizaron para determinar el contenido de Ácido Sulfúrico y Aluminio en la tina ácida y el contenido de Hidróxido de Sodio y Aluminio en la tina básica.

Se determino el contenido de Ácido Sulfúrico en cada una de las tinas ácidas y el contenido de Hidróxido de Sodio de cada una de las tinas básicas por medio de valoraciones potenciométricas. Para interpretar los resultados se hicieron valoraciones potenciométricas "Patrón" con soluciones preparadas a partir de reactivos analíticos.

Para la cuantificación de aluminio de cada una de las tinas ácidas y básicas se realiza una valoración complejométrica por retroceso utilizando E.D.T.A. como valorante.

La recuperación de Aluminio como Sulfato de Aluminio se realizó haciendo reaccionar la tina básica con la tina ácida hasta la obtención de Hidróxido de Aluminio, a este se le hicieron una serie de

enjuagues con agua para eliminar el Sulfato de Sodio presente, estos enjuagues se recolectaron. Ya teniendo el Hidróxido de Aluminio se hizo reaccionar con Ácido Sulfúrico concentrado hasta la disolución total del Hidróxido de Aluminio, se evaporo el exceso de agua y se cristalizó el Sulfato de Aluminio. Para la determinación de su pureza se realizó una valoración complejométrica por retroceso utilizando E.D.T.A. como valorante.

Otra manera en la que se obtuvo el Sulfato de Aluminio fue haciendo reaccionar la tina básica con Ácido Sulfúrico concentrado reactivo analítico hasta la obtención de Hidróxido de Aluminio, el cual se enjuago varias veces con agua para eliminar el Sulfato de Sodio presente, estos enjuagues se recolectaron. Y se procedió experimentalmente como en el párrafo anterior.

Se evapora el exceso de agua a los enjuagues recolectados que se le hicieron al Hidróxido de Aluminio y se cristaliza obteniendo el Sulfato de Sodio, al cual se le determina su pureza con una determinación gravimétrica de sulfatos.

Generalidades

2.1 Aluminio

2.1.1 Historia del Aluminio (5)

El término aluminio proviene del latín "alumen", alumbre. En 1754 Marggraf demostró que la alúmina era una tierra diferente a la cal. Humphrey Dhabl, en 1807, trató de separar el elemento metálico de la alúmina, pero la obtención del metal no se logró hasta 1825, cuando Hans Christian Oersted calentó cloruro de aluminio con amalgama de potasio, separó luego el mercurio por destilación y obtuvo aluminio metálico en forma de polvo con brillo metálico. En 1845 Friedrich Wohler se valió del potasio metálico como reductor y obtuvo partículas pequeñas de aluminio, cada una de las cuales pesaba aproximadamente un centígramo, lo bastante grandes para comprobar que el aluminio era un metal ligero y dúctil con peso específico de 2.5 a 2.7. Para lograr la producción en cantidad que permitiese determinar algunas de sus propiedades útiles y sus aplicaciones potenciales, fueron necesarias las investigaciones experimentales de Henri Sainte-Claire Deville, quien en 1854, descubrió que sustituyendo el potasio con sodio metálico y valiéndose del cloruro de sodio y aluminio como fuente protector, se podía producir aluminio en gran escala. Con el tiempo se perfeccionó de diversas maneras, el procedimiento, pero el aluminio continuó siendo un metal muy caro que solo se empleaba en joyería. En 1886, Charles Martin May, de Oberlin, Ohio; descubrió el proceso electrolítico para producir aluminio con alúmina disuelta en criolita fundida. Poco más o menos en la misma época, Paul L. T. Heroult hizo en Europa el mismo descubrimiento. Este proceso es el que emplea hoy con perfeccionamientos del equipo y de la técnica.

2.1.2 Estado Natural (6)

El aluminio es, con mucho el metal más abundante en la corteza terrestre de la que constituye el 7.51% mientras el hierro, que le sigue, forma solo el 4.7%. Debido a su gran afinidad para el oxígeno el aluminio no se presenta nativo sino en forma de combinaciones, de las más importantes son los feldespatos, gneis, micas, arcillas y bauxitas. Actualmente, solo se utilizan las bauxitas para la obtención de aluminio. La composición de aquellas es 55-60% Al_2O_3 , 20-25% Fe_2O_3 , 2-3% SiO_2 , 2.5-3% TiO_2 y 12-15% de agua.

El nombre "bauxita" procede del primer yacimiento encontrado en "Les Beaux" provincia en el sur de Francia. Hoy día se denomina bauxitas todos los minerales que tienen un elevado contenido en óxido de aluminio.

2.1.3 Propiedades Físicas y Químicas del Aluminio

El aluminio (Al) es un elemento metálico y pertenece al grupo de los metales ligeros, de número atómico 13; Grupo IIIA de la Tabla periódica. Peso atómico 26,98154, Valencia 3, sin isótopos estables, monovalentes en compuestos de alta temperatura. Es blando y muy maleable se puede laminar a hojas de 0.004 mm de espesor. Una superficie recién cortada tiene brillo de plata, pero se recubre en el intervalo de unos pocos segundos con una capa de óxido. (9)

Su conductividad térmica es tres veces mejor que la del hierro y solo la mitad de la del cobre. La conductividad eléctrica es solamente 65% de la del cobre y las impurezas disminuyen la conductividad. (6).

Tabla 1: Propiedades del Aluminio a diferentes porcentajes de pureza.

Propiedad	Aluminio% de Pureza		
	99.9%	99.5%	99.0 a 99.3%
d_{20}^{25} (g/ml)	2.6989	2.703	2.71
d_{20}^{20} (g/ml)	2.6978		
d_{20}^{15} (g/ml)		2.37	
Concentración de Solidificación (%)		6.6	
P_f (°C)	660.0		657
P_{eb} (°C)	2057		
Calor de combustión (kilocal) ($2Al + 3O = Al_2O_3$)	399.0		
Calor específico a 100°C (cal/g)	0.2226		
Resistividad a 20°C (microhmios-cm)	2.6548	2.828	
Conductividad a 20 °C (%del Cu ^b)	64.94	60.97	
Coefficiente de temperatura en la resistividad a 20°C	0.00429	0.00403	
Conductividad Térmica (cal/seg/cm ² /°C/cm)		0.52	
Reflectividad (%)			
Luz de filamento de wolframio	90		
2 500 A	85		
10 000 A	95		
Emisividad térmica a 37.8 °C (%)	3		
Susceptibilidad magnética (c.g.s.)		0.58×10^{-6}	
Parámetro de malla, A a 25°C,	4.0413		
Célula cubica de caras centradas			

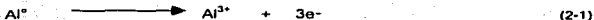
^a Los Conductores de aluminio se hacen con el metal del 99.5% de pureza

^b Patrón internacional de cobre recocido = 100%

Referencia (5)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

El aluminio ocupa un lugar importante en la serie electroquímica, con un potencial electroquímico es de -1.67 v;

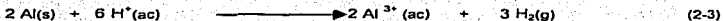


Resiste el ataque de agentes atmosféricos y de muchos medios químicos. Esta resistencia se debe a la capa protectora de óxido que se forma por la acción del aire atmosférico, película que empieza a formarse de inmediato en las superficies producidas por el corte. Aunque esta película de óxido es delgada (1/40 de micra de espesor), es impermeable y sumamente protectora.

Al igual que otros metales pulverizados. El polvo de aluminio arde con flama para dar una nube de polvo de óxido de aluminio: (8)



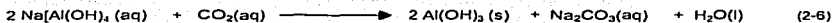
El aluminio, como el berilio, es un metal anfótero que reacciona tanto con ácidos como con bases:



Es atacado por soluciones diluidas y concentradas de ácido clorhídrico, ácido sulfúrico concentrado y caliente. También es atacado de modo violento por los álcalis fuertes. Se oxida rápidamente con agua a 180°C . No es atacado por ácido sulfúrico diluido o frío o ácido nítrico concentrado. (9) Las soluciones de sales de aluminio son ácidas, con casi la misma constante de ionización que el ácido acético. (8)

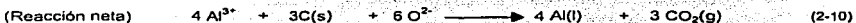
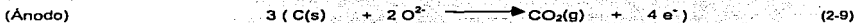
2.1.4 Producción de Aluminio (10)

El aluminio se obtiene de la bauxita u óxido de aluminio hidratado, $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$. Los iones aluminio pueden reducirse a Al por electrolisis solo en ausencia de H_2O . Primero la bauxita triturada se purifica disolviéndola en una disolución concentrada de NaOH para formar $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ soluble. Luego se precipita $\text{Al}(\text{OH})_3 \times \text{H}_2\text{O}$ de la disolución filtrada al soplar dióxido de carbono para neutralizar el NaOH que no reacciona y el ion OH^- por unidad fórmula de $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$. Al calentar el producto hidratado se deshidrata a Al_2O_3 .



El punto de fusión de Al_2O_3 es 2.045 °C, la electrolisis de Al_2O_3 puro fundido tendría que realizarse a esta temperatura o una mayor, con un gran gasto. Sin embargo, puede hacerse a una temperatura mucho mas baja cuando Al_2O_3 se mezcla con criolita, una mezcla de NaF y AlF_3 a menudo representada como $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$, que tiene un punto de fusión muy inferior. La mezcla fundida puede ser electrolizada a 1.000 °C con electrodos de carbono. Este proceso es llamado proceso Hall-Heroult.

En célula usada industrialmente para este proceso, a la parte interna se le cubre con carbono o hierro carbonizado, que funciona como el cátodo en el que los iones aluminio se reducen al metal libre. El ánodo de grafito se oxida a CO_2 gas y debe reemplazarse frecuentemente. Este es uno de los principales costos en la producción de aluminio.



El aluminio fundido es más denso que la criolita fundida, así que se recoge en el fondo de la célula hasta que se drena y se enfría a un sólido.

El uso de grandes cantidades de energía eléctrica en la electrolisis hace que la producción de aluminio a partir de sus menas sea una metalurgia cara. Los métodos para reciclar Aluminio usado gastan menos del 10% de la energía requerida para hacer metal nuevo a partir de bauxita por el proceso Hall-Heroult. El proceso de aluminio reciclado constituye más del 25% de la producción de este metal. Esto ayuda a mantener bajo el costo del aluminio.

2.1.5 Información Estadística

Tabla 2: Volumen de la Producción de Aluminio de 1990 a 1996

VOLUMEN DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, 1990-1996								Cuadro VI.3.4.14
(Miles de toneladas)								
Pais	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	
Alemania ^{1,2}	1 254	1 217	1 138	950	941	989	997	
Australia	1 235	1 236	1 194	1 306	1 384	1 285	1 330	
Brasil	931	1 140	1 193	1 172	1 184	1 188	1 198	
Canada	1 567	1 822	1 972	2 309	2 255	2 172	2 282	
España	355	355	359	356	338	362	362	
Estados Unidos ²	5 963	6 331	6 802	6 635	6 389	6 565	6 898	
Francia ²	533	469	641	624	611	587	349	
India	444	514	499	478	479	518	516	
Japón ^{2,3}	1 061	696	553	542	602	679	569	
México	122	122	79	100	74	92	167	
Reino Unido ²	409	431	496	515	514	520	240	

Los datos de 1990 corresponden a la República Federal Alemana; a partir de 1991, a la Alemania Unificada.

¹ Los datos corresponden a la producción de aluminio de la primera fusión, proveniente de minerales nacionales e importados, y de aluminio secundario recuperado de desechos secundarios.

² Incluye aloaciones.

Fuente: INEGI, Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 1998, México, 1999.

Referencia (16)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 3: Principales países que importan Aluminio
 Valor anual 2001 en dólares americanos

Pais	Importaciones	%
Venezuela (República de)	19,965,742	84.6023
Canadá	2,211,455	9.3707
Estados Unidos de América	1,422,044	6.0257
Irlanda (República de)	150	0.0006
Reino Unido de la Gran Bretaña e Irlanda del Norte	125	0.0005
Total importado	23,599,516	100

Fuente: Secretaría de Economía con datos de Banxico

Referencia (17)

Tabla 4: Principales países que exportan Aluminio
 Valor anual 2001 en dólares americanos

Pais	Exportaciones	%
Estados Unidos de América	303,027	66.0635
Republica Federativa Checa y Eslovaca	121,347	26.4551
Cuba (República de)	33,575	7.3197
Costa Rica (República de)	741	0.1615
Total exportado	458,690	100

Fuente: Secretaría de Economía con datos de Banxico

Referencia (17)

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

2.2 Sulfato de Aluminio

2.2.1 Sulfato de Aluminio y Alumbres (11)

La manufactura de Alumbres ocasiona solo un paso adicional al proceso del sulfato de aluminio. Esto junto con el hecho de que los empleos del sulfato de aluminio y de los alumbres son similares y que en gran medida, los compuestos son intercambiables, justifica su exposición concurrente. El termino alumbre se ha aplicado en forma muy libre. Un alumbre verdadero es un sulfato doble de aluminio o cromo y un metal monovalente (o un radical, como el amonio). El sulfato de aluminio es muy importante desde el punto de vista industrial y aunque no es un sulfato doble, con frecuencia se le llama alumbre o bien alumbre de los fabricantes de papel. El alumbre es conocido desde los tiempos antiguos. En los escritos del antiguo Egipto se menciona su empleo como mordente para el tinte preparado con raíz de rubia y en ciertas preparaciones medicas. Los romanos lo usaban para proteger contra el fuego sus maquinas de sitio y es probable que lo prepararan a partir de alunita, $k_2Al_6(OH)_{12}(SO_4)_4$, que es muy abundante en Italia.

2.2.2 Usos y Economía del Sulfato de Aluminio y los Alumbres. (11)

Los alumbres se utilizan en el tratamiento de agua y a veces en el teñido, aunque en gran medida han sido reemplazados en estas aplicaciones por el sulfato de aluminio, que tiene mayor equivalente de alumina por unidad de peso. Desde el punto de vista farmacéutico, el sulfato de aluminio se emplea en solución diluida como astringente y antiséptico suave para la piel. Su aplicación única más importante en la clarificación del agua, en la que consume más de la mitad de la cantidad total que se fabrica. El aluminato de sodio, que es básico, se usa a veces con sulfato de aluminio, que es un ácido, para producir más hidróxido de aluminio.



El segundo lugar en importancia lo ocupa la aplicación del sulfato de aluminio en el encolado del papel. Reacciona con un resinato de sodio para formar el resinato de aluminio insoluble. Para el encolado del papel, el sulfato de aluminio debe estar libre de ion férrico o el papel se decolorara. Los iones ferrosos no son dañinos, ya que forman un resinato soluble prácticamente incoloro que, sin embargo, representa una pérdida de resinato. Una pequeña cantidad de sulfato de aluminio se consume en la industria de los colorantes como mordente. Entre otros usos se incluye la manufactura de productos químicos, la modificación del concreto, preparaciones farmacéuticas, jabones y grasas, soluciones extinguidoras de incendios, curtiduría y aislantes de celulosa.

2.2.3 Producción de Sulfato de Aluminio y Alumbre (11)

Prácticamente todos los alumbres y el sulfato de aluminio se hacen en la actualidad a partir de bauxita, por la reacción con ácido sulfúrico. Otras fuentes posibles de alumbres son la pizarra y otros materiales que contienen alúmina como las arcillas. En la manufactura del sulfato de aluminio la bauxita se muele hasta que el 80% pasa la malla 200, enseguida se lleva a unos tanques de almacenamiento. La reacción ocurre en tanques de acero recubiertos con plomo, en donde los reactantes se mezclan muy bien y se calientan con la ayuda de agitadores y vapor vivo. Estos reactores se operan en serie. En el último reactor se añade sulfuro de bario en forma de ceniza negra para reducir el sulfato férrico hasta el estado ferroso y para precipitar el hierro. La mezcla de los reactores a través de una serie de espesores, operados a contracorriente, que mueven la materia no disuelta y lavan perfectamente el desecho, de manera que, al descartarlo, ya no contenga prácticamente alumbre. La solución de sulfato de aluminio clarificado se concentra en un evaporador abierto, calentando con serpentines de vapor. El licor concentrado se vacía en charolas planas, en donde se enfría y se solidifica completamente. La torta sólida se rompe y se muele para poder empacarla.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2.2.4 Información Estadística

Tabla 5: Principales países que importan Sulfato de Aluminio
Valor anual 2001 en dólares americanos

País	Importaciones	%
Estados Unidos de América	245,538	97.9296
Reino Unido de la Gran Bretaña e Irlanda del Norte	2,564	1.0226
Francia	1,941	0.7741
Taiwan	600	0.2393
Italia	86	0.0343
Total importado	250,729	100

Fuente: Secretaría de Economía con datos de Banxico

Referencia (17)

Tabla 6: Principales países de exportación de Sulfato de Aluminio
Valor anual 2001 en dólares americanos

País	Exportaciones	%
Estados Unidos de América	658.418	69.6102
Filipinas (República de)	174.160	18.4127
Costa Rica (República de)	72.328	7.6467
Canadá	20.219	2.1376
República Dominicana	10.424	1.1020
Puerto Rico	9.535	1.0080
Cuba (República de)	731	0.0772
Argentina, República	49	0.0051
Total exportado	945,864	100

Fuente: Secretaría de Economía con datos de Banxico

Referencia (17)

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

2.3 Sulfato de Sodio (5)

2.3.1 Sulfato de Sodio

El sulfato de sodio se presenta en el mercado en tres formas: 1) sulfato sódico anhidro refinado; 2) sulfato de calidad técnica, llamado torta de sal, 3) el decahidratado o sal de Glauber.

Sulfato sodio anhidro, Na_2SO_4 , peso molecular 142.05. Cuando esta puro, es un sólido blanco. La calidad técnica se llama torta de sal, por que el método original para fabricarlo era la reacción de la sal con el ácido sulfúrico. El cloruro de hidrogeno fue durante muchos años el producto principal de esta reacción y la torta de sal era un subproducto.

El sulfato sódico anhidro, forma cristales rombosicos bipiramidales, de densidad 2.7. A los 100°C se produce una transición a la estructura monociclica y a los 500°C cambia a la estructura hexagonal. El sulfato de sodio tiene un punto de fusión de 800°C . Es insoluble en alcohol.

El Sulfato de sodio forma un decahidrato, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, o sal de Glauber, y un heptahidratado metaestable, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$. Este se forma por cristalización en soluciones por debajo de 12°C . La solubilidad del sulfato de sodio en el agua se muestra en la tabla 7:

Tabla 7: Solubilidad del Sulfato de Sodio en Agua.

Temp. $^\circ\text{C}$	40	50	60	80	100
g $\text{Na}_2\text{SO}_4/100 \text{ g H}_2\text{O}$	48.8	46.7	45.3	43.7	42.5

Por encima de 32.4°C , la fase sólida en solución acuosa es la forma anhidra. Por debajo de 32.4°C es el decahidrato. El máximo de solubilidad se produce en el punto de transición a esos 32.4°C .

El principal método para la fabricación de la torta de sal o sulfato sódico crudo es la descomposición del cloruro de sodio por el ácido sulfúrico.



El aumento del consumo del sulfato de sodio en los últimos años es debido, principalmente, al aumento de la fabricación de la pulpa de sulfato para papel kraft. Por tonelada de papel kraft se

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

necesitan unos 225 Kg de torta de sal. En esto se emplean unas tres cuartas partes de la producción total del sulfato de sodio.

El consumo de sulfato de sodio como diluyente en los detergentes sintéticos es, por su importancia, la segunda aplicación de este producto químico; los detergentes contienen de 50 a 75% de sulfato de sodio. Este se emplea también en la fabricación de cristal, por ser fuente barata de oxido de sodio, en la fundición de los minerales de níquel, en tintorería y en polvos para los cerdos y el ganado vacuno. Además, es materia prima para la producción de sulfuro de sodio, silicato de sodio, hiposulfito de sodio y sulfato aluminico sódico.

2.3.2 Información Estadística

Tabla 8: Principales países que importan Sulfato de Sodio
Valor anual 2001 en dólares americanos

País	Importaciones	%
Estados Unidos de América	631,934	99.8386
Australia (Comunidad Australiana)	1,020	0.1611
Alemania (República Federal de)	1	0.0001
Total importado	632,955	100

Fuente: Secretaría de Economía con datos de Banxico

Referencia (17)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 9: Principales países que exportan Sulfato de Sodio
Valor anual 2001 en dólares americanos

País	Exportaciones	%
Estados Unidos de América	7,560,608	99.7132
Cuba (República de)	21,743	0.2867
Total exportado	7,582,351	100

Fuente: Secretaría de Economía con datos de Banxico

Referencia (17)

2.4 Anodizado

2.4.1 ¿Qué es el anodizado? (18)

El anodizado es un proceso de oxidación basado en la electrólisis que se desarrolla en el material de aluminio. Es un procedimiento electroquímico por medio del cual se logra formar una capa protectora de óxido de aluminio (alúmina) transparente y con características de diferentes al metal base, la vida útil de este acabado es proporcional al espesor de la capa anódica.

Como esta crece desde el metal base por el proceso electroquímico está integrada al mismo y la estructura cristalina esta conformada por muchos poros hexagonales muy pequeños; la podemos colorear depositando iones metálicos, aplicando un proceso de electrocoloreado, dependiendo del metal utilizado y la cantidad depositada para la obtención de los tonos por difracción de la luz. Finalmente con el fin de aumentar la dureza de la superficie de la pieza, se puede aplicar un sellado para cerrar los poros.

La capa del óxido de aluminio se desarrolla mediante la inmersión del aluminio en un baño de ácido sulfúrico y pasando una corriente de aprox. 6000 Amperios a 20 Voltios entre el aluminio (el ánodo) y el cátodo. La capa de Al_2O_3 tiene un espesor a voluntad de algunas micras, de 25μ en los tratamientos de decoración o de protección, llegando a 100μ y más en ciertos procesos de endurecimiento superficial. (15) Esta capa endurece la superficie, la hace más resistente a la abrasión y mejora la resistencia del metal a la corrosión; la capa anódica aísla más la superficie del aluminio y le provee de un aspecto decorativo mediante una amplia gama de colores.

El proceso de anodizado ofrece un variado rango de aplicaciones. El anodizado ha sido usado en la edificación durante más de 60 años. El anodizado ofrece el acabado para la arquitectura más duro y seguro disponible actualmente. El aluminio anodizado es fácil de limpiar y requiere poco mantenimiento.

El valor protector de la capa de óxido natural puede perderse y no siempre evita la formación de puntos de corrosión. (15)

2.4.2 Historia del anodizado (15)

Descubierta por Buff en 1857, la aptitud del aluminio para recubrirse de óxido en una célula de electrolisis, donde se coloca en el ánodo, ha sido explotada y precisada por los estudios de Francals de Saint-Martin que en 1911 fijó los principios básicos para la oxidación electrolítica en medio sulfúrico.

Después de numerosas patentes de perfeccionamiento han surgido en diversos países, diferenciándose unas de otras en la naturaleza del medio electrolítico, los parámetros de ejecución, las propiedades de la capa y las técnicas posteriores al anodizado de coloreado y colmatado.

Así en 1923 Bengough y Stuart en gran Bretaña, desarrollan el anodizado en medio crómico con vistas a la protección de los elementos de aleación aluminio-cobre, en aviones e hidroaviones. Poco después, los japoneses Setoh y Mevata ponen en práctica el anodizado en medio oxálico, con el fin de resolver un problema de aislamiento eléctrico.

Por último, el anodizado en medio sulfúrico, empleado de forma industrial por Gaver y O'Brien, se muestra como el más apropiado para los tratamientos decorativos (y al mismo tiempo protectores) y ha dado lugar bajo el nombre inicial "Alumilite" a un gran desarrollo.

2.4.3 Principio del Anodizado (15)

Si se llena una cuba hecha conductora por adición de una pequeña cantidad de ácido, de base o de sal y si en este electrolito se dispone un cátodo (polo negativo), inatacable (níquel o plomo) y un ánodo de aluminio, se observa un desprendimiento de hidrógeno en el cátodo y ningún desprendimiento en el ánodo.

Se observa, por otra parte, que el ánodo de aluminio se ha cubierto de una película de alúmina. El oxígeno procedente de la disociación electrolítica del agua ha sido utilizado para oxidar el aluminio del ánodo, de aquí la expresión "oxidación anódica" anteriormente utilizada y sustituida actualmente por el término "anodizado". El espesor de la capa de óxido varía con el tiempo de paso de la corriente.

2.4.4 El Anodizado en Medio Sulfúrico

El procedimiento de anodizado en medio sulfúrico es el más utilizado universalmente, especialmente en Francia (igual que en España), debido a sus condiciones económicas de explotación y a los resultados satisfactorios que se pueden obtener en numerosos campos. (14)

Si se coloca el metal dentro de una solución acuosa que contenga de 15 a 25% de Ácido Sulfúrico, se puede producir una película de óxido relativamente gruesa sobre el aluminio. (7)

En el caso del baño con ácido sulfúrico, la oxidación se lleva a cabo al formarse iones sulfato mediante corriente anódica, estos iones no son capaces de existir por sí mismos, por lo tanto se reconvierte a ácido sulfúrico al reaccionar con iones de hidrógeno formados durante la descomposición de agua, mientras tanto el oxígeno gaseoso liberado oxida la superficie del aluminio. (14)

Durante este proceso, en baño de ácido sulfúrico se disuelve aluminio, si la concentración de este es superior a aproximadamente 20 g/l, se puede provocar interferencias en el proceso. (14)

2.4.5 Proceso de Anodizado (14)

El Aluminio es sensible al proceso de oxidación ambiental, como cualquier metal. Esto produciría manchas aleatorias, que afectarían negativamente a la estética de los perfiles. Podemos definir el proceso de anodizado, como la oxidación controlada, acelerada y uniforme de la capa superficial del perfil, por medio del proceso electroquímico (19). El proceso se divide en:

- I. Pretratamiento: Desengrasado y Decapado
- II. Anodizado: Corriente Directa con Ácido Sulfúrico
- III. Postratamiento: Coloración y Endurecimiento

A continuación se describen cada uno de los pasos del proceso de anodizado

I. Pretratamiento (14)

Previo a que se deposite la capa metálica, la superficie a cubrir debe estar libre de impurezas, tales como grasas y óxidos. Para ello, se aplican procedimientos de preparación como el pretratamiento puede ser el método mecánico en la superficie (pulido) y los métodos químicos de pretratamiento de superficies: el desengrasado mediante limpiadores alcalinos, hidrocarburos clorados o por vía electrolytica, así como el decapado.

Antes de que una pieza fundida o moldeada se incorpore al proceso de pulido, desengrasado y recubrimiento, debe realizarse una inspección previa para asegurar que la pieza no presente defectos inaceptables que no se puedan corregir durante el recubrimiento. Estos defectos pueden ser rebabas, bordes, hoyos, moho y otras imperfecciones en la pieza.

Desengrase (14)

En la fabricación de las piezas se emplean grasas, aceites, emulsiones de corte y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes. A menudo también se engrasan las piezas como protección anticorrosiva temporal.

El 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. (19)

Matizado (19)

Proceso utilizado después del desengrase, para acabados no brillantes, utilizando hidróxido de sodio con concentraciones de 50-100 g/l. En este proceso, se libera aluminio de la superficie de la pieza, el cual reacciona con el NaOH, formándose aluminato de sodio e hidróxido de sodio, el cual se precipita en el baño o se incrusta en la tina estos no deben tener una concentración mayor de 10 a 24 g/l

Decapado (14)

El contacto entre la atmósfera y las piezas metálicas provoca la formación de capas de óxido, que tienen que ser eliminadas antes del recubrimiento electrolítico. El decapado con ácido se utiliza para eliminar impurezas y óxidos a través de un ataque químico, el cual frecuentemente se aplica después de un lavado alcalino. Se utilizan diferentes ácidos, solos o mezclados, entre ellos se encuentran el ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico y ácido fosfórico con concentraciones de entre 2 y 85% dependiendo del metal y el grado de limpieza requerida. El decapado mediante ácidos se realizan normalmente a temperaturas de 20-80°C.

II. Anodizado (14)

Después de la limpieza y preparación de la pieza se lleva a cabo el anodizado, mediante el método de corriente directa o alterna en diferentes electrolitos como ácido sulfúrico, ácido oxálico o ácidos carboxílicos alifáticos y ácidos sulfónicos aromáticos.

Los baños de anodizado ácidos, pueden contener hasta 200 g/l de ácido sulfúrico o de 30-50 g/l de ácido oxálico.

En este proceso, forzamos controladamente la oxidación de la superficie del perfil, creando una capa "anódica". Esta se mide en "micras", la cual nos va a servir 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.(19)

Los baños de anodizado se enriquecen de iones de aluminio y tienen que ser reemplazados o regenerados al alcanzar una concentración aproximadamente de 20 g/l de aluminio para baños de ácido.

III. Posttratamiento.

Coloración (14)

Aprovechamos la creación de poros en la superficie del perfil de aluminio, en el proceso de anodizado, para conseguir la coloración deseada por medio de óxidos metálicos, que se fijan en las porosidades de la capa de óxido. Son muy utilizados dos de estos colorantes.

Coloreado latón al ferrioxalato de amonio. Se utiliza en solución de 1 a 50 g/l a la temperatura de 60 a 70 °C; duración de la inmersión, 1 a 3 min. Da en solución diluida tonos champagne claro, con 15 g/l el tono latón, con más concentración el amarillo naranja.

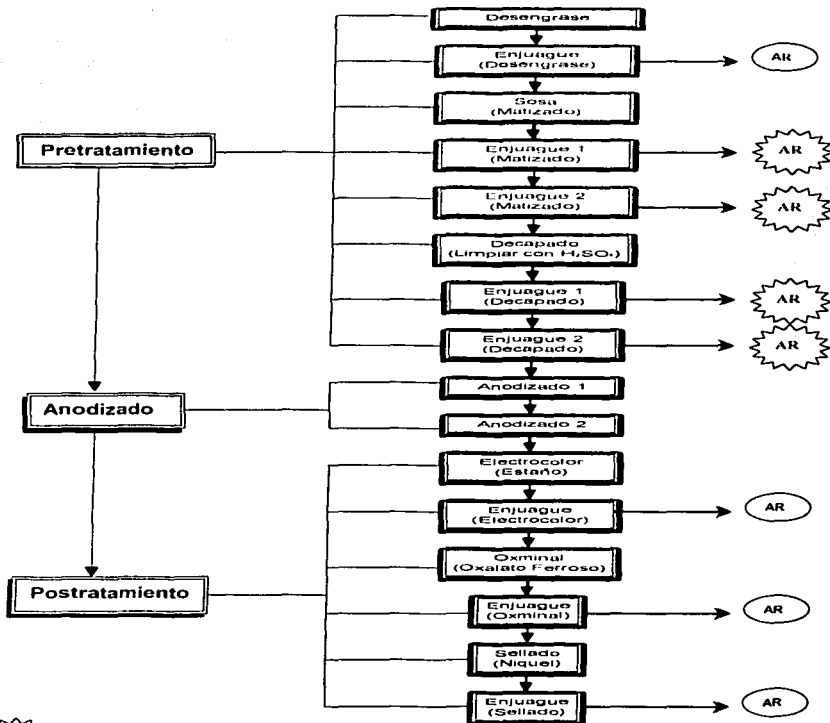
Coloreado bronce al permanganato potásico. Este coloreado se obtiene por inmersiones sucesivas en una solución de 10 a 15 g/l de acetato de cobalto y en una solución de 10 a 50 g/l de permanganato potásico. Según la concentración y el número de ciclos de inmersión, se obtienen tonos que van de un bronce muy claro a un bronce viejo.

Existe una amplia gama de colores: Bronces claros y oscuros, Oros claros y oscuros, Negros, etc.

Sellado (19)

Es un procedimiento que consiste en cerrar los poros, que el proceso de anodizado abrió en la superficie de los perfiles. Esto se realiza con baños de sales de níquel, como acetato de níquel en una solución de 5.6 g/l a una temperatura de 30°C.

Proceso de Anodizado



AR = Agua Residual a tratar

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2.4.6 Ventajas del anodizado (20)

- La gran dureza de la capa anódica lo hace más útil en zonas de alto tránsito, por lo que es sometida a un gran desgaste por roce, y en donde se usan limpiadores abrasivos.
- Al estar integrado al metal base el anodizado no puede sufrir peladuras ni escamados.
- Le aporta al metal base una apariencia metálica, debido a la transparencia de la capa.
- No es afectado por la incidencia de la luz solar
- Elevada resistencia a la corrosión.

Metodología Experimental

3.1 Lista de Materiales, Equipo y Reactivos.

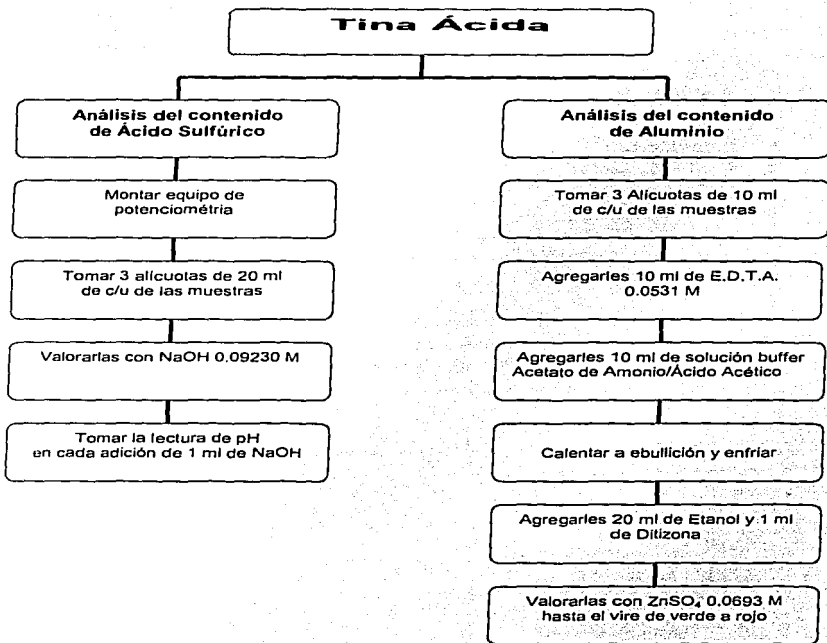
Materiales	
2	pipetas volumétricas de 5 ml pyrex
3	pipetas volumétricas de 1 ml pyrex
1	pipeta volumétrica de 10 ml pyrex
3	Pipetas graduadas de 10 ml pyrex
1	Pipeta graduada de 2 ml pyrex
3	Crisoles LOFIVITREX
1	Vidrio de reloj pyrex
1	Espátulas
1	Pinzas para crisol
1	Soporte universal
1	Matraz kitazato kimax
1	Embudo buchner
1	Gradilla
1	Matraz volumétrico de 1 lit pyrex
1	Matraz volumétrico de 250 ml pyrex
1	Bureta de 50 ml kimax
1	Bureta de 10 ml kimax
1	Bureta de 25 ml PYREX
1	Matraz volumétrico de 100 ml pyrex
1	Mortero
5	Matraz volumétrico de 50 ml pyrex
5	Tubos de ensayo PYREX
2	Vasos de precipitado de 250 ml pyrex
2	Vasos de precipitado de 150 ml kimax
3	Vasos de precipitado de 100 ml kimax
3	Vasos de precipitado de 50 ml pyrex
1	Embudo de vidrio
4	Tubos de centrifuga
1	Matraz volumétrico de 500 ml pyrex
1	Electrodo combinado corning

Reactivos	
Hidróxido de sodio j.t. baker	
Ácido clorhídrico j.t. baker	
E.D.T.A. j.t. baker	
Sulfato de zinc j.t. baker	
Biftalato de potasio j.t. baker	
Ditizona m.c.b.	
Acetona j.t. baker	
Etanol j.t. baker	
Cloruro de bario p.q. monterrey	
Fenofaleina sigma	
Ácido acético j.t. baker	
Acetato de amonio	
Carbonato de sodio j.t. baker	
Zinc metálico j.t. baker	
Negro de eriocromo T. sigma	
Cloruro de aluminio j.t. baker	
Ácido sulfúrico j.t. baker	

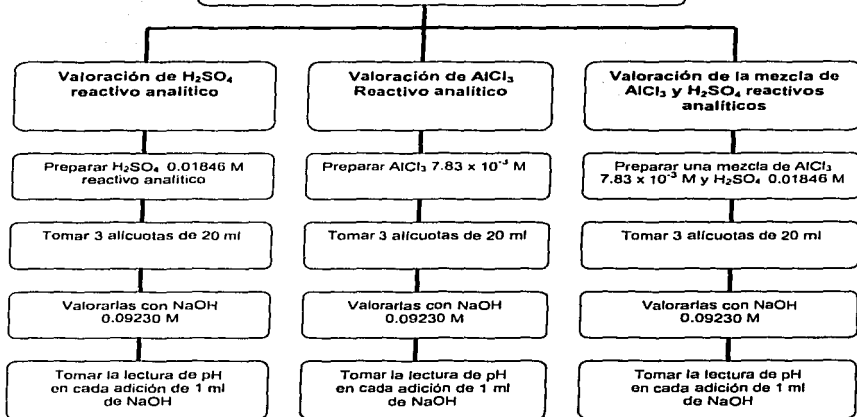
Equipo	
Potenciómetro	
Centrifuga	
Agitador magnético corning pc-353	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3.2 Diagramas de flujo



Curvas Patrón de la Tina Ácida



Tina Básica

Análisis del contenido de Hidróxido de Sodio

Hacer dilución 10:100 de cada una de las muestras

Montar equipo de potenciométrica

Tomar 3 alícuotas de 20 ml de c/u de las diluciones

Valorarlas con HCl 0.09923 M

Tomar la lectura de pH en cada adición de 1 ml de NaOH

Análisis del contenido de Aluminio

Hacer dilución 10:100 de cada una de las muestras

Tomar 3 alícuotas de 10 ml de c/u de las muestras

Agregarles 10 ml de E.D.T.A. 0.0531 M

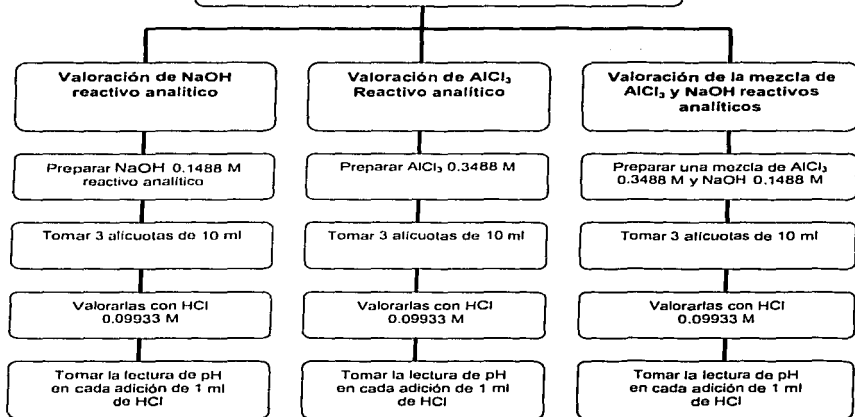
Agregarles 10 ml de solución buffer Acetato de Amonio/Ácido Acético

Calentar a ebullición y enfriar

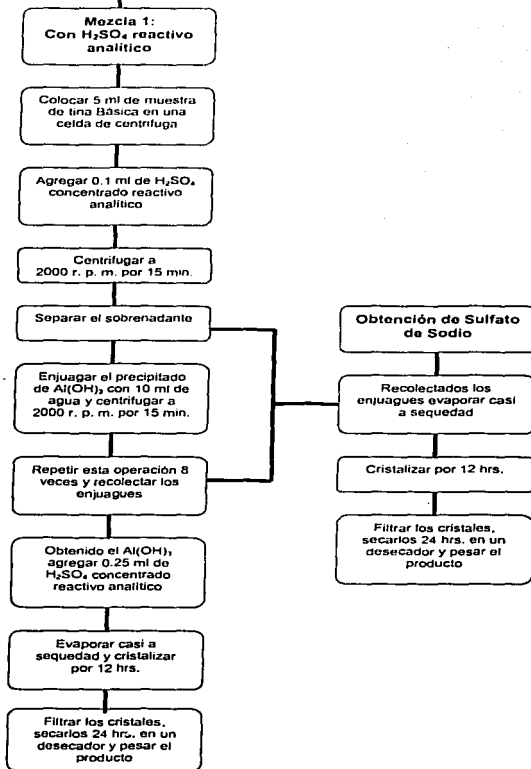
Agregarles 20 ml de Etanol y 1 ml de Dilizona

Valorarlas con $ZnSO_4$ 0.0693 M hasta el virre de verde a rojo

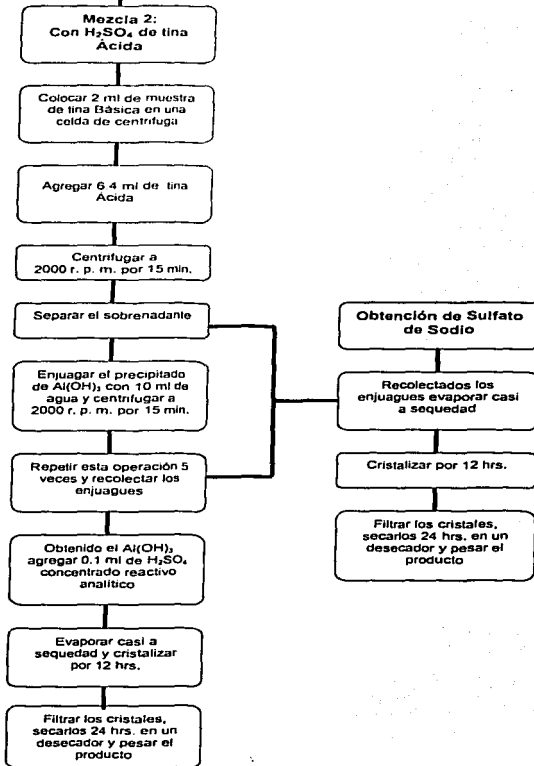
Curvas Patrón de la Tina Básica



Obtención de sulfato de Aluminio



Obtención de sulfato de Aluminio



Determinación de purezas

Pureza del Sulfato de Aluminio

Pesar cantidad conocida del $Al_2(SO_4)_3$ obtenido y aforar a 100 ml

Tomar 3 alícuotas de 10 ml de c/u de las muestras

Agregarles 10 ml de E.D.T.A. 0.05230 M

Agregarles 10 ml de solución buffer Acetato de Amonio/Ácido Acético

Calentar a ebullición y enfriar

Agregarles 20 ml de Etanol y 1 ml de Ditzona

Valorarlas con $ZnSO_4$ 0.07217 M hasta el vire de verde a rojo

Pureza del Sulfato de Sodio

Pesar cantidad conocida del Na_2SO_4 obtenido y aforar a 50 ml

Acidular con 5 ml de HCl diluido(1:10)

Calentar a ebullición y adicionar 6 ml. de solución caliente de Cloruro de Bario al 5%

Hervir por 5 min. Y digerir por 1 hr. en baño maría

Filtrar y lavar el precipitado con agua caliente hasta que el precipitado no indique reacción con Bario

Colocar el precipitado en un crisol dentro de una estufa por 5 min.

Después meterlo en la mufla hasta la incineración del papel filtro

Enfriar y pesar el producto

3.3 Técnicas Experimentales

3.3.1 Análisis del contenido de Ácido Sulfúrico en la Tina Ácida.

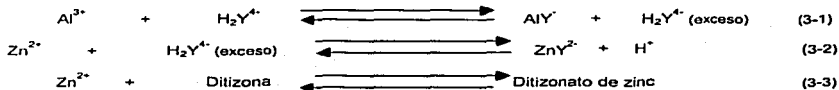
Se monta un equipo para potenciometría (ver figura 1). Se hacen las valoraciones potenciométricas tomando tres alícuotas de 20 ml de cada una de las tres muestras de la tina ácida y se valoran con NaOH 0.09230 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de NaOH. Se obtiene una gráfica pH vs Vol. NaOH

3.3.2 Análisis del contenido de Hidróxido de Sodio en la Tina Básica.

Se monta un equipo para potenciometría (ver figura 1). Se hace una dilución tomando 10 ml de cada una de las tres muestras y se aforan a 100 ml cada una. Se valoran potenciométricamente, se toman tres alícuotas de 20 ml de cada una de las muestras diluidas y se valoran con HCl 0.09923 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de HCl. Se obtiene una gráfica pH vs Vol. HCl

3.3.3 Análisis del contenido de Aluminio en la Tina Ácida

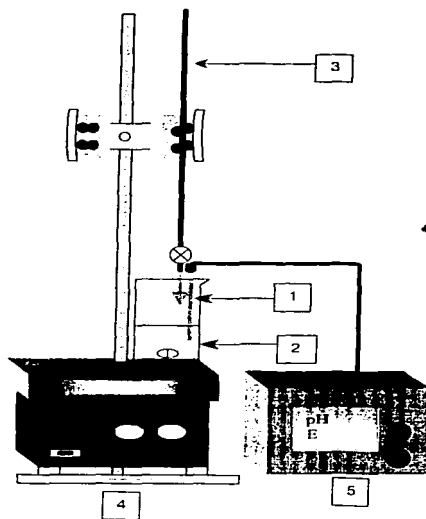
Se hacen valoraciones por retroceso, se toman 3 alícuotas de 10 ml de cada una de las tres muestras de la tina ácida y se les agrega a cada una en el siguiente orden, 10 ml de E.D.T.A. 0.0531 M (solución estandarizada) y 10 ml de solución buffer Acetato de Amonio-Ácido Acético pH de 4.5, se calienta la solución a ebullición por 3 minutos y se enfría, se le agregan 20 ml de etanol y 1 ml de ditizona. Esta solución se valora con ZnSO₄ 0.0693 M (solución estandarizada) hasta que el indicador vire de verde a rojo. La especie de Aluminio a esta concentración es la de Al³⁺, esto se puede observar en la figura 2. Las reacciones que se llevan acabo son las siguientes: (4)



3.3.4 Análisis del contenido de Aluminio en la Tina Básica

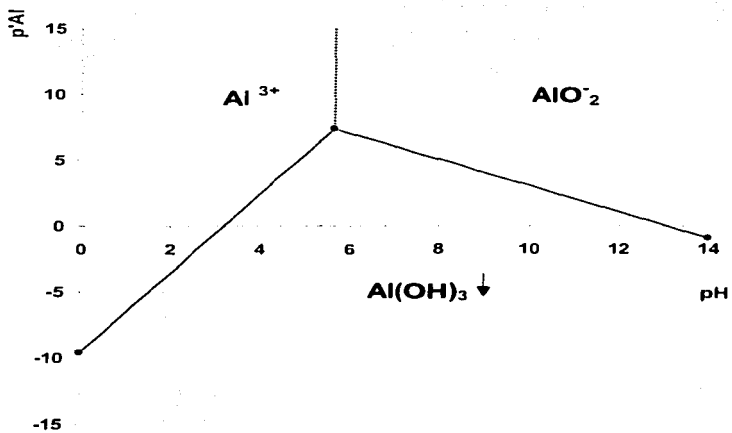
Se hacen valoraciones por retroceso, se diluye cada una de las tres muestras tomando 10 ml de cada una y se aforan a 100 ml, se toman 3 alícuotas de 10 ml de cada una de las muestras diluidas de la tina básica y se les agrega a cada una en el siguiente orden, 10 ml de E.D.T.A. 0.0531 M (solución estandarizada) y 10 ml de solución buffer pH 4.5 Acetato de Amonio-Ácido Acético, se calienta la solución a ebullición por 3 minutos y se enfría, se le agregan 20 ml de etanol y 1 ml de ditizona. Esta solución se valora con $ZnSO_4$ 0.0693 M (solución estandarizada) hasta que el indicador vire de verde a rojo. Las reacciones que se llevan acabo son las (3-1), (3-2) y (3-3):

FIGURA 1



1. Electrodo de Vidrio Combinado.
2. Solución a Valorar
3. Bureta
4. Agitador Magnético
5. Potenciómetro

Figura 2: Diagrama de Zonas de Predominio del Aluminio.



3.3.5 Curvas patrón de la Tina Ácida utilizando los resultados de la muestra 14/02/01

Con el fin de interpretar las gráficas obtenidas en el análisis del contenido de Ácido Sulfúrico de la tina ácida se hacen valoraciones potenciométricas patrón, éstas se hacen con soluciones preparadas a partir de reactivos analíticos. Se tomaron los resultados de las concentraciones obtenidas de la muestra 14/02/01 (las cuales fueron de H_2SO_4 0.01846 M y Al^{3+} 7.83×10^{-3} M) para poder comparar las gráficas. Se prepararon soluciones a estas concentraciones y se valoraron potenciométricamente como a continuación se describen.

- a) Se prepara una solución de H_2SO_4 0.01846 M (reactivo analítico), se toman tres alícuotas de 20 ml y se valoran con NaOH 0.09230 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de NaOH . Se obtiene una gráfica pH vs Vol. NaOH . La reacción que se lleva a cabo es:



- b) Se prepara una solución de AlCl_3 7.83×10^{-3} M (reactivo analítico), se toman tres alícuotas de 20 ml y se valoran con NaOH 0.09230 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de NaOH . Se obtiene una gráfica pH vs Vol. NaOH . La reacción que se lleva a cabo es:



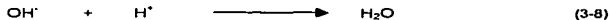
- c) Se prepara una mezcla de AlCl_3 7.83×10^{-3} M (reactivo analítico) y H_2SO_4 0.01846 M (reactivo analítico), se toman tres alícuotas de 20 ml y se valoran con NaOH 0.09230 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de NaOH . Se obtiene una gráfica pH vs Vol. NaOH . Las reacciones que se llevan a cabo son:



3.3.6 Curvas patrón de la Tina Básica utilizando los resultados de la muestra 14/02/01

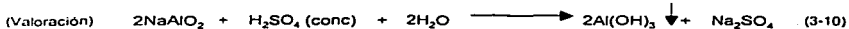
Para poder interpretar las gráficas obtenidas en el Análisis del contenido de Hidróxido de sodio de la tina básica, se hacen valoraciones potenciométricas patrón, estas se hacen con soluciones preparadas a partir de reactivos analíticos. Se tomaron los resultados de las concentraciones obtenidas de la muestra 14/02/01 (las cuales fueron de NaOH 0.1488 M y Al^{3+} 0.3488 M) para poder comparar las gráficas. Se prepararon soluciones a estas concentraciones y se valoraron potenciométricamente como a continuación se describen.

- a) Se prepara una solución de NaOH 0.1488 M (reactivo analítico), se toman tres alícuotas de 10 ml y se valoran con HCl 0.09933 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de HCl. Se obtiene una gráfica pH vs Vol. HCl. La reacción que se lleva a cabo es:



- b) Se prepara una solución de $AlCl_3$ 0.3488 M (reactivo analítico), se toman tres alícuotas de 10 ml y se valoran con HCl 0.09933 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de HCl. Se obtiene una gráfica pH vs Vol. HCl. **No hay reacción**

- c) Se prepara una mezcla de $AlCl_3$ 0.3488 M (reactivo analítico) y NaOH 0.1488 M (reactivo analítico), se toman tres alícuotas de 10 ml y se valoran con HCl 0.09933 M (solución estandarizada), tomando la lectura de pH en cada adición de 1 ml de HCl. Se obtiene una gráfica pH vs Vol. HCl. Las reacciones que se llevan a cabo son:

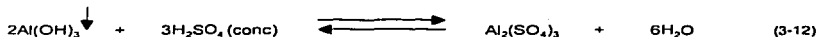
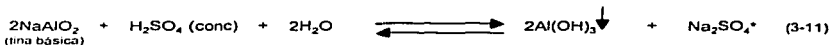


3.3.7 Obtención de Sulfato de Aluminio

Se denominara Mezcla 1 a la obtención de Sulfato de Aluminio con Ácido Sulfúrico Reactivo Analítico y se denominara Mezcla 2 a la Obtención de Sulfato de Aluminio con Ácido Sulfúrico de la Tina Ácida

3.3.7.1 Obtención de Sulfato de Aluminio con Ácido Sulfúrico Reactivo Analítico

Mezcla 1: Se toma 5 ml de muestra de la tina básica de la fecha 16/04/01 y se colocó en una celda de centrifuga, se le agregó gota a gota 0.1 ml de H_2SO_4 concentrado de garrafón hasta la obtención de un precipitado blanco gelatinoso que es hidróxido de aluminio, se centrifuga a 2000 r.p.m. por 15 minutos y se separa el sobrenadante (en el cual está disuelto el Sulfato de Sodio) al precipitado se le agrega 10 ml de agua para enjuagarlo y se centrifuga a 2000 r.p.m. por 15 minutos, esta operación se repite 8 veces para enjuagar bien el precipitado y eliminar el Sulfato de Sodio, estos enjuagues se recolectan. Ya enjuagado el hidróxido de aluminio se le agrega gota a gota 0.25 ml de H_2SO_4 concentrado de garrafón que es el necesario para la disolución total del precipitado. Se evapora el exceso de agua casi a sequedad y se deja cristalizar por 12 hrs. Se obtiene el Sulfato de Aluminio, se filtran los cristales y se colocan en un desecador por 24 hrs. y se pesa el producto. La especie de Aluminio a esta concentración es la de AlO_2^- , esto se puede observar en la figura 2. Las reacciones que se llevan a cabo son:

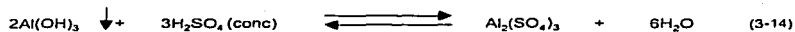
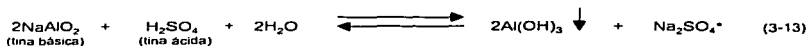


*Se elimina por medio de enjuagues.

3.3.7.2 Obtención de Sulfato de Aluminio con Ácido Sulfúrico de la Tina Ácida

Mezcla 2: Se toma 2 ml de muestra de la tina básica de la fecha 16/04/01 y se coloca en una celda de centrifuga, se le agregó gota a gota 6.4 ml de tina ácida de la fecha 16/04/01 hasta la obtención de un precipitado blanco gelatinoso que es hidróxido de aluminio, se centrifuga a 2000 r.p.m. por 15 minutos y se separa el sobrenadante (en el cual está disuelto el Sulfato de Sodio) al precipitado se le agrega 10 ml

de agua para enjuagarlo y se centrifuga a 2000 r.p.m. por 15 minutos, esta operación se repite 5 veces para enjuagar bien el precipitado y eliminar el Sulfato de Sodio, estos enjuagues se recolectan. Ya enjuagado el hidróxido de aluminio se le agrega gota a gota 0.1 ml de H_2SO_4 concentrado del garrafón que es el necesario para la disolución total del precipitado. Se evapora el exceso de agua casi a sequedad y se deja cristalizar por 12 hrs. Se obtiene el Sulfato de Aluminio, se filtran los cristales, se colocan en un desecador por 24 hrs. y se pesa el producto. La especie de Aluminio a esta concentración es la de AlO_2^- , esto se puede observar en la figura 2. Las reacciones que se llevan a cabo son:



* Se elimina por medio de enjuagues.

3.3.8 Determinación de la Pureza del Sulfato de Aluminio

Se pesa cantidad conocida del $Al_2(SO_4)_3$ obtenido y se afora a 100 ml con agua, se hacen valoraciones por retroceso, se toman 3 alícuotas de 10 ml de la solución y se les agrega a c/u en el siguiente orden, 10 ml de E.D.T.A. 0.05230 M (solución estandarizada) y 10 ml de solución buffer pH 4,5, se calienta la solución a ebullición por 3 minutos y se enfría, se le agregan 20 ml de etanol y 1 ml de ditizona. Esta solución se valora con $ZnSO_4$ 0.07217 M (solución estandarizada) hasta que el indicador vire de verde a rojo. Las reacciones que se llevan a cabo son las (3-1), (3-2) y (3-3).

3.3.9 Obtención de Sulfato de Sodio

A los enjuagues recolectados de los lavados del hidróxido de aluminio, se les evapora el exceso de agua casi a sequedad y se deja cristalizar por 12 hrs. Para la obtención de Sulfato de Sodio, se filtran los cristales, se colocan en un desecador por 24 hrs. y se pesa el producto.

3.3.10 Determinación de la Pureza del Sulfato de Sodio

Se pesa una cantidad conocida del Na_2SO_4 , obtenido y se afora a 50 ml con agua, esta solución se acidula con 5 ml de HCl diluido (1:10), se calienta a ebullición y se precipita el sulfato de bario adicionando 6 ml de solución caliente de cloruro de bario al 5%. Se hierve el líquido por 5 minutos y después se deja digerir el precipitado a baño maria, evitando que hierva el líquido. Se filtra y se lava con agua caliente, hasta que el filtrado no indique reacción de bario con solución diluida de ácido sulfúrico al 5%. El filtrado se coloca en un crisol en la estufa por 5 minutos y después se coloca en la mufla hasta la incineración del papel filtro. Se enfría y se pesa.

3.3.11 Identificación de Aniones y Cationes.

Para la identificación del Aluminio, se pesa 0.1g del Sulfato de Aluminio y se disuelve en 10 ml de agua, a esta solución se le agrega Hidróxido de Aluminio hasta llegar a un pH de 6, aquí se observa la aparición de un precipitado blanco gelatinoso el cual es de Hidróxido de Aluminio, esto nos indica una prueba positiva de la presencia de Aluminio.

Para la identificación del Sulfato, se pesa por separado 0.1g del Sulfato de Aluminio y 0.1g de Sulfato de Sodio estos se disuelven cada uno en 10 ml de agua, esta solución se acidula con 2 ml de HCl diluido (1:10), se calienta a ebullición y se precipita el Sulfato de Bario adicionando 3 ml de solución caliente de Cloruro de Bario al 5%. La presencia de un precipitado blanco indica prueba positiva de la presencia del Sulfato.

Para la identificación del Sodio, se toma un alambre de platino y se limpia la punta con HCl concentrado, se toma una pequeña cantidad de Sulfato de Sodio con la punta de este y se coloca a la flama de un mechero bunsen, si al ponerlo en la flama esta se pone de color amarilla, esto indica prueba positiva de la presencia de Sodio.

Existen procedimientos de identificación más específicos tales como, la espectrofotometría, la difracción de rayos X, la absorción atómica, etc.

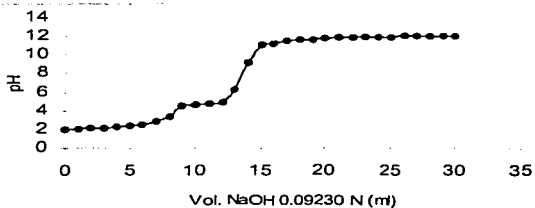
4.1 Resultados

Análisis del contenido de Ácido Sulfúrico en la Tina Ácida.

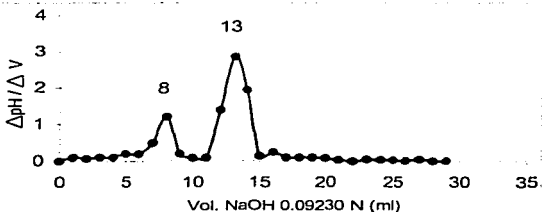
En las valoraciones potenciométricas del análisis del contenido de Ácido Sulfúrico se obtuvieron tres gráficas de las tres muestras de la tina ácida. Las gráficas 1a, 2a y 3a, muestran las curvas de valoración promedio de cada una de las muestras.

Las gráficas 1b, 2b y 3b muestran los volúmenes de punto de equivalencia promedio de cada una de las tres valoraciones. Se gráfica $\Delta\text{pH}/\Delta V$ vs Vol. de NaOH.

Gráfica 1a: Curva de Valoración de la Tina Ácida Muestra 14/02/01



Gráfica 1b: Primera Derivada en la Tina Ácida Muestra 14/02/01



V.p.e.1= 8 ml ; V.p.e.2= 13 ml - 8 ml = 5 ml

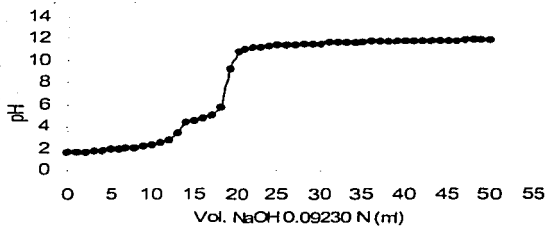
La concentración de H_2SO_4 en la tina ácida muestra 14/02/01 es de:

$$[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0.01846 \text{ M}$$

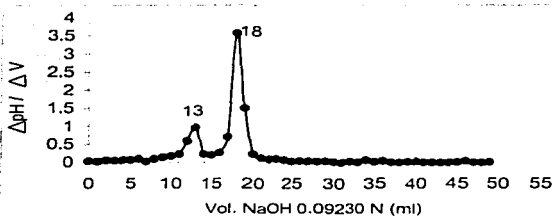
(Cálculo en anexo Ia)

V p.o. = Volumen de punto de equivalencia.

Gráfica 2a: Curva de Valoración de la Tina Ácida en Muestra 26/02/01



Gráfica 2b: Primera Derivada en la Tina Ácida Muestra 26/02/01



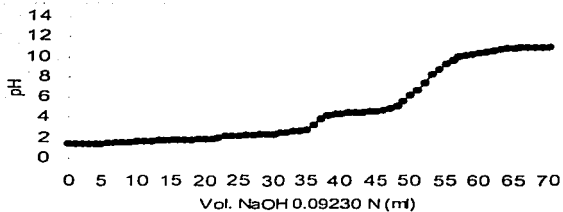
La concentración de H_2SO_4 en la tina ácida muestra 26/02/01 es de:

$$[H_2SO_4] = 0.02999 \text{ M}$$

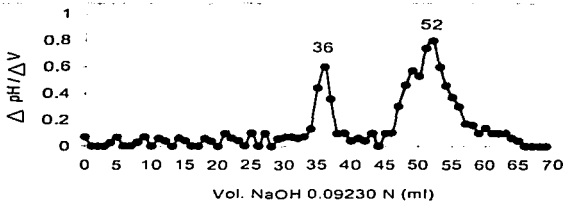
(Cálculo en anexo 1b)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Gráfica 3a: Curva de Valoración de la Tina Ácida en Muestra 16/04/01



Gráfica 3b: Primera Derivada en la Tina Ácida Muestra 16/04/01



La concentración de H_2SO_4 en la tina ácida muestra 16/04/01 es de:

$$[\text{H}_2\text{SO}_4] = 0.0830 \text{ M}$$

(Cálculo en anexo 1c)

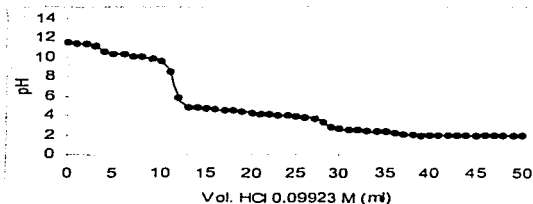
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Análisis del contenido de Hidróxido de Sodio en la Tina Básica.

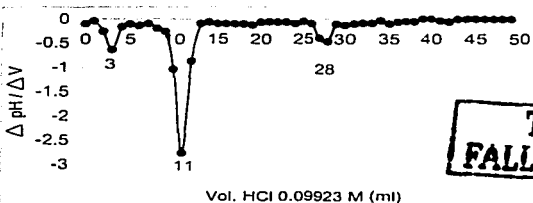
En las valoraciones potenciométricas para cuantificar el contenido de Hidróxido de Sodio se obtuvieron tres gráficas de cada una de las tres muestras en la tina básica. Las gráficas 4a, 5a y 6a, corresponden a las curvas de valoración promedio de cada una de las muestras.

Las gráficas 4b, 5b y 6b muestran los volúmenes de punto de equivalencia promedio de las valoraciones. Sé grafica $\Delta pH/\Delta V$ vs Vol. de HCl.

Gráfica 4a: Curva de Valoración en la Tina Básica
Muestra 14/02/01 Dilución 10:100



Gráfica 4b: Primera Derivada en Tina Básica Muestra 14/02/01



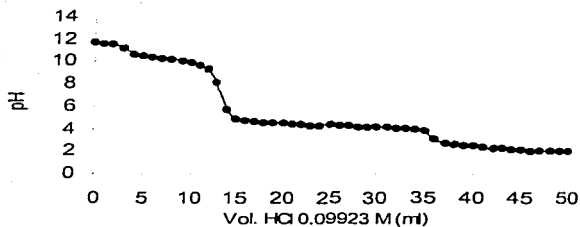
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

La concentración de NaOH en la tina básica muestra 14/02/01 es de:

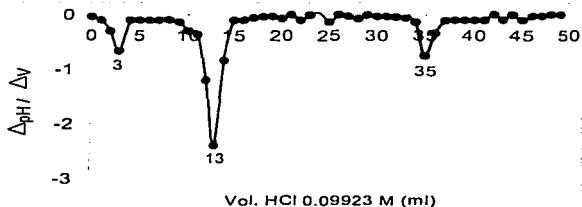
$$[\text{NaOH}] = 0.1488 \text{ M}$$

(Cálculo en anexo IIa)

Gráfica 5a: Curva de Valoración en la Tina Básica
Muestra 26/02/01 Dilución 10:100



Gráfica 5b: Primera Derivada en la Muestra 26/02/01



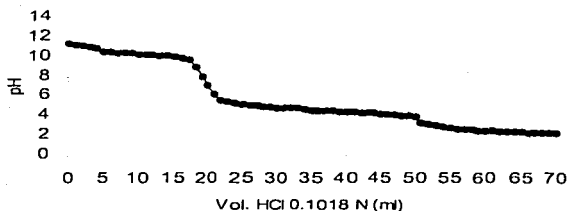
La concentración de NaOH en la tina básica muestra 26/02/01 es de:

$[\text{NaOH}] = 0.1488 \text{ M}$

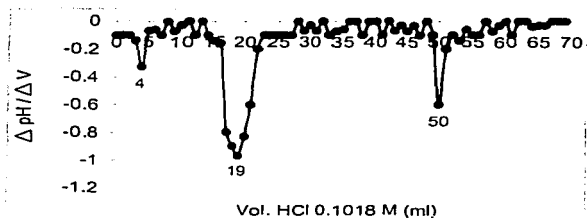
(Cálculo en anexo II)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 6a: Curva de Valoración en la Tina Básica
Muestra 16/04/01 Dilución 10:100



Gráfica 6b: Primera Derivada en la Muestra 16/04/01



La concentración de NaOH en la tina básica muestra 16/04/01 es de:

$$[\text{NaOH}] = 0.2036 \text{ M}$$

(Cálculo en anexo IIc)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Contenido de Aluminio en la Tina Ácida

En las valoraciones por retroceso para cuantificar el contenido de aluminio presente en cada una de las muestras de la tina ácida se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 10: Contenido de Aluminio en las diferentes muestras de la Tina Ácida

Muestra	Contenido de (Al^{3+})
14/02/01	7.83×10^{-3} M <i>(cálculo en anexo IIIa)</i>
26/02/01	8.52×10^{-3} M <i>(cálculo en anexo IIIb)</i>
16/04/01	0.02399 M <i>(cálculo en anexo IIIc)</i>

Contenido de Aluminio en la Tina Básica

Los resultados de las valoraciones por retroceso para cuantificar el contenido de aluminio presente en cada una de las muestras de la tina básica son:

Tabla 10: Contenido de Aluminio en las diferentes muestras de la Tina Básica

Muestra	Contenido de (Al^{3+})
14/02/01	0.3488 M <i>(cálculo en anexo IVa)</i>
26/02/01	0.3971 M <i>(cálculo en anexo IVb)</i>
16/04/01	0.4871 M <i>(cálculo en anexo IVc)</i>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La tabla 11 contiene en resumen las concentraciones de Hidróxido de Sodio, Ácido Sulfúrico y Aluminio en cada una de las tinas.

Tabla 11: Resumen de Concentraciones

Fecha en que se tomaron las muestras	Muestras	Contienen	Concentración
14/02/01	Tina Ácida	Ácido Sulfúrico	0.01846 M
		Aluminio	7.83×10^{-3} M
	Tina Básica	Hidróxido de Sodio	0.1488 M
		Aluminio	0.3488 M
26/02/01	Tina Ácida	Ácido Sulfúrico	0.0299 M
		Aluminio	8.52×10^{-3} M
	Tina Básica	Hidróxido de Sodio	0.1488 M
		Aluminio	0.3971 M
16/04/01	Tina Ácida	Ácido Sulfúrico	0.0830 M
		Aluminio	0.02399 M
	Tina Básica	Hidróxido de Sodio	0.2036 M
		Aluminio	0.4871 M

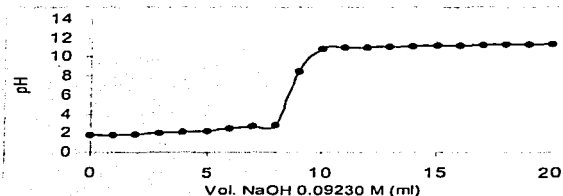
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Curvas patrón de la Tina Ácida utilizando los resultados de la muestra 14/02/01

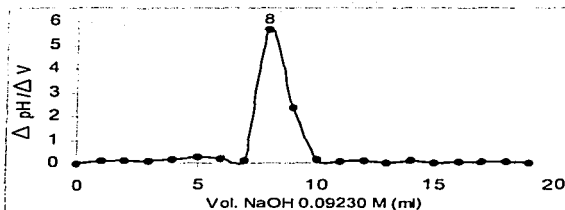
Las tres valoraciones potenciométricas patrón de la tina ácida se repitieron en tres ocasiones cada una y se obtuvieron las siguientes gráficas. La gráfica 7a corresponde a la curva de valoración promedio de H_2SO_4 0.01846 M (reactivo analítico). La gráfica 8a corresponde a la curva de valoración promedio de AlCl_3 7.83×10^{-3} M (reactivo analítico) y la gráfica 9a corresponde a la curva de valoración promedio de la mezcla de AlCl_3 7.83×10^{-3} M (reactivo analítico) y H_2SO_4 0.01846 M.

Las gráficas 7b, 8b y 9b muestran los volúmenes de punto de equivalencia promedio de las tres valoraciones.

Gráfica 7a: Curva Patrón de H_2SO_4 Respecto a la Muestra 14/02/01



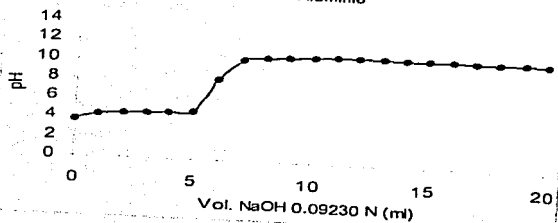
Gráfica 7b: Primera Derivada de la Curva Patrón de H_2SO_4



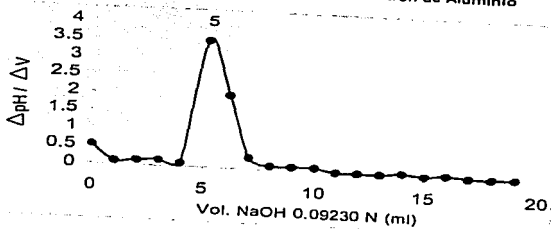
Vp.e. = 8 ml

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 8a: Curva Patrón de Aluminio



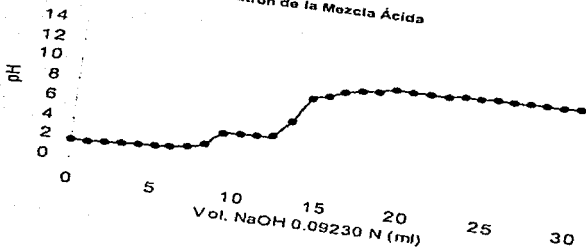
Gráfica 8b: Primera Derivada de Curva Patrón de Aluminio



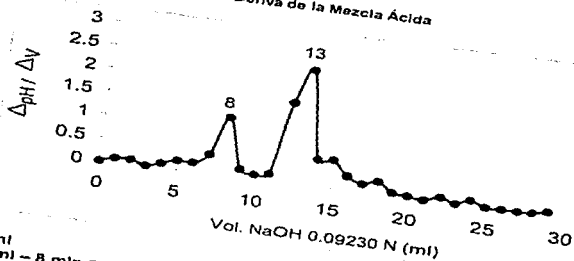
V.p.e.= 5 ml

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 9a: Curva Patrón de la Mezcla Ácida



Gráfica 9b: Primera Deriva de la Mezcla Ácida



Vp.e.1= 8 ml
Vp.e.2=13 ml - 8 ml= 5 ml

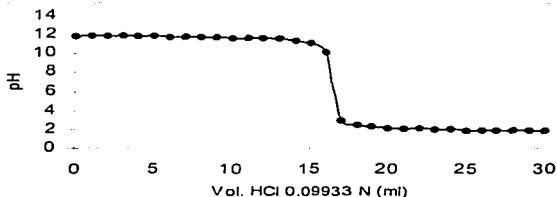
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Curvas patrón de la Tina Básica utilizando los resultados de la muestra 14/02/01

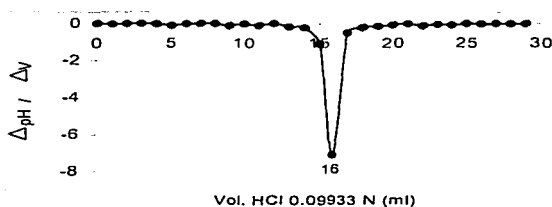
Las tres valoraciones potenciométricas patrón de la tina básica repitieron en tres ocasiones cada una y se obtuvieron las siguientes gráficas. La gráfica 10a corresponde a la curva de valoración promedio de NaOH 0,1488 M (reactivo analítico). La gráfica 11a corresponde a la curva de valoración promedio de AlCl_3 0,3488 M (reactivo analítico) y la gráfica 12a corresponde a la curva de valoración promedio de la mezcla de AlCl_3 0,3488 M (reactivo analítico) e NaOH 0,1488 M (reactivo analítico).

Las gráficas 10b y 12b muestran los volúmenes de punto de equivalencia promedio de las tres valoraciones.

Gráfica 10a: Curva Patrón de NaOH



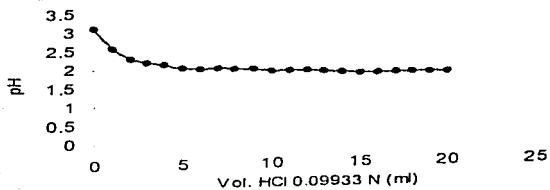
Gráfica 10b: Primera Derivada de NaOH



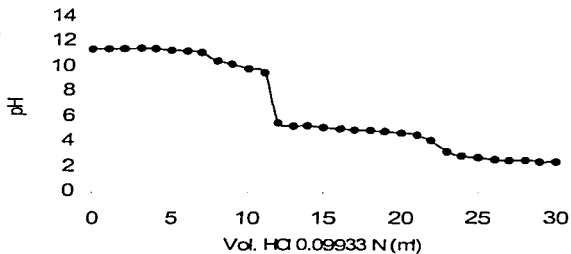
Vp.e.= 16 ml

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

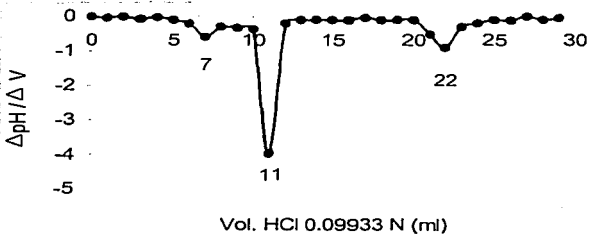
Gráfica 11a: Curva Patrón de Aluminio



Gráfica 12a: Curva Patrón de Mezcla Básica



Gráfica 12b: Primera Derivada de la Mezcla Básica



V.p.e.1= 5 ml
V.p.e.2= 11 ml - 5 ml= 6 ml
V.p.e.3= 22 ml - 11 ml= 11 ml

Obtención de Sulfato de Aluminio

Se realizaron 2 mezclas y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12: Resultados de la obtención de Sulfato de Aluminio

Mezcla	Tina Básica (ml)	Tina Ácida (ml)	H ₂ SO ₄ conc (ml)	Formación de Al(OH) ₃	H ₂ SO ₄ conc (ml) que reaccionan con Al(OH) ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃ (g)
1	5	-	0.1	Si	0.25	0.2510
2	2	6.4	-	Si	0.1	0.1092

Determinación de la Pureza del Sulfato de Aluminio

El promedio de la pureza del Sulfato de Aluminio de cada una de las mezclas es la que se muestra en la tabla 13, estos valores tienen una desviación estándar en la mezcla 1 de 0.0129 y en la mezcla 2 de 0.0129.

Tabla 13: Pureza del Sulfato de Aluminio

Mezcla	Pureza %
1	99.60 (cálculo en anexo VIII)
2	99.60 (cálculo en anexo VIII)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Obtención de Sulfato de Sodio

El resultado de la obtención del subproducto Sulfato de Sodio de cada una de las mezclas es el siguiente.

Tabla 14: Obtención de Sulfato de Sodio

Mezcla	Na_2SO_4 (g)
1	0.2665
2	0.1010

Determinación de la Pureza del Sulfato de Sodio

El promedio de la pureza del Sulfato de Sodio de cada una de las mezclas es la que se muestra en la tabla 15, estos valores tienen una desviación estándar en la mezcla 1 de 0.01 y en la mezcla 2 de 0.0129.

Tabla 15: Pureza del Sulfato de Sodio

Mezcla	Pureza %
1	83.21 % (cálculo en anexo Xa)
2	80.66 % (cálculo en anexo Xh)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

4.2 Discusión

Se analizaron las aguas residuales de las tinas de matizado y de decapado provenientes de una industria anodizadora. La tina de matizado se denominó como tina básica ya que ésta contiene hidróxido de sodio y aluminato. La tina de decapado se denomina tina ácida, esta contiene ácido sulfúrico y aluminio iónico. De estas tinas se analizaron 3 muestras en diferentes tiempos.

Para la cuantificación de hidróxido de sodio y de ácido sulfúrico en la tina básica y la tina ácida respectivamente, se realizaron valoraciones potenciométricas. En las curvas de valoración promedio de las tres muestras en la tina ácida se observa que en cada una hay dos volúmenes de puntos de equivalencia, los cuales para poder interpretar se hacen curvas patrón. Se compararon las gráficas 1a, 1b obtenidas de la muestra 14/02/01 con las gráficas 9a, 9b de la curva patrón de la mezcla ácida que contiene ácido sulfúrico y cloruro de aluminio. Y en estas podemos observar que en cada una hay dos volúmenes de punto de equivalencia, así que se puede decir que las muestras de la tina ácida tienen únicamente dos compuestos: ácido sulfúrico y aluminio iónico. Ahora para saber cual volumen de punto de equivalencia corresponde al ácido sulfúrico se hicieron las gráficas 7a, 7b en la que el volumen de punto de equivalencia es de 8 ml y para saber cual volumen de punto de equivalencia corresponde al aluminio se hicieron las gráficas 8a, 8b en la que el volumen de punto de equivalencia es de 5 ml. En estas se observan que los volúmenes de punto de equivalencia son los mismos que los de las gráficas 1a, 1b y 9a,9b. Con esto se comprueba que en las curvas de valoración promedio de las tres muestras de la tina ácida el primer volumen de punto de equivalencia corresponde al Ácido Sulfúrico y el segundo al Aluminio.

En las curvas de valoración promedio de las tinas básicas se observan tres volúmenes de punto de equivalencia, el primero corresponde a la concentración de hidróxido de sodio por que es una base fuerte. El segundo corresponde a la concentración del aluminio, pero éste en forma de aluminato y el tercero corresponde a la concentración de aluminio en forma de hidróxido de aluminio.

Para cuantificar el contenido de aluminio en la tina ácida y en la tina básica, se realiza una valoración por retroceso, esta técnica también sirvió para la determinación de la pureza del Sulfato de Aluminio obtenido. Esta técnica es buena ya que es muy rápida a comparación de una técnica gravimétrica.

Las tinas de los baños de matizado y de decapado en la industria tienen una capacidad de 4000 a 6000 lt. La tabla 16 muestra que por cada tina se tiran a la red de alcantarillado:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 16: Cantidad de desechos que se tiran a la red de alcantarillado

Fecha	Muestras	Contienen	Concentración (mol/l)	g/lt	g/4000 lt.	g/6000 lt.
14/02/01	Tina Ácida	Ácido Sulfúrico	0.01846	1.8105	7242	10863
		Aluminio	7.83×10^{-3}	0.2112	844.8	1267.2
	Tina Básica	Hidróxido de Sodio	0.1488	5.9520	23808	35712
		Aluminio	0.3488	9.4111	37644.4	56466.6
26/02/01	Tina Ácida	Ácido Sulfúrico	0.0299	2.9325	11730	17595
		Aluminio	8.52×10^{-3}	0.2298	9192	1378.8
	Tina Básica	Hidróxido de Sodio	0.1488	5.9520	23808	35712
		Aluminio	0.3971	10.7143	42857.2	64285.8
16/04/01	Tina Ácida	Ácido Sulfúrico	0.0830	8.1406	32562.4	48843.6
		Aluminio	0.02399	0.6472	2588.8	3883.2
	Tina Básica	Hidróxido de Sodio	0.2036	8.1440	32576	48864
		Aluminio	0.4871	13.1426	52570.4	78855.6

Esto quiere decir que en estas fechas, de un solo enjuague se fueron a la red de alcantarillado:

Tabla 17: Cantidad de desechos que se tiran a la red de alcantarillado

Compuesto	Al drenaje		
	14/02/01	26/02/01	16/04/01
Ácido sulfúrico	7242 g - 10863 g	11730 g - 17595 g	32562.4 g - 48843.6 g
Hidróxido de sodio	23808 g - 35712 g	23808 g - 35712 g	32576 g - 48864 g
Aluminio	38489.2 g - 57733.8 g	52049.2 g - 65664.6 g	55159.2 g - 82738.8 g

Estos datos son considerados en una sola tina de enjuague, pero el proceso tiene dos tinas de enjuague de matizado y dos tinas de enjuague de decapado, esto quiere decir que aproximadamente estos valores de concentración deberían ser dobles, esto sin tomar en cuenta cuantas veces cambien el agua en las tinas de enjuague al día. Todos estos residuos de las tinas de los baños de matizado y de decapado son considerados por la NOM-052-ECOL-1993 (ver anexo XII) como residuos peligrosos.

La norma NOM-002-ECOL-1996 (ver anexo XI) nos da el rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales que es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades, determinado para cada una de las muestras. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en

ninguna de las muestras. En las muestras hay un promedio de pH de 11.5 a 1.7, esto quiere decir que estan fuera de esta norma.

La industria genera una carga importante de contaminantes al medio ambiente. Las aguas residuales provenientes del anodizado pueden ser reaprovechadas, se recupero el contenido metálico de aluminio como una sal de sulfato de aluminio, útil en el tratamiento de aguas.

La obtención del Sulfato de Aluminio se realiza de dos maneras diferentes (ya descritas anteriormente en la metodología) esto fue hecho con el fin de comprobar que la utilización de la tina ácida era favorable, esto nos reduce costos en la producción que si se hiciera haciendo reaccionar la tina básica con ácido sulfúrico concentrado y se contribuye en mejorar el medio ambiente no contaminando con sustancias tóxicas. La técnica para la obtención del Sulfato de Aluminio como se presenta en este trabajo no está reportada en la literatura, por lo que se tuvo que desarrollar. También se obtuvo un subproducto de Sulfato de Sodio, el cual tiene una pureza en la mezcla 1 de 83.21% y en la mezcla 2 de 80.66%.

De la obtención de sulfato de aluminio en la Mezcla 1 se gastó un total de Ácido Sulfúrico concentrado de garrafón de 0.35 ml y de la mezcla 2 se gasto un total de Ácido Sulfúrico concentrado de garrafón de 0.1 ml. En el mercado 100 ml de H_2SO_4 de 99.999% de pureza tiene un costo en dólares de 45.60, en la mezcla 1 se gasto 0.16 dólares y en la mezcla 2 se gastó 0.05 dólares.

Si la tina de matizado contiene 4000 lt y éstos se hacen reaccionar con 12800 lt de la tina de decapado y 200 lt de H_2SO_4 concentrado de garrafón, se gastaría en dólares 91,200, pero se obtendrían 218.4 Kg de Sulfato de Aluminio y 202 Kg de Sulfato de sodio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 18: Precios en el mercado del sulfato de sodio y el sulfato de aluminio

Compuesto	Pureza (%)	Cantidad (g)	Precio en dólares
$Al_2(SO_4)_3$	99.99.	5	31.80
		25	107.80
		100	311.10
$Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$	99.998	5	21.60
		25	71.20
$Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O$	98	500	14.20
		2500	38.00
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$	98.	5	17.10
		100	22.10
		500	65.10
Na_2SO_4	99.99.	10	54.10
		100	364.90
Na_2SO_4 Polvo	99.99	50	33.30
		250	116.80
Na_2SO_4 Granular	99.	500	24.20
		2500	73.30
Na_2SO_4 Polvo	99.	25	19.10
		500	24.20
Na_2SO_4	98	500	18.30
		2000	48.50

Fuente: manual de productos finos y equipos de laboratorio, ALDRICH, 2000-2001

4.3 Conclusiones

- A partir de desechos industriales de una planta anodizadora de aluminio se obtuvo Sulfato de Aluminio con una pureza de 99.60%.
- Se obtuvo como subproducto Sulfato de Sodio con una pureza de 80.66%.
- Se presenta una alternativa para eliminar descargas residuales de aluminio al medio ambiente.
- Para el industrial del anodizado de aluminio se le presenta una opción para obtener mas recursos de su empresa evitando la contaminación al medio ambiente.

4.4 Bibliografía

1. R. Bruce King
Enciclopedia of Inorganic Chemistry, Vol. I
Ed. John Wiley y Sons, 1994
Pág. 112-113
2. The Merck Index
Twelfth Edition
Merck y Co., Inc, 1996
Pág. 64, 966
3. Orozco D. Fernando
Análisis Químico Cuantitativo
15ta Edición
Ed. Porrúa, México 1983
Pág. 19-26, 95-96, 120-125, 204-205, 212, 294
4. Secretaría de Salud
Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos
2da. Edición
México, 1998
Pág. 977-978
5. Raymond E. Kirk
Enciclopedia de Tecnología Química
Tomo II y XIV
1ra. Edición
Ed. Hispanoamericana
México, 1963
Pág. 55-57, 117-118, 663-666
6. Dr. Ludwig Mayer
Métodos de la Industria Química
1ra. Parte
Ed. Reverte
Pág. 182-183, 188

7. Sydney H. Avner
Introducción a la Metalurgia Física
2da. Edición
Ed. Mc Graw-Hill
México, 19988
Pág. 489-490, 568
8. Geoff Rayner-Canham
Química Inorgánica Descriptiva
2da. Edición
Ed. Pearson Educación
México, 2000
Pág. 233-234
9. Hawley
Diccionario de Química y de Productos Químicos
Ed. Omega
Barcelona, 1993
Pág. 53, 83
10. Kenneth W. Witten
Raymond E. Davis
Química General
5ta. Edición
Ed. Mc Graw-Hill
España, 1998
Pág. 831, 852-853
11. George T. Austin
Manual de Procesos Químicos en la Industria
Tomo II
1ra. Edición
Ed. Mc Graw-Hill
México, 1988
Pág. 417-419

12. Dr. Fernando Burriel Martí
Química Analítica Cuantitativa
15ta. Edición
Ed. Paraninfo
España, 1994
Pág. 639-643
13. Aldrich
Manual de Productos Finos y Equipos de Laboratorio
2000-2001
Pág. 59, 753-754, 1513-1514, 1535
14. Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición Concepto de Manejo de Residuos Industriales para el Giro de la Galvanoplastia.
Edición. Comisión Ambiental Metropolitana en Colaboración con la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) TÜV ARGE-MEX
Septiembre de 1998
Pág. 27, 13, 16, 29-31, 38-40
15. Pierre Barrad
Enciclopedia del Aluminio
Procesos de conformado del Aluminio y sus Aleaciones
Ediciones URMO S.A.
Pág. 222-223, 256-257, 263
16. www.semarnat.gob.mx
17. www.economia.gob.mx
18. www.asesan.org
19. www.laminex.es
20. www.aluminiovidal.com

4.5 ANEXO

I.- Análisis del contenido de Ácido Sulfúrico en la Tina Ácida.

a) Muestra 14/02/01

Vp.e. 1 = 8 ml
Vp.e. 2 = 13 ml

Cálculo de Concentración de H_2SO_4

Vp.e.1 = 8 ml
V alícuota = 20 ml
N(NaOH) = 0.09230

$$N (H_2SO_4) = (0.09230 N) (8 ml) / (20 ml) = 0.03692$$

si $M = N / 2$

$$M (H_2SO_4) = 0.01846$$

b) Muestra 26/02/01

Vp.e. 1 = 13 ml
Vp.e. 2 = 18 ml

Cálculo de Concentración de H_2SO_4

Vp.e.1 = 13 ml
V alícuota = 20 ml
N(NaOH) = 0.09230

$$N (H_2SO_4) = (0.09230 N) (13 ml) / (20 ml) = 0.05999$$

si $M = N / 2$

$$M (H_2SO_4) = \underline{0.02999}$$

c) Muestra 16/04/01

Vp.e. 1 = 36 ml
Vp.e. 2 = 52 ml

Cálculo de Concentración de H_2SO_4

Vp.e.1 = 36 ml
V alícuota = 20 ml
N(NaOH) = 0.09230

$$N (H_2SO_4) = (0.09230 N) (36 ml) / (20 ml) = 0.1661$$

si $M = N / 2$

$$M (H_2SO_4) = 0.0830$$

II.- Análisis del contenido de Hidróxido de Sodio en la Tina Básica.

a) Muestra 14/02/01

Cálculo de Concentración de NaOH

Vp.e.1 = 3 ml

V alícuota = 20 ml

N/NaOH) = 0.09923

$$N (\text{NaOH}) = (0.09923 \text{ N}) (3 \text{ ml}) / (20 \text{ ml}) = 0.01488$$

por dilución de 10:100

$$M (\text{NaOH}) = (0.01488 \text{ N})(100 \text{ ml}) / (10 \text{ ml}) = \underline{0.1488}$$

b) Muestra 26/02/01

Cálculo de Concentración de NaOH

Vp.e.1 = 3 ml

V alícuota = 20 ml

N/NaOH) = 0.09923

$$N (\text{NaOH}) = (0.09923 \text{ N}) (3 \text{ ml}) / (20 \text{ ml}) = 0.01488$$

por dilución de 10:100

$$M (\text{NaOH}) = (0.01488 \text{ N})(100 \text{ ml}) / (10 \text{ ml}) = \underline{0.1488}$$

c) Muestra 16/04/01

Cálculo de Concentración de NaOH

Vp.e.1 = 3 ml

V alícuota = 20 ml

N/NaOH) = 0.09923

$$N (\text{NaOH}) = (0.1018 \text{ N}) (4 \text{ ml}) / (20 \text{ ml}) = 0.02036$$

por dilución de 10:100

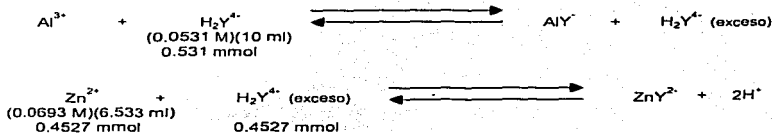
$$M (\text{NaOH}) = (0.02036 \text{ N})(100 \text{ ml}) / (10 \text{ ml}) = \underline{0.2036}$$

III.- Análisis del contenido de Aluminio en la Tina Ácida

a) Muestra 14/02/01

Alicuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	6.5
2	6.6
3	6.5
promedio	6.533
$(Al^{3+}) = 7.83 \times 10^{-3} M$	

$(ZnSO_4) = 0.0693 M$
 $(E.D.T.A.) = 0.0531 M$
 Vp.e. = 6.533 ml



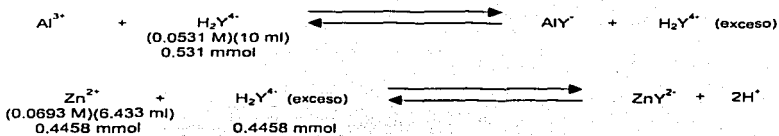
$0.531 \text{ mmol} - 0.4527 \text{ mmol} = 0.0783 \text{ mmol}$ (que reaccionaron de aluminio)

$$(Al^{3+}) = (0.0783 \text{ mmol}) / (10 \text{ ml}) = \underline{7.83 \times 10^{-3} M}$$

b) Muestra 26/02/01

Alicuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	6.5
2	6.4
3	6.4
promedio	6.433
$(Al^{3+}) = 8.52 \times 10^{-3} M$	

(ZnSO₄) = 0.0693 M
 (E.D.T.A.) = 0.0531 M
 Vp.e. = 6.433 ml



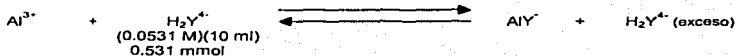
0.531 mmol - 0.4458 mmol = 0.0852 mmol (que reaccionaron de aluminio)

$(Al^{3+}) = (0.0852 \text{ mmol}) / (10 \text{ ml}) = 8.52 \times 10^{-3} M$

c) Muestra 16/04/01

Alicuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	4.2
2	4.2
3	4.2
promedio	4.2
$(Al^{3+}) = 0.02399 \text{ M}$	

$(ZnSO_4) = 0.0693 \text{ M}$
 (E. D. T. A.) = 0.0531 M
 Vp e. = 4.2 ml



$0.531 \text{ mmol} - 0.29106 \text{ mmol} = 0.23994 \text{ mmol}$ (que reaccionaron de aluminio)

$(Al^{3+}) = (0.23994 \text{ mmol}) / (10 \text{ ml}) = \underline{0.02399 \text{ M}}$

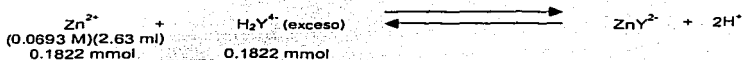
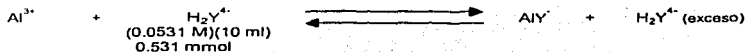
ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

IV.- Análisis del contenido de Aluminio en la Tina Básica

a) Muestra 14/02/01

Alcuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	2.7
2	2.6
3	2.6
promedio	2.63
(Al³⁺) = 0.3488 M	

(ZnSO₄) = 0.0693 M
 (E.D.T.A.) = 0.0531 M
 Vp.e. = 2.63 ml



0.531 mmol - 0.1822 mmol = 0.3488 mmol (que reaccionaron de aluminio)
 (Al³⁺) = (0.0783 mmol) / (10 ml) = 0.03488 M

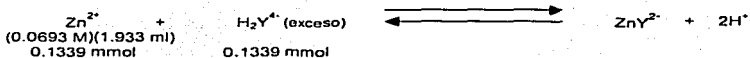
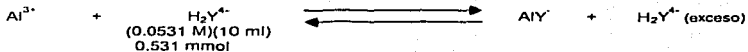
Por dilución de 10:100

(Al³⁺) = (0.03488 M) (100 ml) / (10 ml) = 0.3488 M

b) Muestra 26/02/01

Alícuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	1.9
2	2.0
3	1.9
promedio	1.933
(Al³⁺) = 0.3971 M	

(ZnSO₄) = 0.0693 M
 (E.D.T.A.) = 0.0531 M
 Vp.e = 1.933 ml



0.531 mmol - 0.1339 mmol = 0.3971 mmol (que reaccionaron de aluminio)
 (Al³⁺) = (0.3971 mmol) / (10 ml) = 0.03971 M

Por dilución de 10:100

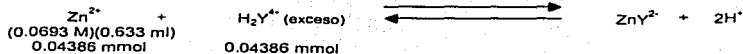
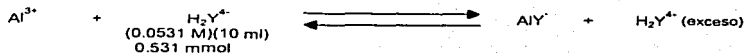
(Al³⁺) = (0.03971 M) (100 ml) / (10 ml) = **0.3971 M**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

c) Muestra 16/04/01

Alicuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	0.6
2	0.7
3	0.6
promedio:	0.633
(Al³⁺) = 0.4871 M	

(ZnSO₄) = 0.0693 M
 (E.D.T.A.) = 0.0531 M
 Vp.e. = 1.933 ml



0.531 mmol - 0.04386 mmol = 0.48714 mmol (que reaccionaron de aluminio)
 (Al³⁺) = (0.48714 mmol) / (10 ml) = 0.048714 M

Por dilución de 10:100

(Al³⁺) = (0.048714 M) (100 ml) / (10 ml) = **0.48714 M**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

VIII.- Obtención de la Pureza del Sulfato de Aluminio

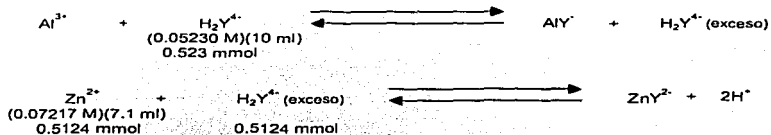
- Se pesó inicialmente 18.2 mg de $Al_2(SO_4)_3$ obtenidos de la mezcla 1 y 18.2 mg de $Al_2(SO_4)_3$ obtenidos de la mezcla 2
- Se realizó una valoración por retroceso a cada uno de los compuestos obteniendo en ambos casos los siguientes volúmenes de vire.

Mezcla 1	
Alicuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	7.1
2	7.1
3	7.1
promedio	7.1

Mezcla 2	
Alicuota No.	Vol. de Vire (ml)
1	7.1
2	7.1
3	7.1
promedio	7.1

Como los dos tienen el mismo volumen de vire es el mismo cálculo para ambos.

$(ZnSO_4) = 0.07217 M$
 (E.D.T.A.) = 0.05230 M
 Vp.e. = 7.1 ml



$0.523 \text{ mmol} - 0.5124 \text{ mmol} = 0.0106 \text{ mmol}$ (que reaccionaron de aluminio)

$(Al^{3+}) = (0.0106 \text{ mmol}) (100 ml) / (10 ml) = 0.106 \text{ mmol de } Al^{3+}$

$0.106 \text{ mmol } Al^{3+} \times 1 \text{ mmol } Al_2(SO_4)_3 / 2 \text{ mmol } Al^{3+} \times 342.1478 \text{ mg/mmol} = 18.1338 \text{ mg de } Al_2(SO_4)_3$

$(18.1338 \text{ mg de } Al_2(SO_4)_3) (100 \%) / (18.2 \text{ mg de } Al_2(SO_4)_3) = 99.61 \%$

Este procedimiento se realizó en cuatro ocasiones obteniendo los siguientes valores de pureza, 99.60, 99.61, 99.60 y 99.62. El promedio de la pureza del Sulfato de Aluminio de cada una de las mezclas es de 99.60 estos valores tienen una desviación estándar en la mezcla 1 y 2 de 0.0129

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

X.- Obtención de la Pureza del Sulfato de Sodio

a) Mezcla 1

- Se pesó inicialmente 12 mg de Na_2SO_4 para determinarle la pureza
- Por la técnica para determinar sulfatos al estado de sulfato de bario, se obtuvo 16.4 mg de BaSO_4 .
- Que al multiplicarse por el factor se obtienen los mg de sulfato en la muestra:

$$\begin{aligned}\text{Factor} &= (\text{SO}_4) / (\text{BaSO}_4) = 0.4115 \times 16.4 \text{ mg} = 6.7486 \text{ mg de SO}_4^{2-} \\ (6.7486 \text{ mg de SO}_4^{2-}) (142.05 \text{ mg Na}_2\text{SO}_4) / (96 \text{ mg SO}_4^{2-}) &= 9.9858 \text{ mg de Na}_2\text{SO}_4 \\ (9.9858 \text{ mg de Na}_2\text{SO}_4) (100 \%) / (12 \text{ mg de Na}_2\text{SO}_4) &= \underline{\underline{83.21\%}}\end{aligned}$$

Este procedimiento se realizó en cuatro ocasiones obteniendo los siguientes valores de pureza, 83.21, 83.22, 83.22 y 83.20. El promedio de la pureza del Sulfato de Sodio es de 83.21 estos valores tienen una desviación estándar de 0.01

b) Mezcla 2

- Se pesó inicialmente 11.7 mg de Na_2SO_4 para determinarle la pureza
- Por la técnica para determinar sulfatos al estado de sulfato de bario, se obtuvo 15.5 mg de BaSO_4 .
- Que al multiplicarse por el factor se obtienen los mg de sulfato en la muestra:

$$\begin{aligned}\text{Factor} &= (\text{SO}_4) / (\text{BaSO}_4) = 0.4115 \times 15.5 \text{ mg} = 6.3782 \text{ mg de SO}_4^{2-} \\ (6.3782 \text{ mg de SO}_4^{2-}) (142.05 \text{ mg Na}_2\text{SO}_4) / (96 \text{ mg SO}_4^{2-}) &= 9.4377 \text{ mg de Na}_2\text{SO}_4 \\ (9.4377 \text{ mg de Na}_2\text{SO}_4) (100 \%) / (11.7 \text{ mg de Na}_2\text{SO}_4) &= \underline{\underline{80.66\%}}\end{aligned}$$

Este procedimiento se realizó en cuatro ocasiones obteniendo los siguientes valores de pureza, 80.66, 80.65, 80.66 y 80.68. El promedio de la pureza del Sulfato de Sodio es de 80.66 estos valores tienen una desviación estándar de 0.0129.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

XI.- Técnicas de estandarización de soluciones.

a) Estandarización de HCl 0.1N con Na_2CO_3 Anhidro.

Secar previamente entre 240-250 °C durante media hora el Na_2CO_3 , ya seco colocarlo en un desecador. Pesar con exactitud una cantidad de carbonato seco, que quede comprendida entre 1.2 y 1.4 g, se disuelve en agua dentro de un matraz volumétrico de 250 ml, después de aforar, se miden alícuotas de 25 ml y se titulan con la solución de HCl utilizando como indicador anaranjado de metilo.

b) Estandarización de NaOH con biftalato de potasio

Secar previamente a 125°C durante media hora biftalato de potasio, ya seco colocarlo en un desecador. Para titulaciones decinormales de hidróxido de sodio se pesa mas o menos con exactitud 0.7 g se disuelve en agua y se afora a 50 ml, se miden alícuotas de 20 ml y se titulan con la solución de NaOH utilizando como indicador fenoftaleína.

c) Estandarización de E.D.T.A con Zn metálico

Se pesa una cantidad cercana a 3.25 g de zinc puro con exactitud y se disuelve con 50 ml de HCl, esta solución se afora a 500 ml con agua. De esta solución se toman 3 alícuotas de 10 ml y a cada una se le agrega 10 ml de solución reguladora pH 10 de amonio/amoniaco se le agrega un poco de indicador negro de eriocromo T y se valora con la solución de E.D.T.A hasta el vire de rojo a azul.

d) Estandarización de ZnSO_4 con E.D.T.A

De la solución de ZnSO_4 se toman 3 alícuotas de 10 ml y se les agrega 10 ml de solución reguladora pH 10 de amonio/amoniaco se le agrega un poco de indicador negro de eriocromo T y se valora con la solución de E.D.T.A hasta el vire de rojo a azul.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

XII.- Normas Oficiales Mexicanas Aplicables.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia ambiental, además de permitir a las autoridades el establecer límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a diferentes medios y de las condiciones para su verificación. El órgano que expide las nuevas normas en materia ambiental es en este caso el Instituto Nacional de Ecología (INE), sin embargo también participan otras Secretarías, instituciones educativas, organismos empresariales e iniciativa privada. Sobre la caracterización de los residuos peligrosos rige las siguientes normas. (14)

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. Norma de observancia obligatoria en la definición y clasificación de residuos peligrosos. (14)

En esta norma los residuos considerados peligrosos se clasifican por giro industrial y proceso así como por fuente no específica incluyendo la clave CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico Inflamable Biológico-Infeccioso) y número del INE correspondientes. La siguiente tabla únicamente muestra lo relacionado con el giro de anodizado

TABLA 1
CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS POR GIRO INDUSTRIAL Y PROCESO

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

Referencia (17)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

La norma contiene las siguientes definiciones. (16)

CRETIB: El código de clasificación de las características que contengan los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológico infeccioso.

Fuente no específica: Las actividades que generan residuos peligrosos y que pueden aplicarse a diferentes giros o procesos.

Generador: Persona física o moral que como resultado de sus actividades produzca residuos peligrosos.

Residuos de baja peligrosidad: Son aquellos residuos peligrosos que por sus características y volúmenes requieren de un manejo diferente al manejo establecido para los residuos peligrosos.

Residuos peligrosos: 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.

NOM-001-ECOL-1996 (16)

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

Esta norma define a las Aguas residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los límites siguientes de: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros. Ya que son aquéllos los que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Algunas definiciones de esta norma son las siguientes

Aguas residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales de proceso: Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

Aguas residuales domésticas: Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

Contaminantes: Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Algunas de las especificaciones de esta norma son:

Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, para las grasas y aceites, sólidos sedimentables, arsénico total, cadmio total, cianuro total, cobre total, cromo hexavalente, mercurio total, níquel total y plomo total.

El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40°C. (cuarenta grados Celsius), medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.