



Recuperación de NaOH y H_2SO_4 en el anodizado de aluminio. Una oportunidad económica y ambiental

Leyla Yamile Jaramillo Zapata¹

NaOH and H_2SO_4 Recovery in Anodizing Processes: An Environmental and Economical Opportunity

RESUMEN

Introducción. Dentro del sector galvanoplastia, el proceso de anodizado de aluminio es uno de los de mayor impacto ambiental

Objetivo. Describir las oportunidades de producción más limpia para el proceso de anodizado de aluminio.

Materiales y métodos. Para la recuperación de NaOH se analizaron tres tecnologías: intercambio iónico, cristalización y precipitación, que fueron tenidas en cuenta de acuerdo con antecedentes de experiencias internacionales exitosas. Se realizaron ensayos piloto y de laboratorio, por medio de los cuales se determinó que el intercambio iónico no presenta resultados técnicos satisfactorios y las opciones factibles son la cristalización y la precipitación de aluminio. Para la recuperación de H_2SO_4 del baño de anodizado, se analizó el intercambio iónico como alternativa, con resultados económicos y financieros satisfactorios.

Resultados. Los beneficios económicos de la implementación de estas tecnologías tienen relación con la disminución en los costos generados por el consumo de soda cáustica y ácido sulfúrico, mejor control de los procesos, condiciones constantes de operación y el aumento de la vida útil de los baños. Los beneficios al medio ambiente están representados en la optimización del consumo de materiales como soda cáustica y ácido sulfúrico, reducción en las

¹ Ingeniera Ambiental. Investigadora del Grupo de Investigaciones Ambientales -GIA- de la Universidad Pontificia Bolivariana

Correspondencia: Leyla Yamile Jaramillo Zapata. email: ambiente@upb.edu.co, leylajz@epm.net.co

Fecha de recibo: 27/03/2006; fecha de aprobación: 07/04/2006

descargas de sulfatos, reducciones en el consumo de agua y energía y en la menor generación de los lodos metálicos provenientes del tratamiento de las aguas residuales del proceso.

Conclusión. El sistema propuesto proporciona un potencial ahorro de energía que adicionalmente puede incrementarse si se mantienen las concentraciones apropiadas de ácido en el baño.

Palabras clave: Recuperación de NaOH. Recuperación de H_2SO_4 . Producción más limpia. Anodinado. Galvanoplastia.

ABSTRACT

Introduction. In the galvanoplasty sector, the aluminium anodizing process is one of the most critical in environmental impact terms.

Objective. To describe the opportunities of cleaner production for the aluminium anodizing process.

Materials and Methods. To recover NaOH we analyzed three technologies: ionic exchange, crystallization and precipitation, which were all taken into account due to past international successful experiences. Pilot tests and laboratory tests were made, determining that ionic exchange does not offer technical satisfactory results and that feasible options are crystallization and aluminium precipitation. To recover H_2SO_4 from the anodizing bath, ionic exchange was explored as an alternative, obtaining technical and economical satisfactory results.

Results. The economical benefits of implementing these technologies are related to diminishing the costs generated by the consuming of caustic soda and sulphuric acid, a better control of processes, constant operation conditions and a longer time of usefulness of the baths. Environmental benefits are the optimization of the use of caustic soda, a lower sulphate discharging less consuming of water and energy and a better generation of the metallic mud coming from the waste water treatment done after the process.

Conclusion. The proposed system provides a potential save of water which can be gradually increased if the appropriate acid concentrations in the bath are kept.

Key words: Recovery of NaOH. Recovery of H_2SO_4 . Cleaner production. Anodizing. Galvanoplasty.

INTRODUCCIÓN

Dentro del sector galvanoplastia, el proceso de anodizado de aluminio es uno de los de mayor impacto ambiental. Los principales residuos que se generan durante este proceso, incluyen lodos concentrados del mantenimiento de los baños, enjuagues contaminados por arrastres, emisión de vapores tóxicos y lodos del tratamiento del agua residual. Adicionalmente se presentan altos consumos de materias primas, especialmente en los decapados alcalinos y baños de anodizado.

Estas características convierten el proceso de anodizado de aluminio en un proceso prioritario a la hora de promover el mejoramiento de la gestión ambiental y la adopción de tecnologías limpias.

A continuación se presentan las oportunidades de PML, evaluadas técnica y económicamente, cuyos resultados aplican al sector y permiten definir un nivel de reproducibilidad para empresas de características similares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron pruebas a escala piloto en una empresa de anodizado localizada en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para el desarrollo de un análisis de Producción más Limpia (P+L). Éste último tuvo un enfoque específico en el uso eficiente del recurso agua y la evaluación de técnicas y tecnologías, que en el contexto internacional, han tenido resultados positivos en la reducción de vertimientos y reuso de materiales.

Análisis del proceso

Para mejorar la protección contra la corrosión se usa el proceso de anodizado, que es una oxidación artificial controlada que se obtiene mediante un proceso electroquímico. Éste proceso está conformado por diferentes baños y cada uno de ellos cuenta con una etapa adicional de enjuague donde las piezas de aluminio son sumergidas antes de pasar a la etapa siguiente.

Como estudio de caso, se llevó a cabo el análisis en una planta que procesa piezas de aluminio uniformes (perfiles), con dimensiones claramente definidas que facilitan el control del área tratada. La producción promedio mensual oscila alrededor de 100.000 m² de aluminio anodizado, las piezas se tratan en posición vertical (inmersión en el baño) y cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que permite la recirculación de enjuagues agotados, logrando ahorros de agua superiores al 40%.

El proceso de anodizado está conformado por las etapas que, brevemente, se describen a continuación:

- **Desengrase:** en esta etapa se busca eliminar todo tipo de grasa, ya sea de origen mineral o vegetal en la pieza. Se realiza en un medio ácido y a temperaturas altas.
- **Decapado o matizado:** se realiza para eliminar todo tipo de óxidos generados en los procesos previos. Este proceso usa soda cáustica (NaOH) como decapante en una concentración entre 50 y 240 g/L. El baño se encuentra a una temperatura entre 50 – 60°C.
- **Neutralizado:** este baño se realiza para detener el ataque de la soda, eliminar óxido de los componentes de aleación y blanquear los perfiles. Esta etapa es a temperatura ambiente y las piezas que salen no son enjuagadas, sino que continúan a la etapa siguiente.

- **Anodizado:** en esta etapa se realiza el tratamiento anódico que se le da a la pieza, donde se genera una capa de óxido de aluminio sobre la misma. El baño es una celda galvánica en la cual el ánodo es el perfil y por lo tanto va a ser oxidado, lo que se logra sumergiéndolo en una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de concentración entre 180 y 200 g/L. El baño debe mantenerse a una temperatura de 19 - 21 °C, por lo cual se requiere refrigeración.
- **Electrocoloreado:** esta etapa proporciona el color al perfil de aluminio en la gama de los bronce. El perfil se sumerge en una solución de sulfato de estaño ($SnSO_4$), con el objetivo de que dicho elemento ingrese al poro de la superficie y lo rellene, formando el color. Dependiendo de la cantidad de estaño depositado, se genera un tono más claro o más oscuro.
- **Sellado:** al sumergir el perfil en este baño se logra el taponamiento de los poros de los perfiles para que permanezca el color. El proceso se realiza a temperatura ambiente, pero el enjuague posterior de las piezas se realiza en caliente.

Las etapas seleccionadas como prioritarias para el análisis de Producción Más Limpia fueron: el enjuague del decapado, el anodizado, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el decapado. Posteriormente se realizó un análisis de las entradas y salidas para completar los balances de masa y estimar los desperdicios generados y los costos asociados

Las materias primas que presentaron un alto consumo dentro del proceso de anodizado son NaOH y H_2SO_4 . Para las etapas priorizadas se realizó un balance de masa de estas materias primas y también de aluminio. A partir de los resultados se detectó un desperdicio de NaOH y H_2SO_4 , por consumo en exceso.

Para la solución del problema se analizaron técnica y económicamente algunas tecnologías para la recuperación de estas dos materias primas, evaluando su viabilidad de implementación.

Recuperación de hidróxido de sodio

Para el análisis de esta oportunidad se consideraron tres posibles tecnologías de separación: intercambio iónico, cristalización y precipitación. Fueron seleccionadas de acuerdo con antecedentes de experiencias internacionales exitosas.

Las tecnologías exploradas no fueron aplicadas para los enjuagues del decapado, sino para el baño de decapado teniendo en cuenta que en los decapados alcalinos generalmente se emplean altas concentraciones de NaOH, de modo que al salir del baño el líquido queda adherido a las piezas como una película más o menos espesa y la concentración de aluminio en el baño de decapado se controla a cier-

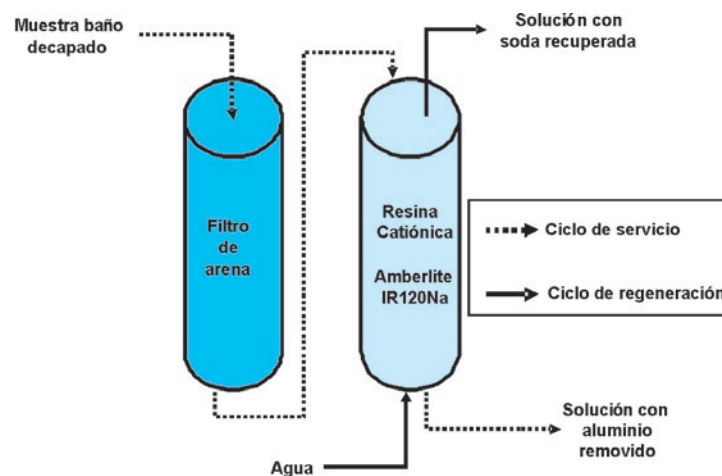
to nivel y, cuando su concentración aumenta, también lo hace la viscosidad en el baño y, por consiguiente, el arrastre de la solución.

A continuación se describe la metodología para analizar cada una de las tecnologías consideradas.

Intercambio iónico: Se realizó un ensayo de laboratorio y otro a escala piloto, definiendo inicialmente la secuencia o arreglo (Figura 1) comprendida por un filtro de arena (tamaño grano 0,45mm), para evitar el paso de sólidos a la resina, y luego se usó una resina catiónica para la retención de la soda.

Para la recuperación de hidróxido de sodio no se encontraron resinas de intercambio específicas, por lo que se realizaron ensayos adicionales con otras resinas catiónicas como la AMBERLITE IR120 Na, a fin de investigar el comportamiento de las reacciones.

Figura 1. Secuencia para el intercambio iónico para la recuperación de soda cáustica en el baño de decapado



Cristalización: con este sistema se busca la remoción continua de aluminio disuelto de la solución de soda cáustica del baño o de los enjuagues de decapado. El aluminio en el cristalizador es convertido en cristales de alúmina, que son susceptibles de comercialización, y la soda recuperada puede reincorporarse al baño.

Para determinar el dimensionamiento de un sistema de cristalización para una planta de anodizado, es necesario calcular la tasa de disolución del aluminio en el baño, para escoger un equipo que cuente con una capacidad de remoción aproximadamente igual, es decir, que permita mantener condiciones homogéneas en el baño.

Para el estudio de caso, la empresa extranjera ECO-TEC dimensionó un cristalizador de acuerdo con las condiciones de operación de la planta de anodizado

como el número de líneas de trabajo, el número de baños, el volumen del tanque, horas de producción, tasa de producción y tiempo del decapado. Se calculó la tasa de disolución de aluminio en el baño, con la cual a su vez se logró estimar una necesidad de remoción de 18 kg/h, a fin de mantener una concentración baja (casi nula) de aluminio en el baño.

Para lograr este objetivo se propuso un cristizador con una capacidad de remoción de aluminio de 12,67 kg/h, permitiendo pérdidas por arrastre.

Precipitación: debido a que el análisis para las demás tecnologías no arrojó resultados satisfactorios, se realizó la exploración de otra posible alternativa para la recuperación de soda: la precipitación química del aluminio.

El sistema propuesto consiste en el tratamiento del baño de decapado agotado con un reactivo alcalino ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), para eliminar el aluminio presente por precipitación en forma de aluminato insoluble, y recuperar la solución de soda para su reutilización en el baño de decapado.

De acuerdo con otros autores, el sistema elimina un 90% del aluminio y recupera una solución alcalina con el 50% de la soda del baño inicial. Para obtener un rendimiento óptimo, es necesario que se eliminen de la formulación inicial del baño de decapado los reactivos complejantes del aluminio. Adicionalmente, por medio de este proceso se reduce a la mitad la cantidad de lodos que deben gestionarse externamente, lo que supone un ahorro económico adicional.¹

Se realizaron cuatro ensayos a escala de laboratorio para la exploración de esta oportunidad mediante el uso de un test de jarras y la posterior sedimentación de las soluciones. Luego de los ensayos se realizó un balance de masa de soda (NaOH) y aluminio, que fue la base para el dimensionamiento del sistema. En forma adicional, para realizar dicho balance, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La tasa de disolución de aluminio en el baño corresponde al 6% de pérdida en peso de las piezas que entran diariamente al baño.
- El arrastre equivale aproximadamente al 15% del volumen diario del baño.
- Las condiciones que se estima mantener constantes con el sistema de precipitación fueron establecidas teniendo en cuenta las relaciones que deben mantenerse entre la soda, el aluminio y el aditivo del baño. Incluyen la concentración de NaOH (100 g/L) y la concentración de aluminio (50 g/L).
- La humedad esperada de los lodos resultantes de la precipitación es del 70%.

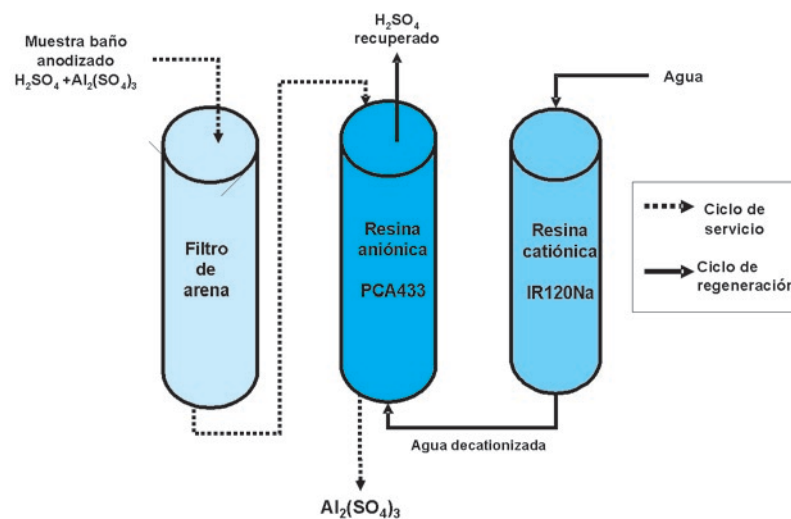
Recuperación de ácido sulfúrico

El aluminio se acumula gradualmente en el baño de anodizado y eventualmente es necesario reemplazar la solución o reponer ácido nuevo al baño. Mediante este sistema se remueve constantemente el aluminio disuelto en el baño.

La sorción ácida se usa principalmente para recuperar ácidos mediante la remoción de contaminantes metálicos disueltos (iones) de baños ácidos, como el caso del aluminio en el baño de anodizado. La resina en la columna de intercambio permite que pasen los cationes contaminantes, pero retiene el ácido (proceso de sorción). Cuando la resina es regenerada con agua, se recupera el ácido diluido menos los iones metálicos (proceso de desorción).

Para lograr los resultados esperados se eligieron resinas específicas para la retención de los compuestos de interés, con las cuales se realizaron dos ensayos utilizando muestras diferentes del baño. Se usó la resina aniónica fuertemente ácida PUROLITE PCA433 y la resina catiónica AMBERLITE IR120Na. El arreglo definido para la recuperación se presenta en la figura 2.

Figura 2. Recuperación de ácido sulfúrico en el baño de anodizado



En la figura anterior se observa que durante el ciclo de servicio la resina retiene los sulfatos que componen la molécula del ácido, dejando pasar la sal metálica (sulfato de aluminio). En el ciclo de regeneración con agua, se obtiene una solución concentrada de H₂SO₄ con bajos contenidos de aluminio, la cual se reintroduce nuevamente en el baño de anodizado. De acuerdo con los fabricantes de la resina, la regeneración se realiza con agua para lograr la desorción del ácido.²

RESULTADOS

Se determinó que el consumo en exceso y consecuente desperdicio de NaOH y H_2SO_4 es debido a los siguientes factores:

- Inadecuado control del consumo de soda en el baño de decapado, que genera la necesidad de utilizar mayor cantidad de ácido sulfúrico para la neutralización en la PTAR.
- Inadecuado control durante el proceso de neutralización, con el consecuente desperdicio de ácido.
- Presencia de aluminio en los efluentes, que implica un mayor consumo de ácido para la neutralización. Este metal proporciona a la solución a neutralizar una capacidad Buffer, es decir, opone una resistencia a la neutralización lo cual se traduce en mayores consumos de ácido.

Adicionalmente, para tener un funcionamiento adecuado del proceso es necesario mantener las relaciones adecuadas entre Al, NaOH y aditivo en el baño. Cuando hay una menor concentración de aluminio puede tenerse una menor concentración de soda y aditivo.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Recuperación de hidróxido de sodio

Intercambio iónico

Tanto en el ensayo de laboratorio como a escala piloto se obtuvieron resultados similares en relación con el comportamiento de la resina, es decir, el sodio es retenido mientras la mayor parte del aluminio pasa de largo. Sin embargo, al utilizar agua decationizada como solución, no se cumplió en forma satisfactoria el proceso de regeneración de la resina utilizada, es decir, no se logró la recuperación de soda.

No obstante, como referencia adicional, se consultó con fabricantes internacionales de equipos patentados para este tipo de montajes, quienes informaron que la producción de tales sistemas ha ido eliminándose gradualmente, debido a que durante la operación se presentan problemas de atascamientos en las tuberías, que implican contar con un sistema adicional de mantenimiento delicado, prácticamente inviable en plantas de anodizado³.

Por tal razón, debido a los problemas técnicos inherentes a este tipo de sistemas y a la ausencia de resinas de fácil acceso en el mercado con las especificaciones necesarias para la recuperación de soda, no se consideró factible la aplicación de esta tecnología en el medio local, teniendo en cuenta además las dificultades logísticas y económicas asociadas a esta oportunidad de producción más limpia.

Cristalización

Con este sistema es posible obtener los ahorros mensuales descritos en la tabla I.

Tabla I. Ahorros generados con un sistema de cristalización para la recuperación de NaOH (estudio de caso)

Insumo	Ahorro (%)	Ahorros mensuales (\$)
Soda cáustica	80%	15'660.000
Acido sulfúrico para la neutralización	67%	5'818.750
Disposición de lodos	60%	840.000
Ahorro total		22'318.750

A pesar de los prometedores ahorros que pueden lograrse, existe una limitante en cuanto a las dimensiones y el peso del cristalizador. El dimensionamiento de un sistema de menor tamaño implica la concentración de la solución a tratar y por lo tanto, para su fabricación, se requieren materiales especializados de alto costo que resistan las condiciones extremas de corrosividad y temperatura. Estos altos costos comprometen la viabilidad económica para la implementación del sistema.

Las situaciones mencionadas limitan entonces la viabilidad técnica de la alternativa a las condiciones disponibles para su ubicación.

Los altos costos de la inversión y mantenimiento impiden obtener resultados económicos satisfactorios. El proyecto es viable económicamente solamente en condiciones muy específicas y si se tienen las deducciones establecidas en el Estatuto Tributario. En la tabla 2 se presente el resumen de los resultados obtenidos para las variables financieras.

Tabla 2 Resultados financieros para el sistema de cristalización para la recuperación de NaOH

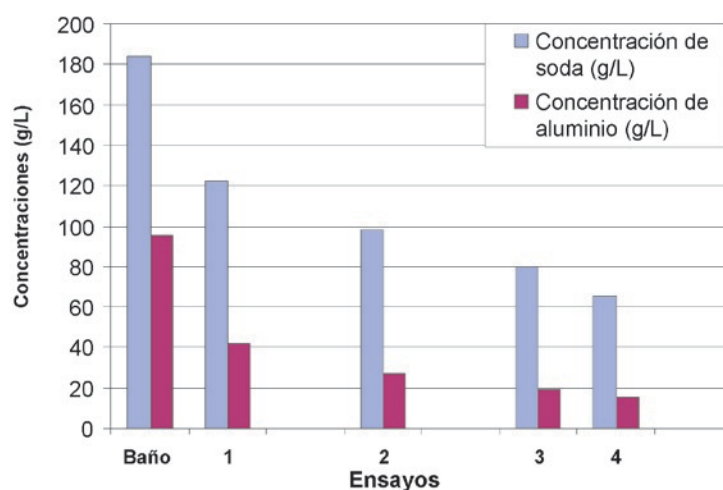
Variable Financiera	Sin Financiación		Con Financiación	
	Sin deducciones legales*	Con deducciones legales	Sin deducciones legales	Con deducciones legales
Valor Presente Neto (VPN)	-880'677.425	10'818.645	-607'928.214	283'567.856
TIR (%)	6,96		5,83	

* Las deducciones legales tienen que ver con las deducciones estipuladas en el Artículo 158-2 del Estatuto Tributario, reglamentado mediante Decreto No. 3172/03.

Precipitación

En la gráfica I se presentan los resultados de los ensayos realizados. Se observa que ofrecen una mayor posibilidad para la recirculación del sobrenadante al baño los resultados obtenidos durante el segundo ensayo. El sobrenadante susceptible de recirculación presenta unos niveles bajos de aluminio y tiene una concentración de soda adecuada para mantener las condiciones en el baño de decapado.

Gráfica I. Concentración de NaOH y Al en el sobrenadante (ensayos de precipitación)



De acuerdo con el segundo ensayo, se llevó a cabo el dimensionamiento de un sistema por baches a partir del cual se definieron los ahorros mensuales que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Ahorros generados por la instalación de un sistema de precipitación de aluminio- Estudio de caso

Insumo	Ahorro (%)	Ahorros mensuales (\$)
Soda Cáustica	60%	11'745.000
Acido Sulfúrico	56%	4'900.000
Aditivo	30%	1'891.620
Disposición de lodos	30%	400.000
Ahorro Total		18'956.620

Según la bibliografía, con la precipitación se elimina la necesidad de aditivos complejantes del aluminio para evitar el efecto piedra⁴, el cual consiste en la precipita-

ción de aluminio por saturación. Sin embargo, para utilizar un criterio conservador, se determinó un ahorro de aditivo del 30%.

Desde el punto de vista económico y financiero los resultados son satisfactorios, ya que permiten establecer la viabilidad de la precipitación de aluminio como oportunidad para el reuso de agua de proceso. Los costos de inversión para la precipitación de aluminio ascienden a \$108'810.000, incluyendo la compra e instalación de equipos necesarios. La tabla 4 presenta los resultados obtenidos de la evaluación económica.

Tabla 4. Resultados financieros para el sistema de precipitación de aluminio en el baño de decapado

Variable Financiera	Sin Financiación		Con Financiación	
	Sin deducciones legales*	Con deducciones legales	Sin deducciones legales	Con deducciones legales
Valor Presente Neto (VPN)	276'882.168	318'772.416	289'698.301	331'588.549
TIR (%)	98.20		203.29	

* Las deducciones legales tienen que ver con las deducciones estipuladas en el Artículo 158-2 del Estatuto Tributario, reglamentado mediante Decreto No. 3172/03.

Recuperación de ácido sulfúrico

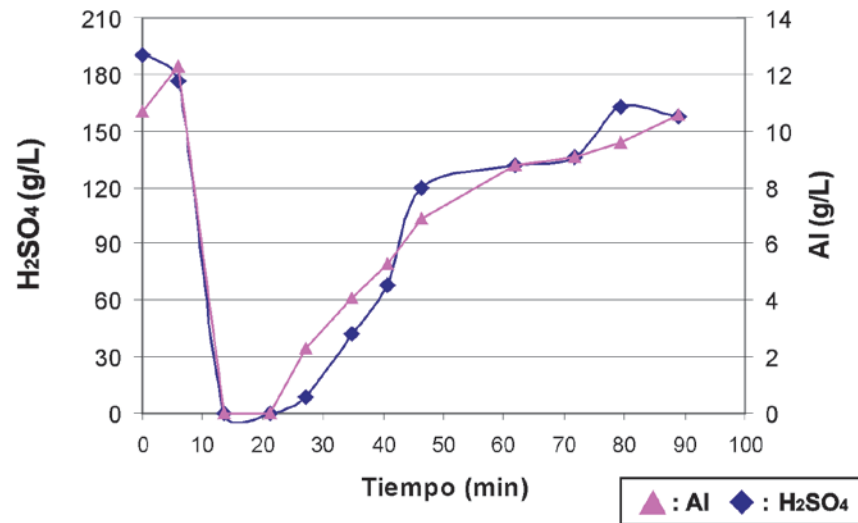
Las concentraciones de ácido y aluminio obtenidas durante los ensayos puede observarse en las gráficas 2 y 3.

Se logró verificar el adecuado desempeño del proceso de recuperación de ácido sulfúrico a través del intercambio iónico durante la regeneración en los ensayos. Se alcanzó una recuperación total del 65% con respecto a la cantidad tratada. Esto supone un beneficio en el funcionamiento del baño de anodizado, que se asocia a una disminución en los niveles de aluminio.

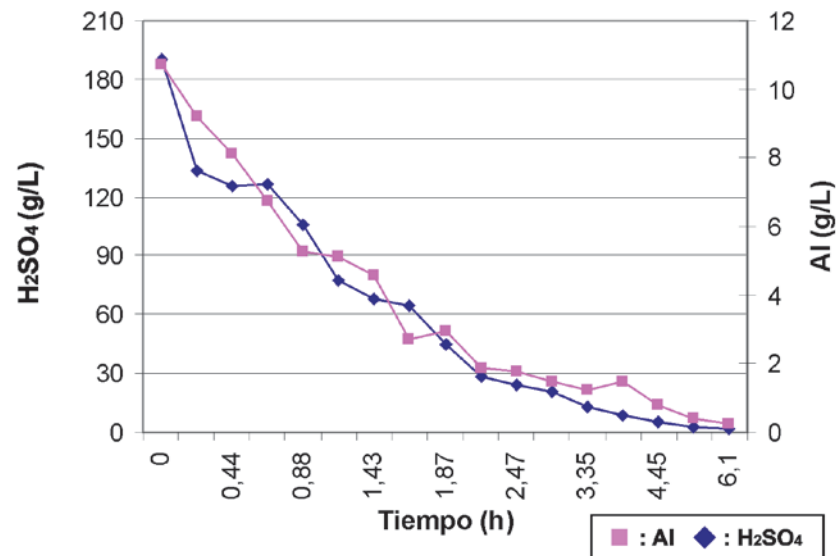
Se estima una recuperación promedio de alrededor del 50%. En la solución recirculada al baño de anodizado se detecta un nivel de aluminio del 43%. El 57% restante se divide entre un 46% separado durante el ciclo de servicio y un 11% presente en la solución diluida que resulta al final del ciclo de regeneración. Se obtuvo, en promedio, un consumo de regenerante de 2,4 litros de agua por litro de resina.

Con el sistema propuesto, las concentraciones de aluminio podrán mantenerse entre 10 y 12 g/L. Estas condiciones traen beneficios en el funcionamiento del baño, ya que se recomienda mantener una concentración óptima de 10 g/L, no menos de 5 g/L y no más de 15 g/L, para los mejores resultados del baño.⁵

**Gráfica 2. Concentración de H_2SO_4 y Al en el ciclo de servicio.
Ensayo recuperación de ácido por intercambio iónico**



**Gráfica 3. Concentración de H_2SO_4 y Al en el ciclo de regeneración.
Ensayo recuperación de ácido por intercambio iónico**



Manteniendo concentraciones bajas de aluminio (entre 10 y 12 g/L, por ejemplo) se minimiza una variable que puede afectar el balance entre resistencia, voltaje y corriente. La resistencia eléctrica aumenta de acuerdo con el espesor de la capa de óxido y con el incremento de la concentración de aluminio en la solución anódica. Para compensar este aumento en la resistencia, el rectificador de voltaje debe aumentarse para que la corriente se mantenga constante (posiblemente $> 17V$, dependiendo de las condiciones del baño).⁶

De acuerdo con lo anterior, con el sistema propuesto existe un potencial ahorro de energía que adicionalmente puede incrementarse si se mantienen las concentraciones apropiadas de ácido. Los ahorros en materia prima e insumos asociados se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Ahorros generados por la recuperación de ácido sulfúrico mediante intercambio iónico (estudio de caso)

Insumo	Ahorro (%)	Ahorros mensuales (\$)
Acido Sulfúrico	55%	4'812.500
Energía Eléctrica	5%	1'995.000
Ahorro Total		6'807.500

El porcentaje de ácido susceptible de recirculación al baño de anodizado, puede incrementarse con la optimización de procesos y equipos, mediante el uso de lechos de resinas de baja altura, partículas pequeñas de resina, regeneración en contracorriente y ciclos cortos de operación .

El potencial ahorro de energía puede incrementarse si se mantienen las concentraciones apropiadas de ácido; para el estudio de caso se estimó en un 5%. Desde el punto de vista financiero, se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 6.

Tabla 6 Resultados financieros para la recuperación de ácido sulfúrico

Variable Financiera	Sin Financiación		Con Financiación	
	Sin deducciones legales*	Con deducciones legales	Sin deducciones legales	Con deducciones legales
Valor Presente Neto (VPN)	37'409.340	171'910.187	78'559.269	213'061.116
TIR (%)	20,52		26,63	

* Las deducciones legales tienen que ver con las deducciones estipuladas en el Artículo 158-2 del Estatuto Tributario, reglamentado mediante Decreto No. 3172/03.

En los beneficios del proyecto tiene una alta incidencia la recuperación de ácido sulfúrico y los costos de los equipos.

DISCUSIÓN

En los decapados alcalinos, cuando el aluminio aumenta también lo hace el arrastre de la solución y son mayores las necesidades de soda. Por lo tanto se presenta un mayor potencial de ahorro, si se recupera soda y se separa el aluminio, en el baño que en los enjuagues, obteniéndose beneficios como:

- Disminución de la cantidad de lodos generados por una menor formación de hidróxido de aluminio, que corresponde al lodo que se produce durante el ataque químico.
- Disminución en el consumo de ácido sulfúrico para la neutralización por la menor carga de hidróxidos y de aluminio, el cual aporta una capacidad buffer al agua de salida de los enjuagues.
- Mejor control del baño al posibilitar unas condiciones constantes en el mismo.

Para lograr la recuperación de soda, tecnologías como el intercambio iónico no presenta resultados técnicos satisfactorios. De acuerdo con los resultados obtenidos, las opciones factibles para este fin son la cristalización y la precipitación de aluminio. Ya que la tecnología de precipitación de aluminio fue analizada de una manera exploratoria, es necesario un análisis más riguroso de la misma que permita arrojar resultados más ajustados en cada caso.

A través de los ensayos se determinó la factibilidad de recuperación de ácido sulfúrico del baño de anodizado por intercambio iónico.

Como alternativa de reducción en la fuente se debe optar por el control de las concentraciones en los componentes de los baños, para evitar desperdicio de materias primas, reprocesos y mayores efluentes para tratar. Este control en los decapados alcalinos de las instalaciones de anodizado es muy importante y proporciona, además de los beneficios mencionados, una menor generación de lodos.

CONCLUSIÓN

El sistema propuesto proporciona un potencial ahorro de energía que adicionalmente puede incrementarse si se mantienen las concentraciones apropiadas de ácido en el baño.

AGRADECIMIENTOS

Al Área Metropolitana del Valle de Aburrá por el aporte económico que posibilitó la ejecución del proyecto. También se reconoce la valiosa participación y aporte

técnico a las empresas del sector galvanoplastia que se convirtieron en estudio de caso para el desarrollo de la metodología de producción más limpia planteada dentro del proyecto que dio como resultado el presente artículo.

REFERENCIAS

1. IPREA, Ingeniería de procesos ecológicos del agua S.I. Recuperación de soluciones de decapado de matrices. En: Ingeniería química. No. 371, (septiembre, 2000). p 207-210
2. PUROLITE ION EXCHANGE RESINS. Effluents treatment by ion exchange with special emphasis on the galvanic industry wastes. 1998.
3. SIDASA, Equipo RECOAL-R.E.U. España.
4. IPREA, Ingeniería de procesos ecológicos del agua S.I. Recuperación de soluciones de decapado de matrices. En: Ingeniería química. No. 371, (septiembre, 2000). p 207-210
5. BRACE, A.W, Sheasby, P.G. The technology of anodizing aluminium. Technicopy limited. England. 1979. p 121.
6. PAJUNEN, PAUL et.al. Chemical recovery systems for aluminium finishers. Technical paper 129. 1999
7. ALARCO; Rafael. Recuperación de ácidos y de metales mediante resinas. En: Ingeniería química, No. 243 (junio de 1998). p 199.