



ESCUELA DE POSTGRADO

Optimización de una planta de tratamiento de efluentes líquidos de la industria del anodizado

TESIS PRESENTADA
PARA EL CUMPLIMIENTO PARCIAL DE
LOS REQUERIMIENTOS PARA EL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Paola Rodolfi
B.S. Biología Marina

Ing. Daniel Pelizzari
Ing. Químico, ITBA

Director de Carrera: Ing Julio Torti

Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Julio 2014

Índice

Resumen _____	3
Abstract _____	4
Introducción _____	5
1. Datos particulares del caso de estudio	
1.1. Partido de San Martín: características generales _____	6
1.2. Descripción del establecimiento estudiado _____	7
1.3. El anodizado _____	8
1.4. Proceso del anodizado _____	9
1.5. Composición del efluente del anodizado _____	9
1.6. Marco legal _____	13
2. Problemática _____	15
3. Cuantificación del efluente	
3.1. Datos declarados por la empresa _____	15
3.2. Cuantificación del efluente: cálculos realizados _____	17
4. Procesos de una planta de tratamiento de efluentes _____	21
4.1. Ecuación y control de pH _____	22
4.2. Coagulación – floculación _____	23
4.3. Jar test _____	24
4.4. Mezcla rápida: coagulación _____	25
4.5. Agitación _____	25
4.6. Floculación _____	26
4.7. Sedimentación _____	26
4.8. Desinfección – Cloración _____	27
5. Planta de tratamiento de efluentes industriales anterior	
5.1. Descripción _____	28
6. Desarrollo	
6.1. Problemas _____	29
6.2. Solución aplicada _____	30
6.3. Fundamentos teóricos de la solución aplicada _____	30
6.3.1. Sedimentación por placas _____	30
6.3.2. Aplicación de fosfatos _____	31
6.4. Modificaciones de ingeniería introducidas _____	33
6.4.1. Ecuación y regulación de pH _____	33
6.4.2. Coagulación – floculación _____	34
6.4.3. Sedimentador por placas inclinadas _____	35
6.4.4. Presedimentación _____	35
6.4.5. Purga de barros del sedimentador primario _____	37
6.4.6. Líquido sobrenadante del sedimentador de barros _____	37
6.4.7. Dosificación de base y ácido – ajuste de pH _____	37
6.4.8. Dosificación de cloro _____	38
6.5. Ensayos químicos efectuados _____	38
6.5.1. Análisis resultantes de la planta original _____	38
6.5.2. Jar tests realizados _____	39
6.5.2.1. Acido perclórico _____	39
6.5.2.2. Hidróxido de sodio _____	40
6.5.2.3. Carbonato de sodio _____	42
6.5.2.4 Fosfato trisódico _____	43
7. Resultado de los análisis de efluentes _____	44
Conclusión _____	45
Bibliografía _____	47
Anexos _____	51

Resumen

A partir de la necesidad de evitar el vuelco de calidades deficientes de los efluentes, se plantea una optimización de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Para este caso, se ha seleccionado una planta industrial de anodizado de metales.

Para lograr la optimización, se trabajaron dos problemas principales:

- Problemas de ingeniería: la falta de un módulo de coagulación y floculación para la eliminación efectiva de partículas sólidas suspendidas en el efluente. Además, la excesiva producción de lodo generado por el mismo tratamiento de efluente.
- Problemas químicos: el enfoque principal fue hacia la eliminación del aluminio soluble, tomando en cuenta las siguientes observaciones: concentración volumétrica y concentraciones del efluente tratado actual; detalles de la planta de tratamiento original; introducciones de las modificaciones a la planta de tratamiento; introducción del fosfato trisódico como coagulante del aluminio soluble presente en el efluente.

Como primer paso, se realizó la cuantificación del efluente y balance de masas a fin de comprobar el funcionamiento de la planta de tratamiento en cuestión. Esto permitió corroborar las adecuadas dimensiones de la planta para tratar la cantidad de efluentes generados diariamente por el proceso de producción.

Seguidamente se realizó un análisis de la estructura de la planta de tratamiento anterior u original, constatando la falta de algunos tratamientos fundamentales para eliminar ciertos contaminantes, como lo son la coagulación, floculación y sedimentación primaria.

Una vez obtenidos los datos y el análisis de los pasos mencionados más arriba, se procedió a realizar algunas modificaciones, que se pueden dividir en dos etapas:

- Etapa 1: modificaciones en la ecualización y ajuste de pH; agregado de un módulo de coagulación y floculación; instalación de un sedimentados por placas y agregado de un sedimentador de barros.
- Etapa 2: instalación de presedimentadores; aireación por sopladores y difusores de burbuja gruesa en la ecualización; modificaciones en la medición y ajuste de pH en varias etapas del tratamiento y finalmente la aplicación del fosfato trisódico para la eliminación del aluminio soluble.

El trabajo realizado durante este proyecto se basó principalmente en prueba y error, como se podrá comprobar durante el desarrollo del texto a continuación.

Abstract

In order to avoid de spillage of wastewater with deficient quality, this Project consisted mainly in the optimization of a wastewater treatment plant. For this particular study case, the selected treatment plant is from the metal anodized industry.

To achieve such optimization, two main problems were to be solved:

- Engineering problems: the lack of a coagulation and flocculation module for the effective removal of suspended particles in the liquid effluent. And on the other hand, the excessive sludge production coming from the effluent's treatment itself.
- Chemical problems: the main focus was towards the elimination of soluble aluminum, taking into consideration the following observations: volume and concentrations of the currently treated effluent; details from the original wastewater treatment plant; introduction of the modifications to this treatment plant; introduction of trisodium phosphate as a coagulant of the soluble aluminum present in the liquid effluent.

As a very first step, a study on the quantification and mass balance of the current effluent was done, in order to prove the correct operation of the treatment plant. This allowed to know that the dimensions of the plant were adequate to treat the amount of effluent generated daily by the productive process.

Following this step, an analysis of the previous treatment plant was done, which pointed out the need to include some other fundamental treatments to eliminate the presence of some pollutants, such as: coagulation and flocculation and primary sedimentation.

Once the data mentioned above was studied and analyze, the conclusion was the need to do some modifications that can be divided in two main stages:

- Stage 1: equalization and pH adjustments; installation of a coagulation and flocculation module; installation of a lamella-settling tank, following a sludge settling camera.
- Stage 2: installation of pre sedimentation tanks; blowers and coarse bubble diffusers in the equalization process; modifications in both pH adjustment and measure in a few steps and finally the use of trisodium phosphate to eliminate the soluble aluminum.

The work done during this project was based mainly on trial and error, as you will be able to discern in the following text.

Introducción

El vuelco de efluentes líquidos industriales y cloacales, en los últimos años, ha despertado la preocupación de técnicos, expertos y autoridades encargados del control ambiental (Mihelcic, 2011). Anteriormente, los efluentes de las industrias ubicadas en las cercanías de cuerpos de aguas superficiales principalmente, se volcaban directamente a los mismos sin ningún tratamiento previo. Esto trajo como consecuencia grandes impactos ambientales y sanitarios en las zonas afectadas, que hasta hoy en día no se han logrado sanear adecuadamente, y la solución al problema es una a largo plazo (Mihelcic, 2011). El mayor control de parte de las autoridades ante el vuelco de efluentes, ha mejorado la calidad de las aguas vertidas (Jaureguiberry). Sin embargo, el control debe ser permanente y estricto y debe incluir voluntad por parte de la empresa en optimizar el tratamiento previo de sus efluentes, a pesar de que signifique una inversión inicial que quizás anteriormente no era considerada como principal, pero que hoy en día forma (o al menos debería formar) parte de la gestión ambiental y social integral de todas las empresas.

Este trabajo de tesis se enfoca justamente en la optimización de una planta de tratamiento de efluentes industriales de una empresa de anodizado en el partido de San Martín, provincia de Buenos Aires y parte de la cuenca del Río Reconquista. El trabajo incluye descripciones acerca del proceso de anodizado, la caracterización de los efluentes generados y los pasos que se siguieron para la modificación de la planta de tratamiento que tenían anteriormente hasta llegar a la que tienen hoy en día. La misma se encuentra actualmente en excelente funcionamiento y generando efluentes de calidad adecuada para el vuelco según lo dictado por la legislación vigente y aplicable. Al momento de iniciar el trabajo la planta de tratamiento de efluentes líquidos no cumplía con los valores de concentración de aluminio y otros parámetros requeridos por la legislación. En una primera etapa se introdujo una fase de coagulación y floculación como siguiente paso a la pileta de equalización primitiva y se cambió el sedimentador primario con el que contaban por un sedimentador de placas inclinadas, obteniendo un reordenamiento parcial de la planta. Se comenzaron a calcular los caudales para el correcto funcionamiento de la misma. Debido a estas modificaciones, la planta de tratamiento mostró una mejora significativa en ciertos parámetros y una leve mejora en cuanto al cumplimiento de parámetros para el aluminio, ya que aún los valores daban fuera de rango. Por otra parte, y a pesar de estas correcciones, la planta de tratamiento generaba un gran volumen de lodos que generaban una desmejora en la eficiencia operativa de la planta. Estos lodos eran y son retirados y dispuestos por *landfarming*. El *landfarming* consiste en la aplicación controlada de residuos sobre el suelo, lográndose una degradación biológica y química de los mismos.

En una segunda etapa se introdujo la dosificación de fosfato trisódico como ayudante de coagulación, logrando el ajuste final del valor del aluminio en el efluente tratado y reduciendo el volumen de lodos generado en el módulo principal de la planta de tratamiento con una disminución de un 10/100.

1. Datos particulares del caso de estudio

1.1. Partido de San Martín: características generales

Es uno de los 135 partidos que conforman la provincia Argentina de Buenos Aires. Se encuentra en pleno cinturón de conurbación con Buenos Aires, limita al norte con Tigre, al noreste con San Isidro y Vicente López, al este con Buenos Aires, separado por la Av. Gral. Paz, al sudoeste con 3 de Febrero y al noroeste con San Miguel

Es el tercer distrito más altamente poblado, y según datos del INDEC el crecimiento poblacional en los últimos años se ha dado de la siguiente manera (HCD San Martín, 2004):

- Población 1991: 406.809 habitantes
- Población 2001: 403.107 habitantes
- Población 2010: 422.830 habitantes (Wikipedia, 2012)



Figura 1. Ubicación partido de San Martín.

El 10 de Junio de 1988, el Honorable Concejo Deliberante de General San Martín, sanciona la ordenanza N° 3358/88, promulgada por el decreto N° 2589/88, la cual establece: “Declarar a la ciudad de San Martín, perteneciente a partido homónimo, “Capital de la Industria”” (HCD San Martín, 2004). Para finales de la década de 1980, San Martín representaba la primera concentración Argentina de la Pequeña y Mediana Empresa y producía el 3% del PBII (Producto Bruto Interno Industrial) a nivel nacional. El partido se encuentra bañado por el río Reconquista, que recorre por 82km hasta desembocar en el Río de la Plata (HCD San Martín, 2004). La flora y la fauna del lugar fueron modificadas debido al establecimiento de industrias y la construcción de la represa Roggero que modificó el ecosistema circundante (Álvarez, 2005). La vida acuática ha sido condicionada por la contaminación y la vida silvestre del lugar ha bajado tanto en cantidad como en diversidad. Hoy en día el Río Reconquista es el segundo río más contaminado de la Argentina, siendo el primero el Riachuelo (Álvarez, 2005). Sus aguas poseen excesivas cantidades de metales pesados y microorganismos patógenos provenientes de varios tipos de industrias asentadas en el lugar (Álvarez, 2005). La situación ha llegado a tal punto que la contaminación resulta evidente a simple vista y es detectable debido a los desagradables olores que se sienten a cientos de metros de la orilla del río.

1.2. Descripción del establecimiento estudiado

La tabla a continuación resume los datos generales de la planta industrial de TDA Anodizado. Estos sirven como introducción al desarrollo del texto a continuación:

Tabla 1. Datos generales de la planta industrial.

Planta Industrial TDA Anodizado		
Descripción Literaria	Fabricación de productos metálicos y anodizado de aluminio	
Fecha de instalación del establecimiento	27 de Agosto del 2007	
Cantidad de personal empleado de fábrica	46	
Cantidad de personal empleado de oficina	8	
Superficie Total m ²	10.576,96	
Superficie cubierta m ²	9.489,10	
Superficie libre	1.915,72	
Días trabajados por semana	lunes a sábado	
Horario laboral	lunes a viernes de 6:00 a 18:00 horas	
Horario Planta de Tratamiento	Continuo	
Horario entre parada de planta y nuevo arranque	vi 18:00 hs a lu 06:00 hs	
Turnos	1	
Piezas anodizadas (anual)	2.837,77 toneladas	
Materias utilizadas en la elaboración	Soda cáustica	187.300 litros
	Acido Sulfúrico	83.529 litros
	Acido nítrico	30.726 litros
	Pintura en polvo	29.973 kg
	Agua destilada	1.066.000 litros
Descargas de efluente líquido	Río Reconquista	96 m ³ /día
	Pozo Absorbente	10,80 m ³ /día
Captación agua subterránea	Dos pozos de 60 metros de profundidad	
	Pozo 1	7m ³ /h / 12 horas diarias/ 7 días por semana
	Pozo 2	17m ³ /h/ hasta 12 horas diarias / 1 día por semana

1.3.El anodizado

El proceso de anodizado es un proceso electrolítico para aumentar el espesor de la capa de la superficie de materiales metálicos, conocido como pasivado. Generalmente se realiza sobre superficies de aluminio, recubriéndola con una capa de protección artificial constituida por óxido de aluminio (alúmina). De acuerdo al espesor de esta capa se obtienen diferentes niveles de resistencia a los agentes externos que pueden dañar el material base haciéndolo más resistente a la erosión y a la corrosión (TDA Anodizado). El proceso de anodizado involucra varios pasos. La base para un buen pasivado es la preparación del material. Las grasas y los aceites del material son removidos de forma previa en soluciones alcalinas débiles y soluciones ácidas fuertes luego de las cuales se enjuaga el material en agua de red potable.

Una variedad de ácidos pueden ser utilizados. Para el caso estudiado, se utiliza ácido sulfúrico, resultando en un capado relativamente suave. La temperatura de la solución es regulada de acuerdo a las propiedades que se desean obtener sobre el material. Por ejemplo, a 20°C una solución de ácido sulfúrico resultaría en un capado suave y transparente, mientras que a 5°C se obtiene un capado duro y denso, de color más oscuro (Hurtado, 2007).

Una corriente eléctrica es pasada por el aluminio, el electrolito y el cátodo. Durante esta aplicación, el agua en la solución electrolítica se descompone y el oxígeno se deposita sobre la superficie de aluminio. El oxígeno al combinarse con el aluminio forma una película de óxido sobre la superficie. Cuando el espesor deseado de la película es alcanzado, la pieza se enjuaga nuevamente para remover los ácidos residuales. El proceso de pintura, opcional al final del proceso de anodizado en sí, se realiza por tres posibles métodos (TDA Anodizado):

- Tinturas de superficie o pigmentos: el aluminio anodizado es bañado en una pileta con tintas orgánicas o pigmentos inorgánicos. El colorante es absorbido por los poros del material. La desventaja es que la mayoría de los colores orgánicos son afectados por factores externos como la radiación UV. Existen pocos pigmentos inorgánicos que son resistentes a estos factores pero que no son aceptados desde el punto de vista ambiental.
- Color integral: con este método los colores son aplicados por un proceso electroquímico. El color resulta de los elementos haloideos del metal, la solución electrolítica, la temperatura y la densidad. La pieza es sumergida en un electrolito especial bajo condiciones eléctricas y temperaturas controladas por varios períodos de tiempo para obtener el color deseado.
- Deposición electrolítica: metales naturalmente estables y partículas de óxidos metálicos son depositadas por un proceso electrolítico en la base de la película porosa del anodizado. El color es generado por el relleno de estos poros.

Para el caso de estudio, el método final de pintura es el de color integral donde se regulan sobre todo la temperatura y la solución, determinando el color por las variaciones en las mismas y los períodos de tiempo se sumersión.

1.4. Procesos del anodizado

El proceso de anodizado descripto más arriba se lleva a cabo en un proceso continuo dentro de bateas con soluciones específicas para cada paso y con capacidades aproximadas de 23m³ y otras de menor volumen, con una capacidad de 11,5m³. Las bateas tienen un sistema de rebalse por donde el agua sucia se remueve, va a la planta de tratamiento y finalmente a los desagües. Además, tienen una boca de entrada por la que entra el agua de red y otra para el ingreso de agua subterránea bombeada. (Ver Anexo, Tabla 1. Procesos llevados a cabo en cada batea, su contenido, capacidad y características).

Más adelante se calculó el balance de masas para comprobar que la cantidad de agua consumida, coincida con los efluentes generados. Este equilibrio indica el correcto funcionamiento del proceso productivo, como también el de la planta de tratamiento de efluentes.

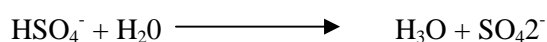
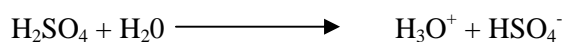
1.5. Composición del efluente de anodizado

Como está ilustrado en el Anexo Tabla 1, el efluente generado por el proceso de anodizado puede contener una gran variedad de compuestos, que van desde ácidos fuertes, a bases y hasta compuestos químicos complejos para el proceso de anodizado en sí. A continuación se describen las características de los componentes más relevantes del efluente para demostrar el potencial daño que el mismo puede generar en el medio ambiente. Algunas concentraciones de estos compuestos, aunque no sean controlados por la legislación, debido al tipo de desagüe, se mencionan por motivos de formar parte de la caracterización del efluente estudiado.

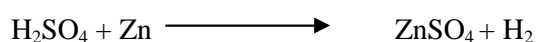
Ácido Sulfúrico

El ácido sulfúrico se encuentra en la producción de detergentes, decapado de metales o en la producción de ácido para las baterías eléctricas. Se utiliza además para la producción de fertilizantes, en refinerías de petróleo y en depuración de aguas residuales en muy pequeñas cantidades.

Este ácido tiene propiedades muy corrosivas y una prolongada exposición al mismo puede provocar corrosiones para cualquier tejido del cuerpo humano. Es el indicador de las capacidades industriales alrededor del mundo. Es notablemente económico ya que cada paso del proceso es exotérmico. El ácido sulfúrico es un ácido diprótico fuerte, es decir que tiene dos hidrógenos para donar electrones (Whitten, 1991):



Reacciona con la mayor parte de los metales para formar sulfatos liberando H₂.



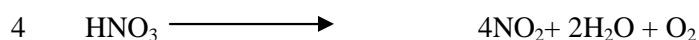
En el proceso de anodizado el ácido sulfúrico es aplicado en el proceso de neutralización y en el proceso de anodizado, en las etapas finales. En estas bateas se trabaja a temperatura ambiente y cercanas a la misma respectivamente (TDA Anodizado). El manejo del ácido sulfúrico a temperatura ambiente, provoca su constante recambio y por lo tanto una mayor generación de contaminante.

El ácido sulfúrico en agua se disocia y su anión se asocia con otros iones como calcio, magnesio y aluminio. La presencia de ácido sulfúrico en las aguas subterráneas y superficiales presentan niveles de eco toxicidad para el ambiente y su contacto con los organismos tiene efectos letales (Guía Mina y Ambiente, 2004).

Existen tecnologías para reducir la carga contaminante y reciclar el ácido sulfúrico en los efluentes de decapados metálicos, como la técnica de retardo iónico, pero no se entrará en detalle de la misma en este trabajo. Aún neutralizado, la presencia de sulfatos puede ser inconveniente en determinadas concentraciones. En Provincia de Buenos Aires existen límites de descarga de sulfatos y sulfuros a desagües a colectores cloacales debido a sus efectos corrosivos sobre materiales y efectos tóxicos para la salud humana. Para este caso, los límites de descarga son NE (No Establecido) ya que el desagüe es a conducto pluvial.

Acido Nítrico

Es conocido por ser un ácido inestable cuando expuesto a altas temperaturas. Se descompone en (Guía Mina y Ambiente Colombia, 2004):



Es además, un ácido monoprótico, por eso produce sales neutras como lo son los nitratos. El ácido nítrico se disocia muy fácilmente, propiedad que le permite actuar eficazmente sobre los elementos, es decir es un ácido fuerte. Es un fuerte oxidante con acción sobre metales y no metales.

Tomando como comparación, la Directiva de Nitratos de la Unión Europea fija la cantidad máxima de nitritos en aguas a 0,03 mg/l (UE Medio Ambiente, 2010). Los nitritos no son aceptables en aguas potables. Proceden de la oxidación incompleta del amoníaco y de la reducción bacteriana incompleta de nitratos. En forma de iones, el nitrógeno es perjudicial para los mamíferos.

Los nitratos se pueden transformar en nitritos en función de reacciones químicas y biológicas del aparato digestivo de los seres vivos. Los nitritos pasan rápidamente a la sangre y se adhieren a la hemoglobina impidiendo la oxigenación de los tejidos. Esta enfermedad, conocida como metahemoglobinemia (Fernández-Frackelton, et.al.,2009) perjudica principalmente a los niños. Los iones nitritos pueden formar compuestos nitrogenados en la sangre, que en elevadas cantidades pueden resultar cancerígenos.

Se hace notar que en la resolución 336 hay cierta confusión en este tema del nitrógeno, para explicar se deben hacer algunas consideraciones sobre su impacto en los cuerpos receptores:

a) Las bacterias transforman fácilmente el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y, en presencia de O_2 , el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrito y rápidamente en nitrato (nitrificación), que es la forma más oxidada de nitrógeno que se encuentra en el agua. Esto ocurre tanto en cuerpos eutrofícables como no eutrofícables, y en ambos casos resulta en un consumo de O_2 , por cual es habitual que las reglamentaciones de vuelcos impongan límites al N orgánico y al NH_3 (amoníaco).

b) En caso que el cuerpo receptor desemboque en un sistema estanco o semiestanco provoca que las algas crezcan rápidamente (se aclara que esto no es el presente caso, pues el efluente desemboca aguas debajo de la represa Roggero). Durante este rápido crecimiento y consecuente mortalidad, aumenta la carga orgánica del cuerpo y el NH_3 y por lo tanto aumenta también el consumo de O_2 (mucho más que en un cuerpo no estanco). Estas aguas pueden llegar a condiciones anóxicas y aún anaeróbicas y no aptas para la mayor parte de los seres vivos. Este proceso se denomina eutroficación . El contenido de P, también normalmente limita el crecimiento de algas, es otro factor importante para la eutroficación de cueros estancos o semiestancos.

Cuando la Resolución N° 336 habla de Nitrógeno Total, en realidad se refiere al citar el método analítico a Nitrógeno Total Kjeldhal, el cual incluye nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal, pero excluye nitratos y nitritos. Esta interpretación se ve reforzada por los mismos límites cuantitativos [$35 (NT) = 25 (NH_3) + 10 (N \text{ orgánico})$]. Por lo tanto la nota (d) de la misma tabla de la resolución 336 es aplicable solamente a fósforo y no al NTK ni al NNH_3 , o sea que vale el límite de 35 pero para NTK, y no se requiere límite a nitratos (la interpretación más conservadora sería que sólo se requiere límite para NT en condiciones de eutroficación) . Tampoco se requiere límite al fósforo, dada la ubicación de la descarga al Río Reconquista (aguas abajo de la represa Roggero) Por lo tanto en las tablas donde se indica las calidades de efluentes , donde dice nitrógeno total, se refiere a NTK y no a NT.

Soda cáustica

El hidróxido de sodio es utilizado en el desengrase alcalino del proceso de anodizado. A temperatura ambiente, tiene un aspecto sólido y un color blanco cristalino, inodoro y absorbe la humedad del aire. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido, desprende una enorme cantidad de calor, suficiente para encender materiales combustibles (Quimnet, 2008). Es una base muy corrosiva y su uso general es para el desengrasado.

Aluminio

Una de las propiedades más importantes del aluminio es su resistencia a la exposición a la intemperie. El aluminio por sí solo, es un elemento muy reactivo y su oxidación se agiliza al estar expuesto al medio externo (Arpal Alu, n.e.).

El aluminio es un elemento metálico de color blanco que no se encuentra puro en la naturaleza, sino que forma compuestos como: bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ o $\text{Al}_3\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$), criollita (Na_3AlF_3), alunita ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2\text{OH}_2$), leucita (KAlSi_2O_6) (Lenntech, 1998-2014). Actualmente, el aluminio se extrae mediante electrólisis del óxido de aluminio, a su vez extraído de la bauxita.

Este metal es resistente a las acciones del ácido nítrico y otros ácidos orgánicos. Es un medio oxidante, por lo cual los materiales cubiertos de aluminio no se oxidan. Esta propiedad lo hace el segundo metal más utilizado del mundo, después del hierro. Durante muchos años de uso de este metal en la industria, se consideró inocuo para el ser humano y se fabricaron muchos utensilios diarios de aluminio (Arpal Alu, n.e.). Sin embargo, su impacto en los sistemas biológicos ha generado controversia en las últimas décadas, y se han dedicado investigaciones sobre sus efectos adversos en plantas, animales y seres acuáticos. La exposición ocasional al aluminio no genera efectos adversos, pero estos efectos son visibles a niveles de exposición mayores. La exposición al aluminio se genera cuando: se consumen medicamentos con altos contenidos de aluminio, se inhala en la zona de trabajo, se vive en zonas de extracción, se ingieren alimentos preparados sobre superficies de aluminio.

Productos químicos complejos

- **P3 Almeco:** existen varios tipos que difieren en pequeñas cantidades en cuanto a la composición pero el uso es el mismo; desengrase y limpieza de las piezas de aluminio. El P3 Almeco 18 es un desengrasante alcalino compuesto de boratos, carbonatos, fosfatos y surfactantes no iónicos. Se usa a una temperatura de aproximadamente 70 °C. P3 Almeco 46 contiene sustancias alcalinas, alcoholes y sales de ácidos inorgánicos. La temperatura de máximo rendimiento de este producto es 65 °C aproximadamente. P3 Almeco 90 contiene sales de ácidos inorgánicos (Chemicalcontacts, 2009). La temperatura depende de la mezcla de compuestos utilizada y del resultado que se quiere obtener.
- Sallox C 200: es una premezcla, utilizada en solución, compuesta de sulfato de estaño y aditivos para facilitar la electro coloración. Tiene correctas proporciones de sulfato y de aditivos para estabilizar el baño de coloración (Ital Tecno, 2000), lo cual facilita el manejo y el almacenamiento del mismo.
- MG 43
- LL Neutrón
- Hardwall N°1
- Hardwall F

Existe un mínimo de contenido de detergentes por el lavado de los pisos del establecimiento que también termina en el desagüe pluvial. A pesar de ser una cantidad mínima, se tienen bajo control mediante los análisis realizados periódicamente. No han presentado un problema significativo en las descargas.

Se utilizan desengrasantes para el tratamiento de las piezas pero no contienen ninguna traza de metal significativa para tener bajo control.

1.6.Marco Legal

La legislación Argentina, a nivel Nacional y a nivel Provincial y Municipal, contiene leyes y normativas dedicadas a la protección y conservación de los recursos hídricos. Prevalciendo entre estas, aquella con los parámetros más estrictos. Partiendo desde la Constitución Nacional, el Artículo 44° manda: “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales”.

La ley Nacional 25.688 del Régimen de Gestión Ambiental de Aguas establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación, aprovechamiento y uso racional. En su Artículo 5° especifica que la utilización del agua incluye la toma o desviación de aguas superficiales, estancamiento, modificación de flujo o profundización de las aguas superficiales, la colocación, introducción o vertido de sustancias a aguas superficiales siempre que tal acción afecte la calidad del agua o su escurrimiento, las acciones aptas para provocar permanentemente o en una medida significativa, alteraciones de las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua, entre otras características. Es competencia de la autoridad nacional fijar los límites máximos de contaminación y fijar parámetros y estándares ambientales de calidad de las aguas.

Las leyes provinciales, aplicables en este caso en particular, ya que el caso en cuestión se ubica en el partido de San Martín, Provincia de Buenos Aires, incluyen la Ley N° 12.257 que establece el Régimen de protección, conservación y manejo de los recursos hídricos en la Provincia de Buenos Aires, conocido también por el Código de Aguas. Mediante el Artículo 3° de esta ley se crea la Autoridad del Agua que asume el poder de policía para la conservación de las aguas en la Provincia de Buenos Aires. El Artículo 4° describe las funciones de la Autoridad del Agua: “Reglamentar supervisar y vigilar todas las actividades y obras relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación del agua. Para cumplir esa función establecerá las especificaciones técnicas que deberán satisfacer las observaciones y mediciones, la recopilación y publicación de información hídrica, las

labores, las obras y la prestación de servicios a terceros (...).” Dentro de este marco, se incluye la Ley Provincial N° 5.965 para la protección de las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. En su Artículo 2° especifica que: “Prohíbese a las reparticiones del Estado, entidades públicas y privadas y a los particulares, el envío de efluentes residuales sólidos, líquidos o gaseosos, de cualquier origen, a la atmósfera, a canalizaciones, acequias, arroyos, riachos, ríos y a toda otra fuente, cursos o cuerpo receptor de agua, superficial o subterráneo, que signifique una degradación o desmedro del aire o de las aguas de la provincia, sin previo tratamiento de depuración (...).” Esta última, otorga a las Municipalidades correspondientes, el poder de emitir permisos y multas ante cualquier infracción de lo mencionado por el Artículo anterior, o de cualquier otra disposición de dicha ley.

Para este caso de estudio y tratándose de la Provincia de Buenos Aires, el ADA es la autoridad de aplicación y los parámetros de vuelco se dictan por la Resolución N° 336/2003 que es una modificatoria de la Resolución 389/1998. Esta última establece las normas de calidad de los vertidos líquidos residuales y/o industriales a los cuerpos receptores. Contiene Anexos que indican los parámetros a controlarse y sus límites permisibles.. (Ver anexos 2 y 3 de la Resolución N° 336)

El nivel de riesgo mencionado en el Anexo 1 de la Resolución, se refiere al Nivel de Complejidad Ambiental, relativo a la contratación del Seguro Ambiental. Para el cálculo de nivel de riesgo se tienen en cuenta los riesgos específicos de la actividad, que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante, asignando una puntuación por cada uno. La industria del anodizado pertenece a un Nivel de Riesgo de valor total 4.

La columna resaltada en rojo en el Anexo III, indica los parámetros que se deben cumplir para poder volcar el efluente al desagüe pluvial. El efluente en este caso desemboca al Río Reconquista, aguas debajo de la represa Roggero, evitando así cuerpos semi estancos de agua. El vuelco a un cuerpo fluente evita consecuencias significativas que ciertos parámetros podrían tener como la eutroficación. Los parámetros que fueron atendidos en primera instancia fueron la DQO y la DBO₅ del efluente, que lograron adecuarse a los valores de la Resolución debido a la modificación de la ingeniería de la planta. También se controlaron los diferentes metales utilizados en el proceso de anodizado que gracias al uso de coagulantes se mantuvieron en regla. Sin embargo, el parámetro de más incidencia fue el aluminio cuyas cantidades se medían en gramos/litro de efluente mientras que la legislación permite solamente cantidades de <2,0 miligramos/litro, valor significativamente inferior.

2. Problemática

Para este caso de estudio, el problema reside en el cumplimiento legal para el vuelco de efluentes a desagüe pluvial. Los parámetros que necesitaron control y a los cuales se aplicaron diversos ensayos de tratabilidad para llegar a la solución, fueron principalmente el aluminio soluble en conjunto con el pH del efluente debido a su variabilidad y a la constante

aplicación de floculantes y ayudantes que requieren dosis diferentes del mismo según el pH para lograr el óptimo funcionamiento de la planta. En primer lugar se realizaron modificaciones de ingeniería para la optimización de la planta de tratamiento principalmente debido a

- falta de un módulo de coagulación y floculación para la eliminación de partículas suspendidas y fuera de rango
- excesivo volumen de lodo producido por el tratamiento del efluente.

En primera instancia se pensó que estas modificaciones de ingeniería ayudarían a eliminar el problema del aluminio, pero luego de los primeros análisis realizados que dieron valores de Aluminio sustancialmente elevados y muy por fuera del rango permitido por la Resolución N° 336, se optó por un segundo enfoque en el cual se plantea una solución química para eliminar el aluminio soluble del efluente.

Debido a los caudales irregulares del proceso, se toman en cuenta las siguientes observaciones:

- Cuantificación volumétrica y concentraciones del efluente tratado actual
- Detalles de la planta de tratamiento inicial,
- Introducción de las modificaciones de la planta de tratamiento,
- Introducción del fosfato trisódico como coagulante del aluminio soluble presente en este efluente.
-

3 Cuantificación del efluente

3.1 Datos declarados por la empresa

El uso principal del recurso hídrico es de uso consuntivo humano – industrial. Es decir para abastecer las necesidades sanitarias y las del proceso industrial en sí. De acuerdo al proceso de anodizado llevado a cabo en esta empresa en particular, se cuantificó el efluente en cada batea y los totales semanales. Se resaltan además los orígenes de provisión de agua para cada batea y para el consumo en general. Cabe destacar la verosimilitud de estos datos ya que las mediciones realizadas son estimativas. En el caso de las bombas se realizaron de acuerdo a lo indicado en las placas correspondientes. . Para las bateas se utilizó la cubicación de las mismas Para el agua de red, se utilizó la información prevista por el medidor del proveedor, AySA. El agua tratada por la planta se estimó mediante el volumen de descarga por el volumen de cada cuba y por el tipo de cuba.

Tabla 2. Cuantificación del efluente por bateas de producción

Bateas	Volumen	Renovación	Abastecimiento
1	23m ³	4 meses	Red
2	23m ³	Semanal	Pozo
3	23m ³	4 meses	Red
4	23m ³	Semanal	Pozo
5	23m ³	4 meses	Red
6	23m ³	Semanal	Pozo
7	23m ³	Semanal	Pozo
8	23m ³	4 meses	Red
9	23m ³	Semanal	Pozo
10	11,5m ³	3 meses	Red
11	23m ³	Semanal	Pozo
12	11,5m ³	3 meses	Red
13	23m ³	Semanal	Pozo
14	23m ³	Semanal	Pozo
15	23m ³	4 meses	Destilada
16	23m ³	Semanal	Pozo
17	-	-	-
18	23m ³	Semanal	Pozo
19	23m ³	Semanal	Pozo
20	23m ³	4 meses	Destilada
21	23m ³	Semanal	Red
22	23m ³	4 meses	Destilada

El agua de pozo constituye la principal fuente de abastecimiento de agua a pesar de que la empresa está conectada a la red de Aguas y Saneamientos Argentinos S.A. Los dos pozos están equipados con dos bombas. Siempre de acuerdo a lo declarado, el pozo 1° aporta un caudal diario de 7m³/h por 12 horas de trabajo diarios los 7 días de la semana, mientras que el pozo 2° cuenta con un caudal de 17m³/h y se utiliza por hasta 12 horas solamente 1 día a la semana (domingo 18:00 hs a lunes 6:00) hs para apoyar la recarga de agua en las piletas. El caudal medio diario de ambos pozos alcanzaría los 113 m³/día . El cambio completo de las bateas se realiza los días viernes 18:00 hs a lunes a las 6:00 hs, ya sean cambios de

frecuencia semanal , trimestral o cuatrimestral. Cabe destacar que cada batea cuenta durante el período de producción (lunes 6:00 hs a viernes 18 :00) con un sistema de rebalse por el cual el agua sucia es llevada a la planta y se renueva con el agua de pozo o de red.

Tabla 3. Caudales de pozos. Según declaración

Pozos	Caudal	Horas por día	Días por semana	Promedio diario
1	7m ³ /h	12	7	113m ³ /día
2	17m ³ /h	12	1	

Tabla 4. Caudales medios diarios y semanales de los dos orígenes. Según declaración

	Caudales medios diarios	Caudales medios semanales
Subterránea	113 m ³ /día	792 m ³ /semana
AySA	11 m ³ /día	77 m ³ /semana
Total	124 m ³ /día	869 m ³ /semana

El agua abastecida por la red de AySA es de 698m³ en 60 días. El promedio diario sería de 11 m³/día. Teniendo los valores declarados de agua de pozo y agua subterránea se calcula que el abastecimiento de agua total es de 124 m³/día. Los desagües cloacales declarados son de 10 m³/día, con un caudal pico de 11 m³/día. Las bateas se renuevan en totalidad durante el fin de semana, cambiando el volumen total de las bateas ya sea con una frecuencia semanal , trimestral o cuatrimestral como indicado en la tabla N° 4.

3.2. Cuantificación del efluente - Cálculos realizados

Los datos detallados a continuación, son cálculos que fueron realizados en base a los metros cúbicos de las bateas, los caudales de las bombas y los cambios realizados ya sean por semana, cuatrimestrales o trimestrales. Estos se realizaron para comprobar el balance de masas entre el consumo de agua y los efluentes generados. Si estos valores no están en equilibrio, podrían ser parte del problema de un mal funcionamiento de las infraestructuras productivas, mal funcionamiento de la planta de tratamiento, mal distribución del consumo de agua, etc. A la vez, esto podría llevar a gastos extras por el consumo del recurso hídrico, así como también al uso no sustentable del recurso. La tabla a continuación, muestra cada una de las bateas con el volumen de rebalse que va a la planta de tratamiento y las reposiciones de

cada una. Detalla el consumo “real” de agua de la empresa, calculado por métodos matemáticos sencillos.

Tabla 5. Reposición de bateas y rebalse.

	m ³			m ³	m ³ /d las de circulación	repo básica domingo	m ³ domingo de red	m ³ domingo de destilada
1	23m ³	4 meses	Red	23	1.7		23	
2	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
3	23m ³	4 meses	Red	23	1.7			
4	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
5	23m ³	4 meses	Red	23	1.7			
6	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
7	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
8	23m ³	4 meses	Red	23	1.7			
9	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
10	11,5m ³	3 meses	Red	11.5	0.85			
11	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
12	11,5m ³	3 meses	Red	11.5	0.85			
13	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
14	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
15	23m ³	4 meses	Destilada	23	0.85			23
16	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
17	-	-	-					
18	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
19	23m ³	Semanal	Pozo	23	7.6	23	23	23
20	23m ³	4 meses	Destilada	23	0.85			
21	23m ³	Semanal	Red	23	1.7	23	23	23
22	23m ³	4 meses	Destilada	23	0.85			

Indicadores: las celdas en amarillo representan las bateas que utilizan agua de red, las celdas en verde utilizan agua de pozo y las celdas en azul utilizan de agua destiladas. Las últimas tres columnas muestran la frecuencia de los cambios de bateas, ya sea por semana o alternadamente cada 4 o 3 meses. De lunes a viernes se genera efluente de producción y se llenan las bateas mientras que el sábado y gran parte del domingo descargan. La última parte del domingo comienzan la recarga de las bateas. Ahora bien, si realizamos el cálculo del consumo de agua y de los efluentes generados, en base a los volúmenes de las bateas, del caudal de los pozos y del volumen de efluente tratado por la planta de tratamiento, se obtienen los números a continuación.

Los 96m³ diarios (en el período productivo) que llegan a la planta de tratamiento, provienen del rebalse de las bateas de producción. Como las bateas que utilizan agua de

pozo tienen circulación constante, se asumió que tienen mayor rebalse que las bateas que utilizan agua de red o agua destilada. Teniendo cinco bateas de 23m³ con agua de red, dos bateas de 11,5m³ con agua de red, once bateas de 23m³ con agua de pozo circulante y tres bateas de 23m³ con agua destilada, se obtuvieron los consumos finales indicados en la tabla.

Si analizamos los valores que corresponden a un día de lunes a viernes, los que corresponden a un domingo donde solo se cambian las bateas de reposición semanal o un domingo donde además se cambia una de las trimestrales o cuatrimestrales, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 6. Consumos para el agua de red.

RED		m ³ d de circulación	m ³ reposición de domingo normal - agua de red	m ³ extra de domingo con cambio extra- agua de red
En dos meses	Red	10.2	23	23
	43 días hábiles	439		
	8 repo. Normal		184	
	3 repo. Extra			69
	total m ³ industriales	692		
	m ³ sanitarios	206		
	TOTAL m³	898		

Tabla 7. El consumo sanitario surge de estimar una dotación de 0,08 m³/persona día.

Consumo sanitario	
promedio personas	50
m ³ /día/persona	0.08
m ³ /día	1
m ³ /h en 12h/día	0.33
m ³ en 8.6 semanas de 6d/semana	206

Tabla 8. Consumo de agua de pozo.

En dos meses		m ³ /d las de circulación	m ³ repo domingo normal agua de pozo
	Pozo	83.6	253
	43 días háb	3595	
	8 repo normal		2024
	total m ³	5619	

Tabla 9. Consumo de agua destilada.

En dos meses		m ³ /d las de circulación	m ³ extra domingo c/cambio extra destilada
	Destilada	2.55	23
	43 días háb	109.65	
	2 repo extra		46
	Total m3	155.65	

Con respecto al aprovisionamiento de agua, los valores de agua de pozo son consistentes con lo provisto por los dos pozos existentes, uno de los cuales funciona como base de lunes a domingo y el otro sólo los domingos.

Tabla 10. Consumo de agua de pozo.

Aporte	Pozo 1		Pozo 2
	lu a vi	domingo	domingo
m ³ /h	7	7	17
h/d	12	10.5	10.5
m ³ /d	84	73.5	178.5
TOTAL m³/d	84	252	

En cambio, se observa que los valores de agua de red difieren entre lo facturado por AySA en un período de 2 meses, que es de 698m³, y lo calculado para ese periodo, que son 692m³ para uso industrial + 206m³ para “consumo sanitario” = 898m³

Una hipótesis posible es que las declaraciones del volumen de consumo de agua y de generación de efluentes, se realizaron a principios de la instalación del establecimiento cuando aún la producción no requería del consumo de agua que tienen hoy en día. Y además los valores se obtuvieron haciendo cálculos promedios, sin necesariamente tener la precisión de caudalímetros que indiquen los valores actuales. La declaración aproximada del consumo, fue hecha estimativamente.

Si lo analizamos desde el punto de vista de los efluentes, cabe esperar (despreciando arrastres y evaporación) de lunes a viernes: 10,2 m³/d provenientes de las bateas de agua de red + 83,6 m³/d provenientes de las bateas de agua de pozo + 2,6 m³/d provenientes de las bateas de agua destilada; total 97 m³/d.

Los efluentes industriales no se mezclan con los efluentes generados de uso sanitario. Por lo que la capacidad de la planta de tratamiento es solo para los efluentes de producción, mientras que los efluentes domiciliarios van a un desagüe cloacal, sin afectar el volumen de equalización de la planta de tratamiento.

Los días de producción se descargan a la pileta ecualización aproximadamente 96 m³/d, que se procesan a razón de unos 4 m³/h durante las 24 hs (hasta el día siguiente a las 06:00). Desde el Sábado a las 06.00 hasta el domingo a las 18 hs se procede a descargar gradualmente las bateas (en aproximadamente 36 hs); el volumen de descarga es , cuando toca también batea extra, de 276 m³, a razón de 7,6 m³/h; cuando no toca batea extra se descargan 253 m³/h a razón de 7 m³/h.

Con estos cálculos entonces, así cierran los números para la reposición y descarga de efluentes:

Tabla 11. Reposición de agua de pozo y horas de recarga de las bateas que utilizan agua de pozo.

En domingo se repone pozo	253	m ³ /d
Entre ambos pozos aportan	24	m ³ /h
hs de "recarga"	10.5	hs

Tabla 12. Horas de parada de la planta y horas de descarga el sábado y domingo.

hs totales entre stop/arran	48
hs de descarga	37.5

Tabla 13. Descargas de agua de red y descargas totales con el horario diario promedio de descarga.

Por otro lado, de red o destilada		
Se descarga	23	m ³ /d
Total descarga	276	m ³ /d
Descarga horaria avg	7.37	

4. Procesos de una planta de tratamiento de efluentes

En general podemos decir que los procesos de tratamiento involucrados en una planta de tratamiento convencional para este tipo de industrias incluyen total o parcialmente las siguientes etapas (Jaureguiberry).

4.1. Ecuación y control de pH

El proceso de ecuación es utilizado para atenuar las variaciones de caudal, la concentración de contaminantes, control de pH y en general acondicionar el efluente para las siguientes etapas de tratamiento. En general y sobre todo en plantas industriales, el efluente presenta características no estacionarias, es decir que los parámetros fisicoquímicos son muy variables en el tiempo. Los principales objetivos de la ecuación son:

- ajustar o disminuir la variabilidad del caudal de los líquidos residuales,
- atenuar la presencia de contaminantes no habituales,
- ecuación las concentraciones.

Dependiendo del caudal de líquido a tratar, se determina el volumen de la pileta de ecuación. Debido a que el material particulado decantable puede originar reducción de volumen y degradación de materia orgánica, la pileta de ecuación debe permanecer en constante agitación, manteniendo así el material en suspensión. Esto se logra en la mayoría de los casos por aireación que a su vez evita condiciones anaeróbicas y la consecuente generación de olores. Para que la ecuación logre el objetivo de atenuar las variabilidades del efluente, debe tenerse en cuenta un factor importante, predominante y versátil sobre todo en las industrias; el control de pH. Este control se realiza para reducir los efectos de las descargas demasiado alcalinas o ácidas, que generalmente son una parte importante de los procesos industriales. La finalidad del control de pH es la de mantener la acidez o alcalinidad dentro de un rango de valores determinado para:

- Proteger las cañerías de conducción y evitar la corrosión de las mismas,
- No violar los límites establecidos por la legislación aplicable en cuanto a la descarga del efluente para la protección del cuerpo receptos, la vida acuática y el ambiente circundante,
- Minimizar el impacto sobre el proceso de tratamiento,
- Precipitar metales sensibles a los cambios de pH.

Los productos químicos más utilizados para esta regulación son ácidos y bases minerales. Para la acidificación se utilizan dióxido de carbono, ácido sulfúrico o ácido clorhídrico entre los más utilizados. Para la alcalinización se utilizan generalmente cal o hidróxido de sodio.

Tabla 14. Reactivos más utilizados para el control de pH.

Reactivo	Ventajas	Desventajas
Cal	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo relativo 	<ul style="list-style-type: none"> Poco soluble Gran cantidad de barros Reacciona lentamente
Hidróxido de sodio	<ul style="list-style-type: none"> Muy soluble en agua Rápida reacción Poca generación de barros 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor costo relativo
Ácido sulfúrico	<ul style="list-style-type: none"> Reacciona rápidamente 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosividad y reactividad (adoptar precauciones adicionales)
Ácido clorhídrico	<ul style="list-style-type: none"> Reacciona rápidamente 	<ul style="list-style-type: none"> Generalmente más costoso. Vapores ácidos <p>(Dificultades para almacenar – Adoptar precauciones de seguridad)</p>

4.2. Coagulación – Flocculación

Para iniciar el proceso de coagulación de una partícula coloidal, se debe vencer lo que se llama potencial Z de la partícula. Esto es la medida de la densidad de la carga superficial de un coloide y está asociado a su estabilidad en la suspensión (Mihelcic, 2011). Las partículas coloidales pueden aproximarse entre sí hasta una distancia máxima permitida por la barrera de energía.

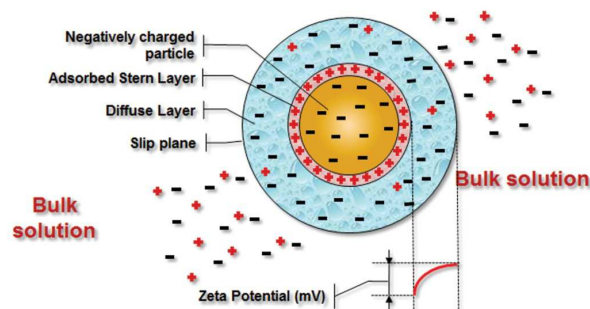


Figura 2. Ilustración del potencial Z para que ocurra el proceso de coagulación. (Pharmaceutical online, 2005).

Si se logra modificar las condiciones de dicha barrera de energía se puede conseguir que las partículas se aglutinen. Esta modificación se logra mediante cambios químicos ya sea por las concentraciones de iones en suspensión o bien por el agregado de otros iones que neutralicen la carga del coloide adhiriéndose al mismo y enlazándose con otros coloides, dándole mayor cuerpo. La coagulación entonces es un proceso de desestabilización y formación de micro flóculos.

Existen algunos mecanismos principales para la coagulación (Pérez de la Cruz, 2001):

- Neutralización de cargas: desequilibra la barrera química alrededor de las partículas mediante el agregado de sales con carga y por agregado de sustancias que modifican las condiciones químicas, como cambios de pH, reduciendo la distancia de la barrera de energía.
- Enlaces y puentes químicos entre moléculas de alto peso molecular.
- Adsorción: una vez formados los primeros flocs, estos actúan como germen de adherencia de mayores conjuntos. La adsorción lleva a lo que se conoce como floculación. La frecuencia con que ocurren los choques entre las partículas después de haberse formado el floc primario, es determinante de la eficiencia ya que este mecanismo es el que promueve la formación de flocs de mayor volumen y peso. Entonces, los micro flocs llevan a las colisiones y finalmente a la adsorción que provoca la floculación.
- Remoción de color: es más complejo y la incidencia del pH es fundamental, normalmente debe trabajarse a pH bajo, menor que 5, lo que dificulta el proceso de tratamiento.

4.3 Jar Test

Son pruebas utilizadas para ensayar la coagulación y la floculación para un efluente determinado. El proceso es el siguiente (Christophersen):

- Agitación fuerte por 30 a 60 segundos,
- Agitación suave por 15 a 30 minutos para que no se desarmen los flocs,
- Sin agitación para dejar decantar las partículas por 15 a 30 minutos.

Se ensayan distintos pH, diferentes concentraciones de coagulantes y se observa el crecimiento del floc y la sedimentación de las partículas. Se concluyen las mejores condiciones a aplicar en planta en cuanto a productos a usar, dosis, pH, calidad a obtener y lodos a generar.

4.4. Mezcla rápida – Coagulación

Previo a que se produzca la floculación en sí, los productos que se usen deben entrar en contacto íntimo con las partículas a coagular (Arboleda, 2006):

- Dispersión del coagulante,
- Desestabilización por neutralización, menos de 1 segundo,
- Formación de flóculos de hidróxidos, menos de 7 segundos.

Estos pasos se pueden llevar a cabo por diferentes sistemas. Algunos de estos son:

- Sistemas hidráulicos: canaleta de Parshall, vertederos, resalto hidráulico. Estos tienen un mantenimiento mínimo y menor consumo de energía.
- Mezcladores estáticos: son de muy baja inversión, pero se deben utilizar solo si el mecanismo de desestabilización es por neutralización.
- Sistemas mecánicos: agitadores y sistemas neumáticos. Son generalmente de baja inversión. Tienen facilidad de diseño. No tienen pérdida de carga y tienen flexibilidad de caudales.

Los coagulantes, reguladores de pH y reguladores de alcalinidad se agregan inmediatamente antes de la mezcla rápida. Los ayudantes de coagulación se agregan después del coagulante, unos 15 segundos después aproximadamente.

4.5. Agitación

La agitación es la operación que permite que las partículas colisionen entre sí para promover la aglomeración y posterior sedimentación de las mismas. Es decir a mayor agitación, mayor gradiente de velocidad, mayor mezcla en la coagulación y mayor cantidad de colisiones en la floculación (Arboleda, 2006).

$G_i = \text{diferencia de velocidades} / \text{diferencia de distancia entre partículas}$

Camp y Stein definieron un parámetro que expresa la disipación de energía media en un fluido:

$$G = \text{Raíz de } [\text{potencia} / (\text{viscosidad} \times \text{volumen})]$$

El valor de G en una mezcla rápida es de 300 a 1.000, mientras que en la floculación es entre 10 y 75.

4.6. Floculación

Intervienen tres aspectos claves en la probabilidad de colisión (Ramalho, 1996):

- Gradiente de velocidad en un punto. A mayor gradiente, mayor probabilidad. Por otro lado un gradiente excesivo puede causar la rotura del floc.
- Cantidad de partículas excedentes. A mayor cantidad de partículas, mayor probabilidad de colisiones.
- Volumen de las partículas existentes. A mayor volumen, mayor probabilidad de choque. Por esto, la floculación por manto de lodos puede ser muy eficientes.

Los elementos mecánicos e hidráulicos que ayudan a producir una floculación se denominan floculadores. Pueden ser de tipo hidráulico, mecánico o manto de lodos. Los floculadores hidráulicos cayeron en desuso, salvo en instalaciones pequeñas, ya que no son flexibles ante cambios de caudales, no son efectivos ante cambios en la calidad de agua y son de difícil limpieza. La gran ventaja de estos floculadores es que no son afectados por los cortocircuitos hidráulicos como en el caso de los mecánicos. Los floculadores mecánicos tienen la ventaja de modificar G con un variador de velocidad para ajustarlo de acuerdo a las condiciones reales (Ramalho, 1996). Implican un costo de inversión y mantenimientos mayores pero son los más utilizados hoy en día. La eficiencia aumenta con el N° de cajas en serie; usándose en general no más de 4.

4.7. Sedimentación

Es la operación en la cual los sólidos suspendidos en un líquido son separados del mismo por efecto de la gravedad. El sedimentador más sencillo consiste en un canal de sección rectangular y flujo longitudinal donde se hace circular el líquido residual a una velocidad controlada (Mihelcic, 2011). También se pueden utilizar sistemas más complejos como sedimentadores de placas inclinadas que utilizan menos espacio físico y las placas aumentan la superficie de contacto entre partículas para facilitar la sedimentación.

La velocidad de flujo en un sedimentador es crítica ya que de ser muy lenta, y siendo las partículas en cierta proporción de origen orgánico, permitiría la descomposición biológica del barro depositado. Por otro lado, si la velocidad es mayor, disminuiría la eficiencia de remoción de partículas (Mihelcic, 2011). En caso de sedimentadores pequeños, el material decantado se va removiendo de forma manual a través de válvulas.

4.8. Desinfección – Cloración

Vale aclarar que la regulación N° 336 no es mandatoria para este tipo de industria en cuanto a satisfacer la demanda de cloro; asimismo los efluentes no incluyen cantidades de coliformes fecales por arriba del límite para conducto pluvial ya que el proceso industrial no genera per se contaminación patogénica y los efluentes cloacales son descargados por otra vía;; sin embargo a efectos de no entrar en contradicciones con los deseos del delegado de la Autoridad se procedió a aplicar una etapa de desinfección. En algunos casos, la desinfección o la cloración, se aplica para cumplir con la demanda de cloro que debe tener el efluente.

Varios líquidos residuales, tanto domésticos como una gran variedad de industriales, contienen contaminantes microbiológicos por lo que la autoridad de aplicación hace hincapié en el control de dichos aspectos contaminantes fijando 2 procesos fundamentales (EPA, 1999):

1. Desinfección,
2. Determinación de la presencia de contaminantes patógenos, a través de la detección de bacterias indicadoras (coliformes fecales). La medición de parásitos (o sus oocystos) no es común en el país a menos que el efluente tratado se vuelva a utilizar para el riego.

En principio, la desinfección tiene en cuenta el cuerpo de agua receptor y el uso que el mismo tendría, ya sea riego, consumo humano o contacto directo. El objetivo principal es proteger la salud humana y el ambiente circundante. Durante este tratamiento se pueden lograr objetivos secundarios o marginales como la oxidación de sustancias reductoras, control de olores y mejorar la calidad final del líquido residual disminuyendo la DQO (Demanda Química de Oxígeno) (EPA, 1999). Cabe señalar que en la regulación no está contemplado limitar la descarga de subproductos de desinfección como trihalometanos o clorofenoles, en cuyo caso se introduciría una fuerte limitación al uso de clorógenos para desinfectar efluentes con contenido orgánico

Existen varios tipos de desinfección que dependen del agente desinfectante y del tipo de microorganismos presentes. Los agentes desinfectantes pueden ser químicos como lo son los agentes clorógenos (cloro gas o hipoclorito de sodio, entre otros), el dióxido de cloro y la ozonización o pueden ser de tipo físico como la aplicación de radiación UV (EPA, 1999). Seleccionar el agente desinfectante depende de la presencia de microorganismos ya sean bacterias, virus o parásitos ya que responden distintamente a cada tipo de desinfectante.

El tipo de desinfección más utilizado es la cloración, ya sea para potabilización del agua o tratamiento de líquidos residuales. Esto es debido a; experiencia histórica, fácil transporte, manejo y aplicación y efectividad.

5.Planta de tratamiento de efluentes industriales anterior

La solución requerida por esta planta industrial se basaba inicialmente en optimizar el funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes con la que contaban. A continuación se detallan las características originales de la planta y, posteriormente, las modificaciones que se debieron introducir para cumplir con los parámetros legales de la descarga.

Etapas del Tratamiento Líquido

1. Cámara de regulación de caudales con medición del pH
2. Ecuación de caudales y calidades, con ajuste de pH
3. Bombeo de líquido crudo con recirculación del caudal excedente;
4. Sedimentador primario, con ajuste de pH
5. Cloración y medición del pH de vuelco

Etapas del Circuito de Barros

1. Retiro periódico de barros.

5.1 Descripción

A la primitiva planta de tratamiento, posteriormente se le efectuaron modificaciones pertinentes a los efectos de integrar sus unidades al sistema general de tratamiento (Ver Diagrama PTE Original en los anexos).

El volumen de la pileta de ecuación, a la cual escurrían desde las bateas y hasta hoy en día escurrían líquidos algunos directamente de las bateas y otros vienen desde los presedimentadores que se agregaron, es de 60m³ (ver Foto1. Pileta de Ecuación). Calculada originalmente para un caudal medio de operación de 8m³/h y un caudal máximo de 10m³/h. En la pileta de ecuación se utilizaban ácido sulfúrico y soda cáustica para regular el pH (ya sea alcalino o ácido respectivamente) que proviene de las correspondientes bateas alcalinas y ácidas.

Luego de esta etapa de ecuación, el efluente pasaba a un sedimentador primario donde se dejaban decantar los barros. La sedimentación es la operación en la cual los sólidos suspendidos en un líquido son separados del mismo por efecto de la gravedad. El

sedimentador primario instalado anteriormente era de geometría rectangular y acumulaba los barros generados en el fondo para luego ser retirados. Para ayudar a la decantación de las partículas, el único compuesto aplicado era cal en el sedimentador primario.

Transcurrido el tiempo requerido de sedimentación, el líquido pasaba a la cámara de cloración para su desinfección y finalmente al desagüe pluvial pasando por la cámara de toma de muestra obligatoria.

Los barros que permanecían en el sedimentador, eran retirados periódicamente por una empresa registrada por la OPDS (Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable), que los llevaba a disposición final. Durante esta primera etapa, la generación de barros era significativa aunque no se tienen mediciones precisas de la cantidad ya que en general no se realizaban mediciones de ningún tipo hasta después de las modificaciones.

6. Desarrollo

6.1. Problemas

La planta de tratamiento anterior con la cual contaba la empresa, no estaba diseñada para tratar ciertos parámetros y eliminarlos del efluente para realizar el vuelco al desagüe pluvial respetando los rangos de la legislación vigente.

Entre estos parámetros se encontraba el aluminio soluble, utilizado en cantidades considerables en el proceso del anodizado. Los resultados de los primeros análisis realizados durante el funcionamiento de la primitiva planta, daban cantidades de aluminio expresadas en miles de mg/litro, cuando haciendo referencia al Anexo II de la Resolución N° 336 del ADA, la cantidad permitida para el vuelco a un desagüe pluvial es de tan solo $\leq 2,0$ mg/l.

El proceso de sedimentación representó otro de los principales problemas de la planta de tratamiento, que ya desde comienzos generaba una cantidad de barros significativa que dificultaba el correcto tratamiento en sí. Se creía que con las primeras modificaciones de ingeniería realizadas (floculador /sedimentador de placas), la producción de barro disminuiría. Al no darse esta expectativa se recurrió a una solución de ingeniería para alivianar la carga de la planta principal (presedimentadores para descarga de baños alcalinos)

6.2 Solución Aplicada

Basándonos en los problemas mencionados anteriormente se concluyó que para el correcto funcionamiento de la planta se necesitaría una solución tanto de ingeniería como química. Para la parte de ingeniería se incluyó un coagulador y floculador como etapa previa a la sedimentación. El sedimentador primario de la planta anterior no cumplía su función por lo que se diseñó un nuevo sedimentador primario por placas y lo que era el sedimentador primario anterior se transformó en cámara de barros.

En cuanto a la solución química se pensó en la utilización de un coagulante y floculante para ayudar a la etapa de sedimentación primaria y corregir los parámetros que daban fuera del rango permitido.

6.3 Fundamentos teóricos de la solución aplicada

Los fundamentos teóricos ya han sido explicados para una planta de tratamiento convencional en los puntos 4.1 equalización y control de pH, 4.4 a 4.6 en lo concerniente a coagulación y floculación, 4.7 sedimentación y 4.8 desinfección. Si embargo debemos mencionar dos aspectos introducidos al modificar la planta de tratamiento: la sedimentación por placas para el sedimentador primario y la aplicación de fosfatos para remover Aluminio soluble.

6.3.1 Sedimentación por placas

El sedimentador de placas inclinadas funciona por un procedimiento físico que permite separar los sólidos del agua, en un espacio menor del requerido para un sedimentador convencional, debido a la mayor superficie (proyectada sobre el plano horizontal) que proveen placas paralelas inclinadas a entre 25 y 60° respecto al plano horizontal . Después de la floculación, estos sólidos sedimentan en las placas inclinadas y por gravedad resbalan hacia el fondo del sedimentador. También llamado clarificador de placa de inclinada, provee una zona no turbulenta, con bajo número de Reynolds. El número de Reynolds, es un número adimensional utilizado en la mecánica de fluidos para caracterizar el movimiento de los mismos. Se relaciona con la viscosidad, velocidad y densidad de un líquido. El resultado determina si el flujo del líquido es laminar o turbulento. En caso que el líquido sea agua, un número $Re < 2.000$ indica que el flujo es laminar.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

En definitiva, son unidades compactas con un área de sedimentación menor a la requerida por sedimentadores convencionales.

6.3.2 Aplicación de fosfatos

Los fosfatos son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica. Los fosfatos secundarios y terciarios son insolubles en agua, a excepción de los de sodio, potasio y amonio.

Los tipos de fosfatos a nivel industrial, se pueden clasificar en los siguientes: fosfatos alimenticios, fosfatos industriales y fosfatos para la galvanotecnia. Cada uno de ellos pueden ser utilizados para diferentes usos:

- Agente de saponificación de grasas;
- Decapante de pinturas;
- Se utiliza a nivel industrial para limpiar metales;
- Se utiliza en maquinas de lavado;
- Fabricación de quesos, emulsionante;
- Se utiliza como levadura artificial en panadería;
- Se utiliza como acidulante para la preparación de la masa del pan;
- Como abrasivo en pastas de dientes;
- En detergentes; y
- Dispersante en fabricación de cementos y ladrillos, entre otros.

El fosfato trisódico es un agente de limpieza, lubricantes, aditivos alimentarios, removedor de manchas (Blount, 2000) y desengrasante. Es un sólido de color blanco, granular o cristalino, altamente soluble en agua, produciendo una solución alcalina. El artículo de comercio es a menudo parcialmente hidratado y puede variar de fosfato trisódico, Na_3PO_4 , a dodecahidrato, $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Este último se encuentra más a menudo en forma de polvo blanco, que también puede ser llamado ortofosfato trisódico o fosfato de sodio simplemente. El fosfato trisódico es más higroscópico (absorbe más agua) que sus derivados, por lo que se lo prefiere para el tratamiento de aguas. Los usos más destacados del fosfato trisódico son:

- Limpieza (Henny, 2013): El uso principal para el fosfato trisódico es en agentes de limpieza. El pH de una solución al 1% es 12, y la solución es suficientemente alcalina

para saponificar la grasa y aceites. En combinación con tensioactivos, El TSP (*Tri Sodium Phosphate*, por sus siglas en inglés) es un excelente agente para la limpieza de todo, desde ropa a calzadas de concreto. Esta versatilidad y el bajo precio de fabricación, hacen TSP la base preferida para una gran cantidad de productos. TSP todavía se vende, y se utiliza, como agente de limpieza. El TSP, se utiliza comúnmente después de la limpieza con alcoholes minerales, con el fin de eliminar los residuos de hidrocarburos.

- Mejora de pintura: El fosfato trisódico es de uso común para la limpieza, desengrase y pérdida de brillo de las paredes antes de la aplicación de pintura. El TSP rompe el brillo de las pinturas a base de aceite y abre los poros de las paredes, lo que proporciona una superficie más adecuada para la adherencia de la capa posterior.
- Derivados: Los productos más vendidos como derivados del TSP, contienen carbonato de sodio y zeolitas (minerales aluminosilicatos microporosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente. Suelen ser utilizados como adsorbentes comerciales. Ejemplos de sus usos incluyen refinación de petróleo, coloración de gases y líquidos y control de polución). Sin embargo, el carbonato de sodio no es tan fuertemente básico como el fosfato trisódico por lo que es menos eficaz en aplicaciones exigentes.
- Tratamiento de efluentes: el fosfato trisódico es un coadyuvante que ayuda a eliminar la dureza del agua por secuestro, bajar la cantidad de agentes tensoactivos, mejora la mojabilidad, y ayuda a controlar el pH.

Algunos derivados del fosfato, con características similares, se pueden listar en los que siguen:

- Fosfato trisódico, un suavizador de agua, usados en detergentes y conservantes de alimentos;
- Fosfato de Sodio dihidrogenado, comúnmente llamado fosfato monosódico, (NaH_2PO_4), pH buffer;
- Fosfato disódico, (Na_2HPO_4), es usado como anticoagulante usada en alimentos;
- Fosfato de aluminio de sodio, ($\text{Na}_8\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_4$) es un buffer de pH y emulsificante

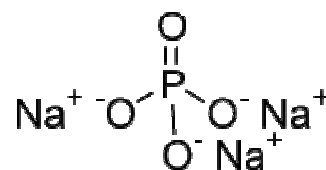


Figura 3. Estructura molecular del fosfato trisódico.

El fosfato utilizado para el tratamiento del efluente fue hidratado en agua con una dosificación de acuerdo a jar tests realizados en laboratorio (ECCA Lab, autorizado por la OPDS). A pesar de que el fosfato trisódico es un compuesto utilizado en varias industrias, su utilización para el tratamiento de aguas no es aún muy popular. Muchas industrias del anodizado o de la metalúrgica presentan problemas debido a la presencia de metales en sus efluentes. Sobre todo, la complicación que es eliminar el aluminio soluble. Habiendo comprobado la eficacia para la remoción de aluminio soluble en efluentes del proceso de anodizado para esta empresa en particular, puede significar un réplica para las demás industrias con problemas similares. Así, minimizando costos de otros tratamientos quizás menos efectivos y más costosos, a diferencia de una reacción química bastante sencilla, pero que encontrarla llevó su proceso de prueba y error.

Cuando el aluminio está presente en el agua residual, éste se recupera del agua añadiendo un agente reductor (fosfato trisódico) para reducir el potencial de oxidación – reducción del agua. El aluminio que precipita en la solución acuosa se elimina del efluente. El aluminio precipita en forma de fosfato de aluminio. Ver en 6.5.2.4 las reacciones correspondientes.

6.4 Modificaciones de ingeniería introducidas

6.4.1 Ecuación y Regulación de pH

a) En una primera etapa se manejaron los efluentes provenientes tanto de las bateas ácidas como de las bateas alcalinas, como lo hacían previamente. Se mezclaban en una cámara antes de entrar a la pileta de ecuación y en dicha cámara de mezcla se medía el pH (Ver Diagrama Modificación PTE Etapa 1 en anexos). En esta etapa se introdujo un ajuste más preciso del pH usando dosificadores para el hidróxido de sodio y el ácido sulfúrico que se aplicaban sobre la pileta de ecuación. Esta mayor precisión es necesaria para poder optimizar el proceso posterior de coagulación.

b) En una segunda etapa se agregó una medición de pH en la ecuación de modo de verificar el ajuste que se lograba con las dosificaciones. Asimismo (ver 6.4.4) se agregó una medición y ajuste del pH del líquido provenientes de los presedimentadores. En la pileta de ecuación, se incorporó al efluente, aireación con sopladores de aire y difusores de burbuja gruesa. Las dos bombas de impulsión, una de reserva, elevan el efluente desde el ecuador hasta el coagulador y floculador (Ver Diagrama Modificación PTE Etapa 2 en anexos). El caudal que ingresa a la planta de tratamiento no debe ser mayor a los diez metros cúbicos por hora – $10\text{m}^3/\text{h}$, motivo por el cual las bombas tienen una pérdida de carga regulada a través

de singularidades montadas en las cañerías que aseguran la operación muy cerca de la curva de funcionamiento suministrada por el fabricante. Las mediciones registradas se encuentran en el orden de 10 y 11 m³/hora. El funcionamiento de la planta es continua, lo cual asegura el tratamiento de los efluentes generados por el cambio de bateas. Vale aclarar que no se hace el vaciado de bateas bruscamente, a fin de evitar la sobrecarga de la planta.

6.4.2. Coagulación – Flocculación

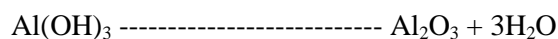
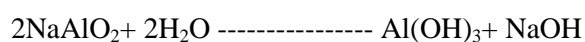
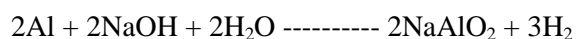
El caudal máximo de ingreso al floculador se asegura con una caja vertedero/partidora, que retorna a la pileta de ecualización la fracción del caudal que sobrepase los 10m³/h. (ver Fotos 2 y 3 Bombas de impulsión y Caja Partidora). A la entrada del módulo, se instaló una caja partidora con un vertedero regulable y se le fijó una altura tal para que el caudal que ingresa al mismo se encuentre en el orden de 9,5 y 10 m³/hora (ver Foto 3, caja partidora). De esta manera hay un retorno a la pileta de ecualización del orden de 2 a 2,5 m³/hora.

La cámara de agitación es un paralelepípedo vertical de un metro cúbico – 1m³ – de volumen total, con una retención de caudal máximo de seis minutos – 6' -. El agitador es de alta velocidad con dos hélices de acero inoxidable (ver foto 4 Flash Mixer).

La cámara de flocculación es un paralelepípedo vertical de cinco metros cúbicos – 5m³ - de volumen útil, con una retención de caudal máximo de treinta minutos – 30' – debido a que el caudal máximo es de diez metros cúbicos por hora – 10m³ - . El floculador es vertical, de tipo mecánico, con eje, marco y aspas de acero inoxidable (ver foto 5 y 6 Floculador).

El proceso de coagulación y flocculación se realiza mediante el agregado de un polielectrolito, *Mac PowerFloc AN 905 PWG* – Flocculante Aniónico Granulado. Es una poliacrilamida aniónica, de anionicidad muy baja. La elección del producto se basó en su efectividad para precipitar el aluminio soluble presente en el efluente, entre otras características que ayudaron a corregir otros parámetros en cuestión. (Ver Diagrama Modificación PTE Etapa 1 en anexos para el proceso descrito en el punto 6.4.2)

Para el correcto funcionamiento del producto, el pH del efluente debe estar en el orden de 8,5 y 9. Las siguientes reacciones ocurren con la aplicación del mismo que ayudan a la precipitación de parte del aluminio:



Esta dosificación se materializa con bombas dosificadoras de diafragma y un lazo de control de pH.

Si bien los ensayos de tratabilidad indicaron una dosificación del producto del orden de 4ppm, durante la puesta en marcha de la planta, se corroboró que a esa dosificación los parámetros del líquido efluentes se encontraban dentro de los límites admitidos por la reglamentación para vuelco a conducto pluvial, pero la producción de barros era superior a la capacidad de operación de la planta, es decir se debería imponer el tratamiento posterior para su deshidratación, porque no había espacio físico para su contención. Nótese que el volumen útil del sedimentador de barros es de aproximadamente 26 a 28m³, que según la producción del momento, se colmataría en once horas de operación de la planta.

Por tanto, se procedió a aplicar un tratamiento químico más severo hasta llegar a los 10/12 ppm, con lo cual se redujo el volumen de lodos de 3.36 m³/d a 2,35 m³/d

6.4.3. Sedimentador de placas inclinadas

Se montaron diez módulos compactos de 600 x 600 x 600 y cinco módulos de 300 x 600 x 600 – expresados en milímetros – prefabricados en poliestireno de alto impacto. Las placas de sección hexagonal se dispusieron con un arreglo angular de 60° (ver fotos 7, 8 y 9 Sedimentador de Placas, Corte AA y Volúmenes). (Ver Diagrama Modificación PTE Etapa 1 en anexos para el proceso descrito en el punto 6.4.3)

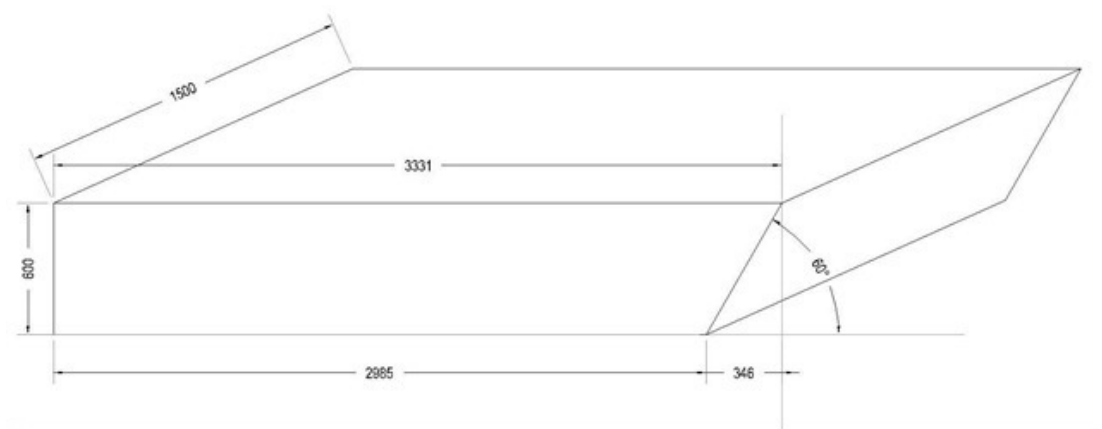


Figura 4. Sedimentador de placas inclinadas.

6.4.4. Presedimentación

a) La mayor cantidad de sólidos suspendidos se encuentran en los efluentes alcalinos de “rebalse” de los enjuagues alcalinos correspondientes de las bateas 6 y 7 por lo que éstos son

los principales responsables de buena parte de la generación de barros. Los efluentes de esta bateas 6 y 7, se acumulan en una pileta de contención de medidas 1.70m x 1.30m x 1.50m. Por método de bombeo el agua es elevada hasta cada uno de los tanques posteriores a través de caños de 1.5'' de diámetro.

b) Para lograr reducir la producción diaria de barro, que aún con la dosificación de 12 ppm de polielectrolito era de 2,35 m³/día, volumen que todavía superaba la capacidad del sedimentador de barros principal, se instalaron como anexo a la planta de tratamiento cuatro tanques decantadores de 8m³ cada uno como “presedimentadores”, dispuestos “en paralelo”, y un tanque acumulador de 15m³ litros para almacenar el efluente presedimentado. Finalmente el efluente es dirigido a la planta de tratamiento de efluentes con menor cantidad de sólidos. También, como se menciona en 6.4.1.b, se mide pH y se dosifica ácido, antes de mezclarlos con los otros efluentes de ingreso a la planta de tratamiento

c) La presedimentación tarda aproximadamente de 12 a 24 horas y la descarga de barros se realiza de forma manual con una válvula en la base de cada uno de los tanques. Los barros van al sedimentador de barros principal, donde se concentran y finalmente son retirados por una empresa autorizada por la OPDS. El retiro de barros del sedimentador principal de barros se realiza cada 15 días, resultando en un retiro de 30m³ quincenalmente y su disposición final consiste en *landfarming*. El *landfarming* es el tratamiento biológico del suelo y comprende su aplicación controlada en el horizonte superficial del mismo, acompañado de un monitoreo continuo y un manejo adecuado para dar lugar a procesos biológicos que permitan degradar y transformar los constituyentes orgánicos e inmovilizar los compuestos o elementos inorgánicos, presentes en dicho barro. La disposición y usos del barro generado en procesos industriales se rige por la Resolución N° 97/2001 “Manejo Sustentable de barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos”. De acuerdo a dicha legislación, el generador debe realizar un análisis de los barros generados, de acuerdo a la cantidad producida. Para la empresa estudiada, la producción de barros en toneladas/ año se encuentra en igual o mayor a 300 y menor que 1.500, por lo que la periodicidad de muestreo corresponde a cada (3) meses. La Autoridad de Aplicación responsable del control, monitoreo y uso de los barros es la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. Los barros generados por esta empresa de anodizados, cumplen con los parámetros fijados por la Tabla N° 6 de dicha Resolución, que permite su uso para el tratamiento biológicos de suelos. Una vez retirados, son responsabilidad del transportista, operador y usuarios finales del barro. (Ver Anexo, Tabla 4 de la Resolución N° 97/2001)

d) Los cuatro tanques de pre sedimentación tienen 2.30 metros de diámetro y 4.70 metros de altura, resultando en una capacidad de 8m³ de volumen cada uno (ver Fig. 1). Cuentan con

una tolva fabricada en polietileno virgen apto para la mayoría de los líquidos. Incluyen una salida y válvula de 2'' para descarga total y una tapa de inspección. Tienen una válvula inferior para el desagote de barros que son dirigidos a la pileta de barros. Están izados con una estructura metálica para el soporte. Cuentan con una bandeja de 10 metros que los recorre por delante para sostener la cañería y como medida de seguridad ante cualquier tipo de inconveniente.

f) El tanque acumulador de 15m³ de capacidad está fabricado con polietileno virgen y protección U.V. Tiene medidas de 2,90 metros de diámetro y 2,45 metros de altura y un peso de 300kg. Este tanque a través de una válvula y cañerías, desemboca en la pileta de equalización, mezclándose con los efluentes provenientes de todas las demás bateas de producción. (Ver Diagrama Modificación PTE Etapa 2 en anexos. El mismo diagrama se aplica para los puntos siguientes; del 6.4.5 al 6.4.8)

6.4.5. Purga de Barros del Sedimentador Primario

La purga de barros precipitados en la tolva se efectiviza con la apertura manual de una válvula en la cañería de purga de 4'', a intervalos variables (en el orden de 30 minutos) y no por más de medio minuto.(ver foto 11 Tolva de Purga de Barros, Volúmenes, Ajuste de pH, Sedimentador de Barros).

6.4.6 . Líquido sobrenadante del sedimentador de barros

El líquido sobrenadante del sedimentador de barros de la planta de tratamiento, es bombeado periódicamente hacia la pileta de equalización de acuerdo a estrategias puntuales de operación (ver fotos 11 Bombeo de Recirculación del Líquido Sobrenadante de Sedimentador de Barros).

6.4.7. Dosificación de Base y Ácido – Ajuste de pH

La dosificación de ácido y base se materializa a través de dos bombas dosificadoras conectadas a través de sendas cañerías a los tanques, uno de ácido sulfúrico y otro de hidróxido de sodio. El sistema de control de pH cuenta con una pantalla digital y asegura que el pH se mantenga entre 6,5 y 10 en la pileta de equalización (ver fotos 12, 13 y 14 Conjunto de tanques Ácido y Base con Bombas, esquema ajuste de pH).

6.4.8. Dosificación de cloro

La dosificación de cloro se realiza mediante un tanque con hipoclorito de sodio y una bomba dosificadora con lazo de instrumentación y control de cloro residual $\leq 0,5$. Este tanque a su vez está conectado a un tanque de mayor volumen que de manera automática llena el tanque dosificador. Esto se introdujo para evitar el constante manejo de la sustancia por el personal de planta y reducir los riesgos asociados al mismo.

Finalmente el desagüe pluvial desemboca en el río Reconquista aguas abajo de la represa Roggero.

6.5. Ensayos químicos efectuados

Las tablas a continuación, muestran los resultados de los análisis de los efluentes de la planta de tratamiento original, y los análisis de la planta de tratamiento actual obtenidos con distintos productos químicos con los que se efectuaron ensayos de jarras.

6.5.1. Análisis resultantes con la planta original

La primera tabla es un resumen de los varios análisis realizados a principios del año 2012 durante la modificación del proyecto, o sea antes de modificar los componentes ni aplicar los productos químicos, resaltando los parámetros fuera de rango más preocupantes.

Tabla 15. Resumen de análisis tomados durante ejecución del proyecto. (con planta anterior funcionando)

Parámetro	ADA RES 336 (mg/l).	09/01/2012	19/01/2012	23/01/2012
PH	6,5 - 10	10,64	10,8	9,6
SSEE	Menor de 50	22,3	20,4	23,2
Sulfuro	Menor de 1	0,1	0,1	0,1
Sólidos Sedimentables en 10	Ausente	0,2	0,1	0,1
Sólidos Sedimentables 2 Horas	Menor de 1	0,3	0,1	0,1
DBO5	Menor de 50	72	66	20
Oxígeno Consumido	N/E		28	

SRAO (Detergentes)	Menor de 2	0,4	0,8	0,8
DQO	Menor de 250	180	168	73
Cloro Libre Residual	Menor de 0,5		0,45	
Aluminio	Menor de 2	5.900	12.500	5.810

Nótese los elevados niveles de aluminio resultantes, superando el rango establecido por la normativa de <2,0 mg/l.

6.5.2. Jar tests realizados

Cuando los componentes físicos de la planta se pusieron a punto, se comenzó el siguiente paso que fue el ajuste químico del efluente. A pesar de la corrección de la mayoría de los parámetros, el aluminio seguía siendo el problema persistente. Se realizaron *jar tests* (ensayos de jarras) con varias sustancias para disminuir la cantidad de aluminio en el efluente.

A continuación se detallan las principales características de estas sustancias y los resultados obtenidos al ser aplicadas en las muestras tomadas del efluente generado. Los reactivos utilizados no son un desarrollo original del trabajo, sino una adaptación o implementación de lo publicado para estos fines por otros autores.

6.5.2.1 Ácido perclórico

Fórmula: HClO_4

Peso molecular: 50g/mol

El ácido perclórico se presenta como un líquido incoloro que puede cambiar a amarillento cuando reacciona. Es un fuerte oxidante y en contacto con otros materiales puede causar fuego o incluso explosiones. Es inestable a temperatura ambiente y a presiones normales. Presenta un alto riesgo para la salud ya que es corrosivo y produce quemaduras cuando en contacto con cualquier tejido. Produce daños al tracto gastrointestinal cuando ingerido y al tracto respiratorio cuando inhalado.

Al ser un ácido muy inestable el manejo incluye la reducción del mismo con un agente reductor débil y la neutralización con carbonato de sodio y óxido de calcio. Una vez realizada la prueba se debe tratar de contener y recuperar el ácido.

Su almacenamiento debe ser en lugares donde no haya posibilidades de congelamiento, alejado de combustible, orgánicos, agentes oxidantes y reductores. El envase debe protegerse de cualquier daño físico.

Su aplicación con el efluente de anodizado de la empresa en cuestión, fue de una solución preparada al 20%, dosificando 334 mg/l, resultando en un pH final de 6,0.

Los resultados obtenidos del efluente tratado con ácido perclórico fueron los siguientes:

Tabla 16. Resultados obtenidos con la aplicación de ácido perclórico al fluente industrial.

Parámetro	Valores	Res. N° 336
Ph	7,2	6,5 - 10,0
SSEE	36,0 mg/l	50,0 mg/l
DBO5	28,0 mg/l	50,0 mg/l
Cianuros totales	0,10 mg/l	0,10 mg/l
Plomo	0,10 mg/l	0,10 mg/l
Sustancias fenólicas	No detectable	0,5 mg/l
DQO	66,0 mg/l	250 mg/l
Hierro soluble	0,22 mg/l	2,0 mg/l
Cromo total	0,20 mg/l	2,0 mg/l
Fósforo total	No detectable	1,0 mg/l
Aluminio	4,60 mg/l	2,0 mg/l
Coliformes fecales	No detectable	2000 mg/l

6.5.2.2 Hidróxido de sodio

Fórmula: NaOH

Peso Molecular: 40,01 g/mol

El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como solución al 50% por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos.

Es usado en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos. Se obtiene principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de elementos de seguridad: lentes / bata / guantes. El compuesto no es inflamable, sin embargo puede provocar fuego si se encuentra en contacto con materiales combustibles. Por otra parte, se generan gases inflamables al ponerse en contacto con algunos metales.

El hidróxido de sodio es irritante y corrosivo de los tejidos, sobre todo de la piel y los ojos. La inhalación causa irritación y daño al tracto respiratorio. A una concentración de 0,005-0,7 mg/m³ se ha informado de quemaduras en la nariz y el tracto. En contacto con los ojos, las salpicaduras pueden provocar gran irritación en la córnea, ulceración, nubosidades y finalmente su desintegración. En casos más severos puede causar ceguera permanente. Una concentración de 1N de NaOH en contacto con la piel causa una destrucción progresiva de la epidermis. Una disolución acuosa del 5% puede generar necrosis. La ingestión causa quemaduras severas en la boca y si se traga causa daños en el esófago llevando al vómito y eventual colapso. El hidróxido de sodio es considerado como posible causante de cáncer de esófago. En cuanto a mutagenicidad, el compuesto no es considerado causante de mutagenicidad conocida.

Se debe almacenar en un lugar seco, protegido de la humedad, agua y alejado de ácidos, metales, explosivos y materiales que puedan arder fácilmente.

La dosificación del hidróxido de sodio para observar la reacción que tenía con el efluente del anodizado fue de una solución preparada al 10%, 213mg/l de producto en 1 litro de efluente. Esta solución, resultó en un pH final del líquido ya tratado de 7,8.

Los resultados obtenidos del efluente tratado con hidróxido de sodio fueron los siguientes:

Tabla 17. Parámetros obtenidos con la aplicación de hidróxido de sodio al efluente industrial.

Parámetro	Valores	Res. N° 336
pH	7,8	6,5 - 10,0
SSEE	39,0 mg/l	50,0 mg/l
DBO5	36,0 mg/l	50,0 mg/l
Cianuros totales	0,10 mg/l	0,10 mg/l
Plomo	0,10 mg/l	0,10 mg/l
Sustancias fenólicas	No detectable	0,5 mg/l
DQO	93,0 mg/l	250 mg/l
Hierro soluble	0,36 mg/l	2,0 mg/l
Cromo total	0,20 mg/l	2,0 mg/l
Fósforo total	No detectable	1,0 mg/l
Aluminio	8,60 mg/l	2,0 mg/l
Coliformes fecales	No detectable	2000 mg/l

6.5.2.3 Carbonato de sodio

Fórmula: Na_2CO_3

Peso molecular: 105,99 g/mol

Es un polvo blanco e inodoro. Es estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento. Es un producto no inflamable. Se deben evitar condiciones de humedad, ya que la absorbe fácilmente, calor y sustancias incompatibles. Mantener en un área bien ventilada y en contenedores altamente sellados.

El carbonato de sodio no presenta un peligro significativo para el medio ambiente. Sin embargo tiene aspectos toxicológicos para la salud a considerar durante el manipuleo. La inhalación del polvo puede causar irritación de las vías respiratorias, llevando a una tos constante. Es corrosivo cuando entra en contacto con los ojos, provocando enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Provoca irritación e inflamación en contacto con la piel. Puede llegar a causar quemaduras si el contacto es excesivo. Al ser ingerido, este compuesto es solo levemente tóxico, pero en grandes dosis pueden ser corrosivas para las vías gastrointestinales, donde los síntomas pueden incluir severo dolor abdominal, vómito, diarrea, colapso y eventual muerte.

La dosificación de carbonato de sodio con la cual se obtuvo el mejor resultado al hacerlo reaccionar con el efluente estudiado, fue de una solución preparada al 10%, 254 mg/l, resultando en un pH final del líquido ya tratado de 8,2.

Los resultados obtenidos del efluente tratado con carbonato de sodio fueron los siguientes:

Tabla 18. Parámetros obtenidos con la aplicación de carbonato de sodio al efluente industrial.

Parámetro	Valores	Res. N° 336
pH	7,0	6,5 - 10,0
SSEE	48,0 mg/l	50 mg/l
DBO5	40 mg/l	50 mg/l
Cianuros totales	0,10 mg/l	0,10 mg/l
Plomo	0,10 mg/l	0,10 mg/l
Sustancias fenólicas	N.D.	0,5 mg/l
DQO	110 mg/l	250 mg/l
Hierro soluble	1,80 mg/l	2,0 mg/l
Cromo total	0,20 mg/l	2,0 mg/l
Fósforo total	N.D.	1,0 mg/l
Aluminio	7,50 mg/l	2,0 mg/l
Coliformes fecales	N.D.	2.000 mg/l

6.5.2.4. Fosfato Trisódico

Finalmente se llegó a la solución química: aplicación de fosfato trisódico

Fórmula: Na_3PO_4

Peso Molecular: 163,9 g/mol

El fosfato trisódico se presenta en forma de cristales sólidos, incoloros y de color casi blanco. La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo óxidos de fósforos. La disolución en agua es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva. Ataca una gran variedad de metales en presencia de agua.

El fosfato trisódico puede resultar muy tóxico si se absorbe por medio de inhalación, a través de la piel o por ingestión. Cuando se inhala provoca una sensación de quemazón, tos, jadeo y dolor de garganta. Al entrar en contacto con la piel puede provocar quemaduras cutáneas, dolor y ampollas. En los ojos causa enrojecimiento y quemaduras profundas graves de la córnea. En caso de ingestión, el fosfato trisódico causa dolor abdominal, sensación de quemazón, shock o colapso.

Para el almacenamiento de la sustancia, debe resguardarse de ácidos fuertes. En una solución acuosa, reacciona con aluminio, zinc y hierro galvanizado. El recipiente contenedor debe estar bien cerrado, en un área fresca, bien ventilada y lejos del agua y humedad. Si está húmedo, esta sustancia puede corroer el latón y el acero.

La solución de fosfato trisódico utilizada para este caso fue del 5%, aplicándose de 5 a 7 mg/l de efluente, resultando en un pH final del líquido ya tratado de 5,6.

A nivel de la planta se efectuó lo siguiente: agregado de fosfato trisódico como coagulante aniónico del aluminio en la pileta de equalización, una vez que se mezclan el efluente ácido y alcalino en la misma (el efluente alcalino es primeramente derivado a los tanques presedimentadores ya que son la principal fuente generadora de sólidos sedimentables). La dosis de 5-7 mg/l. Se agita con aire en la pileta de equalización para asegurar la homogenización de los efluentes. Se dejan decantar los barros por 20 minutos en un sector de la pileta de equalización que no está mezclada con aire. Transcurrido este tiempo se elevan el efluente a la fase de coagulación – floculación donde se aplica el coagulante aniónico para decantar los otros compuestos y elementos del efluente. La efectividad de la aplicación del fosfato trisódico en la pileta de equalización se comprobó haciendo el ensayo con el efluente correspondiente en el laboratorio autorizado (ECCA Lab). Estos barros con aluminio decantados en la pileta de equalización (sector no aireado), son retirados separadamente. Posiblemente tengan un buen provecho para las industrias cementeras y potencialmente un ingreso económico más para la empresa (al menos reducción de costo

operativo) . El aprovechamiento de los barros con aluminio no se ha planteado dentro del alcance de esta tesis.

La reacción del fosfato trisódico con el aluminio soluble es la siguiente:



7. Resultados de los análisis de efluentes

Las tablas 5 a la 9 en el Anexo muestran los análisis más recientes donde se evidencia la corrección de los parámetros y el cumplimiento de los mismos de acuerdo a la Resolución N° 336 del ADA. Los dos primeros análisis corresponden a los efluentes alcalino y ácido analizados individualmente. El tercer análisis muestra los parámetros de ambos efluentes combinados, que es como llegan a la planta de tratamiento, sin todavía haber hecho las modificaciones correspondientes al sistema de tratamiento. El último y más reciente análisis muestra los resultados una vez modificada la planta, tanto en la reingeniería de la primera etapa y como en la aplicación del fosfato trisódico. En éste, los parámetros cumplen dentro de los rangos permitidos. (Ver sección Anexo Tabla 5 a 9).

Conclusión:

La optimización de la planta de tratamiento resultó ser fundamental para el buen funcionamiento del establecimiento, mejorando de cierta manera el control sobre el proceso productivo y calificando, por las autoridades, debido al cumplimiento con la normativa ambiental aplicable, a esta empresa como consciente sobre la protección del medio ambiente en el Partido San Martín.

Las modificaciones realizadas, además, llevaron a los parámetros del efluente generado a rangos permitidos para el vuelco, de acuerdo con la legislación aplicable del ADA. Este cumplimiento del marco legal permite que hoy en día la empresa funcione con normalidad, evitando multas y sanciones innecesarias que en el pasado eran frecuentes y significaron pérdidas económicas sustanciales. Fue sólo después de estas pérdidas que se comenzó a razonar usando el principio preventivo. Es decir, prevenir la contaminación de los recursos, lo cual es menos costoso que tener que pagar por el daño generado, muchas veces irreversible.

El cambio de ingeniería significó poner en regla parámetros como la DQO, DBO5 y el pH. Sin embargo, fue necesario realizar varios ensayos con diferentes productos químicos, para encontrar la solución al aluminio soluble que se encontraba presente en grandes cantidades en el efluente y que no pudo ser eliminado por métodos estándar de tratamiento. Se buscaron sustancias que reaccionan con el aluminio y actúan como coagulante para ayudarlo a precipitar. De éstas, se eligieron las más reactivas y aunque el aluminio disminuía con algunas, no era suficiente como para llevarlo a rangos normales y además otros parámetros se alteraban. Finalmente, fue el fosfato trisódico, que por sus características resultó ser la solución al problema mayor. Su aplicación diaria junto con el control del funcionamiento de todos los componentes de la planta de tratamiento, lograron la corrección de todos los parámetros del efluente del proceso de anodizado.

En cuanto al balance de masas, resultaron discrepancias entre lo declarado por la empresa y lo calculado de acuerdo a los volúmenes de las bateas, desborde, consumo de agua y efluente generado. La empresa en sus declaraciones simple utilizó promedios y datos anteriores, por lo que los valores no fueron exactos y por lo tanto se declaró menos de lo que actualmente consumen. No se realizaron actualizaciones de las mediciones de caudales en varios años y no cuentan con los instrumentos necesarios para realizarlos. Quizás sostuvieron esa declaración de consumo de agua, sin considerar que la producción en aquel entonces era menor que la que es actualmente.

Finalmente, el trabajo de tesis se enfocó en los pasos llevados a cabo, tanto estructurales como no estructurales, para lograr la optimización de una planta de tratamiento de efluentes industriales de la producción de anodizado. Los procedimientos y estudios pueden servir como pasos de base para realizar las modificaciones de industrias de rubros similares que tienen un riesgo de contaminación elevado y una alta probabilidad de causar daños significativos al medio ambiente si no se toman las medidas de prevención de contaminación adecuadas, tanto de efluentes líquidos, como residuos y otros aspectos que implica la producción de piezas de anodizado.

Bibliografía

"*Acido Nítrico*". Guía Mina y Ambiente Colombia. Guía 4.3: 65-78. 2004. Web. Agosto 2012. (texto, p.8)

http://www.minminas.gov.co/minminas/minas.jsp?cargaHome=3&id_categoria=111&id_subcategoria=252

"*Acido Sulfúrico*." Guía Mina y Ambiente Colombia. Guía 4.4: 79-96. 2004. Web. Agosto 2012. (texto, p.8)

http://www.minminas.gov.co/minminas/minas.jsp?cargaHome=3&id_categoria=111&id_subcategoria=252

"*Aluminium Treatment*" . Chemical Contacts, 23 noviembre 2009. Web. 18 octubre 2012.

<http://www.chemicalcontacts.co.za/aluminium.htm>. (texto p.10)

Álvarez, Gabriel Horacio. " GRAN BUENOS AIRES, CONURBANO Y PARTIDO DE SAN MARTÍN: EXCLUSIÓN SOCIAL Y SEGREGACIÓN URBANA." Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales 1 Agosto 2005: 194 (52). Web. <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-194-52.htm>

"Anodizado de Aluminio." . TDA Anodizado, n.d. Web. 26 Nov. 2011. <<http://www.tdaanodizado.com.ar/>>. (texto pp. 6, 8)

Argentina. Resolución N° 336/03, Modificatoria de la similar N° 389/98. *Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires*, 15 de octubre de 2010, p.8. (texto pp. 9, 12, 13, 25, 27, 42).

Argentina. Ley N° 5965 de la Protección de las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera, del 20 de noviembre de 1958. *Boletín Oficial del Estado*, 2 de diciembre de 1958, p.2. (texto pp. 11, 12)

Argentina. Ley N° 12.257, Código de Aguas de la Provincia de Buenos aires, del 26 de enero de 1999, p.33. (texto pp. 11, 12)

Argentina. Ley N° 25.675, General del Ambiente, del 27 de noviembre de 2002. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de noviembre del 2002, p.11. (texto pp. 11, 12)

Argentina. Resolución N° 082, de la Emisión de Certificados de Prefactibilidad de Vuelvo de Efluentes Líquidos. *Autoridad del Agua*, 15 de febrero de 2012, p. 6. (texto pp. 11, 12)

Argentina. Resolución N° 0518, de los Vuelcos discontinuos de efluentes líquidos en la Provincia de Buenos Aires, 16 de agosto de 2012. *Boletín Autoridad del Agua*, 17 de agosto de 2012, p.3. (texto pp. 11, 12)

Argentina. Ley N° 25.612, de Presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y actividades de servicio, 3 de julio de 2002. *Infoleg*, 25 de julio de 2002. (texto pp. 11, 12)

Argentina. Resolución N° 97/2001, del Reglamento para el manejo sustentable de barros generados en plantas de tratamiento de efluentes líquidos, del 22 de noviembre de 2001. *Ministerio de Desarrollo Social y Ambiente*, 10 de diciembre de 2001. (texto p. 34)

Argentina. Decreto N° 1741/96, Reglamento de la Ley N° 11.459, de los Establecimientos Industriales, de 11 de junio de 1996. *OPDS*.

Bell, Russel N. *Sodium aluminum phosphate cheese emulsifying agent*. US Patent 3726960, abril 1973. (texto pp. 11, 12)

Blount Martin, Estefanía. *Reducción de tóxicos en el textil* [en línea]. Madrid: ISTAS, Dpto. de medio ambiente de la C.S. de CC.OO, noviembre 2000, [ref. 10 de junio de 2012]. Disponible en Web: <http://www.daphnia.es/revista/23/articulo/272/reduccion-de-toxicos-en-el-textil> (texto p. 29)

"*Capital de la Industria*." . HCD San Martín, 1 enero. 2004. Web. 10 de febrero 2012. <http://www.hcdsanmartin.gov.ar/RPV_WEB_NEW/Municipio/CAPITALINDUSTRIASM.htm>. (texto p. 4)

Christophersen, Dave. "*Jar Testing Procedures*". [en línea]. CWT. [ref. noviembre 2012]. *g*. Pp 369-377. (texto p. 22)

"*Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales: Desinfección con cloro*." Web: water.epa.gov/aboutow/owm/.../2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf. EPA 1 Sept. 1999: 9. (texto p. 25)

Henny, Daniel. "*Toxicidad de los productos de limpieza.*" . Prevor, 1 May 2013. Web. 1 Aug. 2013. http://www.prevor.com/ES/sante/RisqueChimique/articulos/toxicidad/toxicidad_productos_limpieza.php. (texto p. 29)

Hurtado, M.J., J. Álvarez, E. Fatás, and P. Herrasti. *The Anodic Oxidation of Aluminium: Fabrication and Characterization*. Madrid: Port. Electrochimica Univ. Coimbra, 2007. http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?pid=S0872-19042007000100013&script=sci_arttext&tlng=en

Jaureguiberry, Mario E. *Efluentes Industriales* [en línea]. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, departamento de Ingeniería Industrial: Ed. Carlos Ayllon [ref. 20 de marzo de 2013]. Disponible en Web: http://fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/a13-3/material/efluentes_higiene.pdf/ Igualmente disponible en la Web de: <http://www.unicen.edu.ar>. (texto p. 20)

"*La Directiva de nitratos de la UE*". Comisión Europea, 9 enero 2010. Web. [ref. 16 octubre 2012]. <http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/index_en.html>. (texto p. 8)

Lenntech: Water Treatment Solutions [en línea]. Holanda: 1998-2014 [ref. agosto 2012]. "Aluminio-Al", tabla periódica, elemento. Disponible en Web: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>. (texto p. 10)

"*Las propiedades del hidróxido de sodio*". Quimnet, 25 abril 2008. Web. 5 septiembre 2012. <<http://www.quiminet.com/articulos/las-propiedades-del-hidroxido-de-sodio-2788210.htm>>. (texto p. 9)

"*Memorando Técnico LL Sallox C200 NF.*" . Ital Tecno, 18 Aug. 2000. Web. 22 Aug. 2012. <www.italtecono.com.br/pdf/LLSalloxC200NF.pdf>. (texto p. 10)

Mihelcic, James. *Ingeniería ambiental fundamentos, sustentabilidad, diseño.* S.I.: Alfaomega Grupo Editor, 2011. Impreso. (texto pp. 21, 24)

Arboleda Valencia, Jorge A.. "*Coagulación-Floculación.*" *Control del proceso coagulación-floculación*. Lima: CEPIS, 2006. Impreso. (texto p. 23)

Ramalho, R.S.. "*Caracterización de aguas residuales domésticas e industriales.*" Tratamiento de aguas residuales. . Reimpreso. Barcelona: Reverté S.A., 1996. . Impreso. (texto p. 24)

"*Schematic showing the distribution of ions around a charged particle*" [Imagen tomada de] "Automated protein characterization with the MPT-2 autotitrator". Pharmaceuticalonline [en línea]. 27 de julio de 2005. Disponible en: <<http://images.vertmarkets.com/crlive/files/images/143f9d5a-7b4c-4170-9170-c732205f3139/MI1.jpg>>. [Consulta: 2 de julio de 2012] (texto p. 21)

"*Uso y propiedades del Aluminio*". Arpal Alu. Web. 18 agosto 2012. <<http://aluminio.org/?p=821>>. (texto p. 10)

W. Whitten, Kenneth, Kenneth D. Gailey, and Raymond E. Davis. "Equilibrio Químico." *Química General*. México: Mc. Graw Hill , 1991. Impreso.

ANEXOS

Tabla 1. Procesos llevados a cabo en cada batea y sus características principales.

Batea	Proceso	Productos químicos	Concentración g/l	Temperatura C	pH	Controles de baños	Efluente continuo	Efluente discontinuo	Renovación
1	Desengrase ácido (agua de red)	Acido nítrico	150-190	Ambiente	s/espec	por análisis diarios	No	No	c/ 4 meses 23m3
		Alcohol isopropilico	8 a 10						
		Nonil fenol	0,5 - 0,8						
2	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	1	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
3	Desengrase alcalino (agua de red)	P3 Almeco libre de silicatos y cromatos	18 - 10	60 - 70	9,2 +/- 0,5	s/control	No	No	c/ 4 meses 23m3
4	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	6	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
5	Desengrase alcalino (agua de red)	Soda cáustica NaOH	80 - 100	57 - 63	s/espec	por análisis diarios	No	No	c/ 4 meses 23m3
		MG 43	12 a20						
		Aluminio	140						
6	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	13,1	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
7	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	8,7	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
8	Neutralizado (agua de red)	LL Neutrón	70 - 90	Ambiente	s/espec	por análisis diarios	No	No	c/ 4 meses 23m3
		Acido sulfúrico	70 - 90						

Tabla 1. Procesos llevados a cabo en cada batea y sus características principales (continuación).

9	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	0,8	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
10	Anodizado	Acido sulfúrico	180 -200	19 - 23	s/espec	por análisis diarios	No	Si	c/ 3 meses 11,5 m3
		Aluminio	menor 20						
		Agua de red							
11	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	1	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
12	Anodizado 2	Acido sulfúrico	180 - 200	19 - 23	s/espec	por análisis diarios	No	Si	c/ 3 meses 11,5 m3
		Aluminio	menor 20						
		Agua de red							
13	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	0,8	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
14	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	6	s/control	Si	Si	Semanal 23m3
15	Electro coloración	Sallox C 200	90 - 99	Ambiente	s/espec	por análisis diarios	No	No	c/ 4 meses 23 m3
		Acido sulfúrico	18 - 21						
		Agua destilada							
16	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	6	s/control	Si	Si	Semanal 23m3

Tabla 1. Procesos llevados a cabo en cada batea y sus características principales (continuación).

17									
18	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	7,5	s/control	Si	Si	Semanal 23 m ³
19	Enjuague	Agua de pozo circulante		Ambiente	7,1	s/control	Si	Si	Semanal 23 m ³
20	Sellado frio	Hardwall N1	15 - 19	27 - 30	6,6 - 7,2	por análisis diarios	No	No	c/ 4 meses 23 m ³
		Hardwall F	300 - 600 ppm						
		Agua destilada							
21	Enjuague	Agua de red		Ambiente	7,2	s/control	Si	Si	Semanal 23 m ³
22	Secado	Agua destilada		75 - 85	s/espec	s/control	No	No	c/ 4 meses 23 m ³

Tabla 2. Actividades industriales cuyos efluentes no pueden disponerse en pozos absorbentes (Resolución N° 336 Anexo I).

NIVEL DE RIESGO	RAMA DE ACTIVIDAD
1	Blanqueo, teñido y/o apresto textil (incluso prendas de vestir)
2	Fabricación de fibras artificiales y sintéticas
0	Preparación de fibras textiles vegetales excepto algodón
2	Lavandería industrial
1	Impregnación de madera
3	Pasta química (celulosa y alfacelulosa), pasta semi-química y pasta mecánica de madera
2	Impresión de diarios y revistas
2	Industrias anexas de las artes gráficas: estereotipia, electropía, litografía, fotograbados y operaciones análogas
2	Imprenta y encuadernación
3	Saladeros y peladeros de cueros
4	Curtiembre: teñido, acabado y otras operaciones
4	Curtiembre: teñido y apresto de pieles
4	Ácidos, bases y sales
2	Tanino y demás curtiembres de origen vegetal o sintético
2	Materia prima para la industriaplástica
3	Fábrica de resinassintéticas
4	Pintura, pigmentos, barnices, lacas, esmaltes y charoles

Tabla 2. Actividades industriales cuyos efluentes no pueden disponerse en pozos absorbentes (Resolución N° 336 Anexo I) – continuación

2	Tintas para imprentas
2	Tintas para escribir
2	Tintas, betunes, pastas y preparaciones similares para conservar cueros y pieles
2	Jabones, detergentes, velas
3	Fungicidas, insecticidas, fluidos desinfectantes y raticidas
3	Productos químicos diversos, no clasificados en otra parte
4	Refinerías de petróleo
3	Productos del petróleo y del carbón no elaborado en destilería
1	Industrias básicas del hierro o acero
1	Industrias básicas de metales no ferrosos
1	Fabricación de componentes, repuestos y accesorios para automotores (excepto motores)
1	Construcción de motores o turbinas
1	Fabricación de heladeras, lavarropas, acondicionadores de aire y afines
1	Fabricación de armas de artillería
4	Proceso de galvanización, estañado, niquelado, cromado, plateado y metalizado
2	Fabricación de acumuladores, pilas, baterías y carbones

Tabla 2. Actividades industriales cuyos efluentes no pueden disponerse en pozos absorbentes (Resolución N° 336 Anexo I) – continuación

2	Conductores eléctricos, aislados con esmalte, goma o plástico
2	Fabricación y armado de automotores
2	Elaboración de material fotosensible: películas, placas, telas y papeles-Industria cinematográfica
2	Revelado de materiales fotosensibles
2	Lavadero industrial de botellas
4	Clínicas, Sanatorios, Centros de Salud; de Diálisis y/o Asistenciales

Tabla 3. Parámetros de descargas de límites admisibles. La columna resaltada en rojo indica el tipo de desagüe que utiliza la industria y los parámetros que deben cumplir sus efluentes.

GRUPO	PARÁMETRO	UNIDAD	CÓDIGO TÉCNICA ANALÍTICA	LÍMITES PARA DESCARGAR A:			
				Colectora Cloacal	Con. Pluv. o cuerpo de agua superficial	Absorción por el suelo (b)	Mar abierto
I	Temperatura	° C	2550 B	≤ 45	≤ 45	≤ 45	≤ 45
	pH	upH	4500 H + B	7,0 - 10	6,5 - 10	6,5 - 10	6,5 - 10
	Sólidos sedim. 10 Min (2)	ml/l	Cono Imhoff	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Sólidos sedim. 2 horas (2)	ml/l	Cono Imhoff	≤ 5,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0
	Sulfuros	mg/l	4500 S=D	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 5,0	NE (c)
	S.S.E.E. (1)	mg/l	5520 B (1)	≤ 100	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Cianuros	mg/l	4500CN C y E	≤ 0,1	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Hidrocarburos totales	mg/l	EPA 418.1,6 ASTM3921-85	≤ 30	≤ 30	Ausente	≤ 30
	Cloro libre	mg/l	4500 CL G (DPD)	NE	≤ 0,5	Ausente	≤ 0,5
	Coniformes fecales	NMP/10ml	9223 A	≤ 20000	≤ 2000	≤ 2000	≤ 20000
II	D.B.O.	mg/l	5210 B	≤ 200	≤ 50	≤ 200	≤ 200

	D.Q.O.	mg/l	5220 D	≤ 700	≤ 250	≤ 500	≤ 500
	S.A.A.M.	mg/l	5540 C	≤ 10	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5330 C	≤ 2,0	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 2,0
	Sulfatos	mg/l	4500 SO ₄ E	≤ 1000	NE	≤ 1000	NE
	Carbono orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	≤ 10	≤ 2,0	≤ 0,1	≤ 10
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	≤ 1,0	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 10
III	Cinc	mg/l	3111 B y C	≤ 5,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 5,0
	Níquel	mg/l	3111 B y C	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0
	Cromo total	mg/l	3111 B y C	≤ 2,0	≤ 2,0	Ausente	NE
	Cromo Hexavalente	mg/l	3500 Cr D	≤ 0,2	≤ 0,2	Ausente	NE
	Cadmio	mg/l	3111 B y C	≤ 0,5	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	≤ 0,02	≤ 0,005	Ausente	≤ 0,005
	Cobre	mg/l	3500 Cu D ó 3111 B y C	≤ 2,0	≤ 1,0	Ausente	≤ 2,0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D ó 3111 B y C	≤ 5,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 5,0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 0,5
	Bario	mg/l	3111 B	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0

	Boro	mg/l	4500 B B	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0
	Selenio	mg/l	3114 C	≤ 0,1	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	≤ 1,0	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Plaguicidas Organoclorados (g)	mg/l	6630 B	≤ 0,5	≤ 0,05	Ausente	≤ 0,05
	Plaguicidas Orgafosforados (g)	mg/l	6630 B	≤ 1,0	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
IV	Nitrógeno total (d)	mg/l	4500 N org B (NTK)	≤ 105	≤ 35	≤ 105	≤ 105
	Nitrógeno amoniacal (d)	mg/l	4500 NH ₃ +F	≤ 75	≤ 25	≤ 75	≤ 75
	Nitrógeno Orgánico (d)	mg/l	4500 N org B	≤ 30	≤ 10	≤ 30	≤ 30
	Fósforo total	mg/l	4500 PC	≤ 10	≤ 1,0	≤ 10	≤ 10

Tabla 4. Parámetros permisibles para tratamiento biológicos del suelo, landfarming.

Tratamiento Biológico en Suelos (Según Niveles Guía de Calidad de Suelo para Uso Agrícola)	
Parámetro (los parámetros se refieren a metales pesados y no son excluyentes de otros requerimientos que establezca la autoridad competente o disposiciones locales para este tipo de tratamiento)	Nivel Guía para Uso Agrícola ug/g de peso seco
Cadmio Total	3
Cobalto	40
Cromo Total	750
Cromo Hexavalente	8
Mercurio Total	0.8
Níquel Total	150
Plata Total	20
Plomo Total	375
Vanadio	200

Tabla 5. Análisis del efluente alcalino y su comparación con los parámetros establecidos por la Resolución N° 336.

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
pH	12,41	6,5 -10,0
SSEE	21,3 mg/l	<50 mg/l
Sulfuros	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
Sólidos sedimentables 10'	0,3 mg/l	<0,1 mg/l
Sólidos sedimentables 2 hs	0,4 mg/l	<1,0 mg/l
DBO	263 mg/l	<50 mg/l
Cobalto	0,03 mg/l	<2,0 mg/l
Oxígeno Consumido	110 mg/l	N.E.
Bario	0,002 mg/l	<2,0 mg/l
Boro	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Sustancias Reactivas al Azul de Ortodulina	0,1 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Trivalente	0,01 mg/l	N.E.
Cromo Hexavalente	0,01 mg/l	0,2 mg/l
Cianuros Totales	0,002 mg/l	<1,0 mg/l

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
Cianuros Destructibles por Cloración	0,002 mg/l	<0,1 mg/l
Plomo	0,05 mg/l	<0,1 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l	<0,005 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l	<0,5 mg/l
Sustancias Fenólicas	0,001 mg/l	<0,5 mg/l
DQO	659 mg/l	< 250 mg/l
Hidrocarburos Totales	6,0 mg/l	<30 mg/l
Cloro Libre Residual	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
Hierro Soluble	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Total	0,01 mg/l	<2,0 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	0,1 mg/l	<25 mg/l
Zinc	0,1 mg/l	-
Níquel	0,02 mg/l	<2,0 mg/l
Aluminio	1.300 mg/l	<2,0 mg/l
Sulfato	4.130 mg/l	N.E.
Nitrógeno Total	70 mg/l	<35 mg/l
Coliformes Totales	300 NMP	<2.000 NMP

Tabla 6. Análisis del efluente ácido y su comparación con los parámetros establecidos por la Resolución N° 336.

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
pH	1,82	6,5 -10,0
SSEE	17,4 mg/l	<50 mg/l
Sulfuros	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
Sólidos sedimentables 10'	0,1 mg/l	<0,1 mg/l
Sólidos sedimentables 2 hs	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
DBO	59 mg/l	<50 mg/l
Cobalto	0,03 mg/l	<2,0 mg/l
Oxígeno Consumido	25 mg/l	N.E.
Bario	0,002 mg/l	<2,0 mg/l
Boro	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Sustancias Reactivas al Azul de Ortodulina	0,1 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Trivalente	0,01 mg/l	N.E.
Cromo Hexavalente	0,01 mg/l	0,2 mg/l
Cianuros Totales	0,002 mg/l	<1,0 mg/l

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
Cianuros Destructibles por Cloración	0,002 mg/l	<0,1 mg/l
Plomo	0,05 mg/l	<0,1 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l	<0,005 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l	<0,5 mg/l
Sustancias Fenólicas	0,001 mg/l	<0,5 mg/l
DQO	149 mg/l	< 250 mg/l
Hidrocarburos Totales	5,1 mg/l	<30 mg/l
Cloro Libre Residual	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
Hierro Soluble	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Total	0,01 mg/l	<2,0 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	0,1 mg/l	<25 mg/l
Zinc	0,1 mg/l	-
Níquel	0,02 mg/l	<2,0 mg/l
Aluminio	4,30 mg/l	<2,0 mg/l
Sulfato	2.710 mg/l	N.E.
Fósforo Total	0,01 mg/l	1,0 mg/l
Nitrógeno Total	90 mg/l	<35 mg/l
Coliformes Totales	21 NMP	<2.000 NMP

Tabla 7. Análisis de los efluentes combinados y su comparación con los parámetros establecidos por la Resolución N° 336.

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
pH	12,15	6,5 -10,0
SSEE	20,2 mg/l	<50 mg/l
Sulfuros	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
Sólidos sedimentables 10'	0,2 mg/l	<0,1 mg/l
Sólidos sedimentables 2 hs	0,2 mg/l	<1,0 mg/l
DBO	140 mg/l	<50 mg/l
Cobalto	0,03 mg/l	<2,0 mg/l
Oxígeno Consumido	59 mg/l	N.E.
Bario	0,002 mg/l	<2,0 mg/l
Boro	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Sustancias Reactivas al Azul de Ortodulina	0,1 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Trivalente	0,01 mg/l	N.E.
Cromo Hexavalente	0,01 mg/l	0,2 mg/l
Cianuros Totales	0,002 mg/l	<1,0 mg/l

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
Cianuros Destructibles por Cloración	0,002 mg/l	<0,1 mg/l
Plomo	0,05 mg/l	<0,1 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l	<0,005 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l	<0,5 mg/l
Sustancias Fenólicas	0,001 mg/l	<0,5 mg/l
DQO	356 mg/l	< 250 mg/l
Hidrocarburos Totales	3,2 mg/l	<30 mg/l
Cloro Libre Residual	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
Hierro Soluble	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Total	0,01 mg/l	<2,0 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	0,1 mg/l	<25 mg/l
Zinc	0,1 mg/l	-
Níquel	0,02 mg/l	<2,0 mg/l
Aluminio	1250 mg/l	<2,0 mg/l
Sulfato	3.101 mg/l	N.E.
Fósforo Total	0,01 mg/l	1,0 mg/l
Nitrógeno Total	68 mg/l	<35 mg/l
Coliformes Totales	280 NMP	<2.000 NMP

Tabla 8. Análisis del efluente luego de realizadas todas las modificaciones y la aplicación del fosfato trisódico. Comparándolo con los parámetros de la resolución N° 336.

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
pH	8	6,5 -10,0
SSEE	27,2 mg/l	<50 mg/l
Sulfuros	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
Sólidos sedimentables 10'	0,1 mg/l	<0,1 mg/l
Sólidos sedimentables 2 hs	0,1 mg/l	<1,0 mg/l
DBO	18 mg/l	<50 mg/l
Cobalto	0,03 mg/l	<2,0 mg/l
Oxígeno Consumido	7 mg/l	N.E.
Bario	0,002 mg/l	<2,0 mg/l
Boro	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Sustancias Reactivas al Azul de Ortodulina	0,7 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Trivalente	0,01 mg/l	N.E.
Cromo Hexavalente	0,01 mg/l	0,2 mg/l
Cianuros Totales	0,002 mg/l	<1,0 mg/l

Parámetros Básicos y Analitos Adicionales		Resolución N° 336
Cianuros Destructibles por Cloración	0,002 mg/l	<0,1 mg/l
Plomo	0,05 mg/l	<0,1 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l	<0,005 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l	<0,5 mg/l
Sustancias Fenólicas	0,05 mg/l	<0,5 mg/l
DQO	45 mg/l	< 250 mg/l
Hidrocarburos Totales	8,9 mg/l	<30 mg/l
Cloro Libre Residual	0,5 mg/l	<1,0 mg/l
Hierro Soluble	0,08 mg/l	<2,0 mg/l
Cromo Total	0,01 mg/l	<2,0 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	0,03 mg/l	<25 mg/l
Zinc	0,1 mg/l	-
Níquel	1 mg/l	<2,0 mg/l
Aluminio	0,05 mg/l	<2,0 mg/l
Sulfato	96 mg/l	N.E.
Fósforo Total	1,0 mg/l	1,0 mg/l
Nitrógeno Total	0,08 mg/l	<35 mg/l
Coliformes Totales	193 NMP	<2.000 NMP

Tabla 9. Últimos análisis del efluente demostrando la efectividad del fosfato trisódico y su comparación con los parámetros de la Resolución N° 336.

Parámetro	17/01/2013	16/04/2013	Resolución N° 336
pH	7,37	7,30	6,5 - 10,0
SSEE	29,4 mg/l	24,3 mg/l	≤ 50 mg/l
Sulfuros	0,1 mg/l	0,1 mg/l	≤ 1,0 mg/l
Sólidos sedimentables 10'	0,1 mg/l	0,1 mg/l	≤ 0,1 mg/l
Sólidos sedimentables 2hs	0,1 mg/l	0,1 mg/l	≤ 1,0 mg/l
DBO	59 mg/l	50 mg/l	≤ 50 mg/l
Detergentes	0,9 mg/l	0,8 mg/l	≤ 2,0 mg/l
DQO	150 mg/l	149 mg/l	≤ 250 mg/l
HC	8,9 mg/l	10,2 mg/l	≤ 30 mg/l
Aluminio	0,2 mg/l	0,2 mg/l	≤ 2,0 mg/l

Diagrama 1. Planta de

Tratamiento de Efluentes original.

DIAGRAMA PTE ORIGINAL

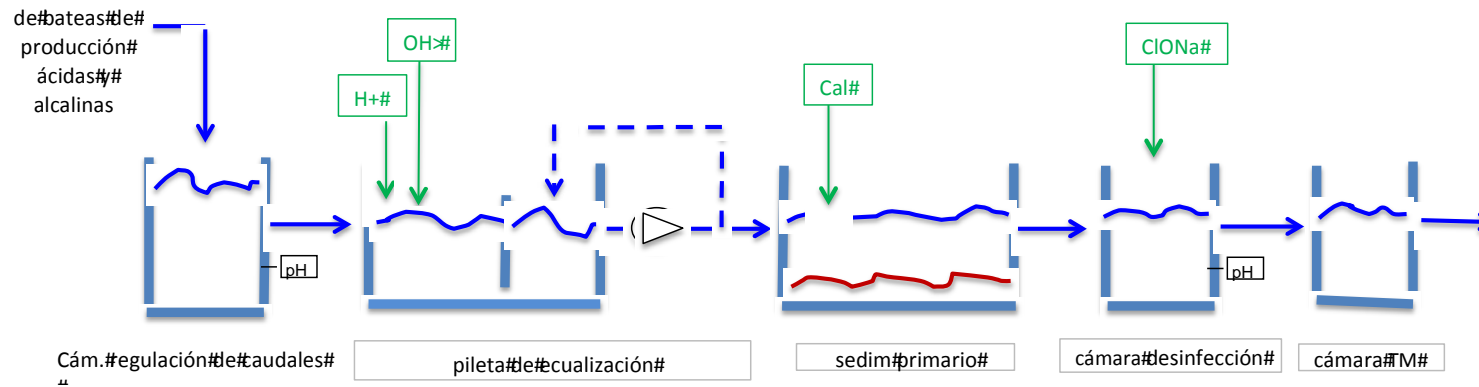


Diagrama 2. Modificación PTE Etapa 1.

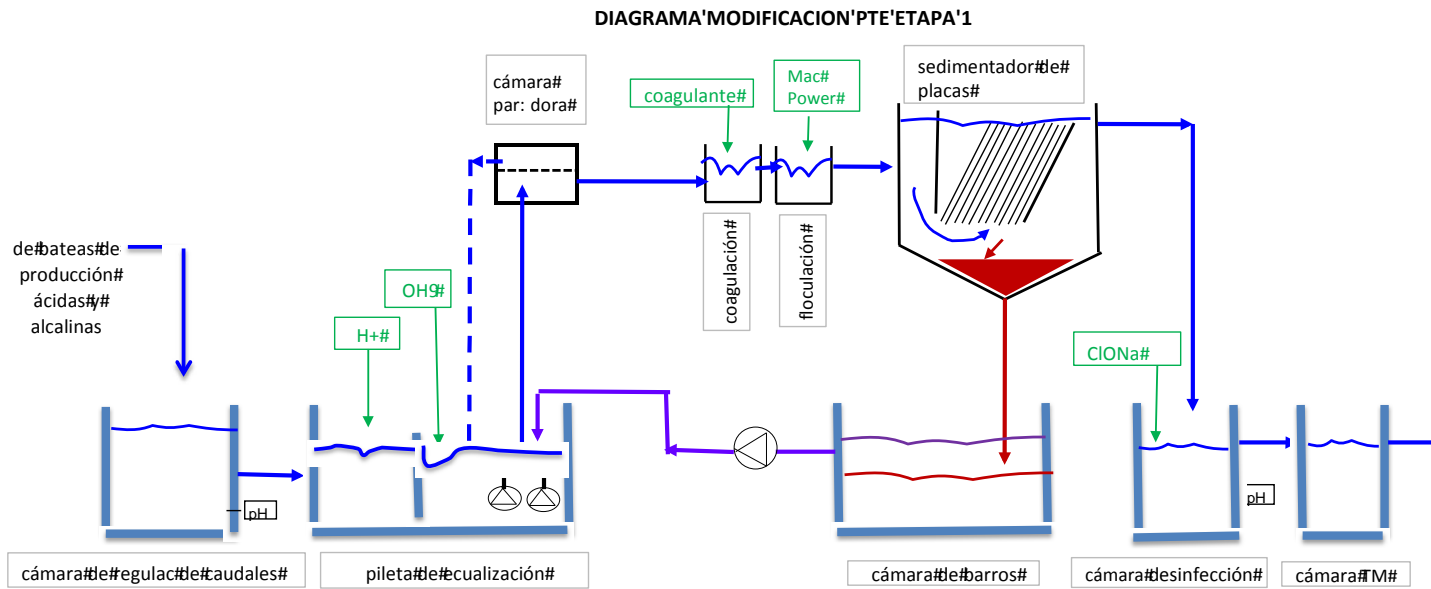
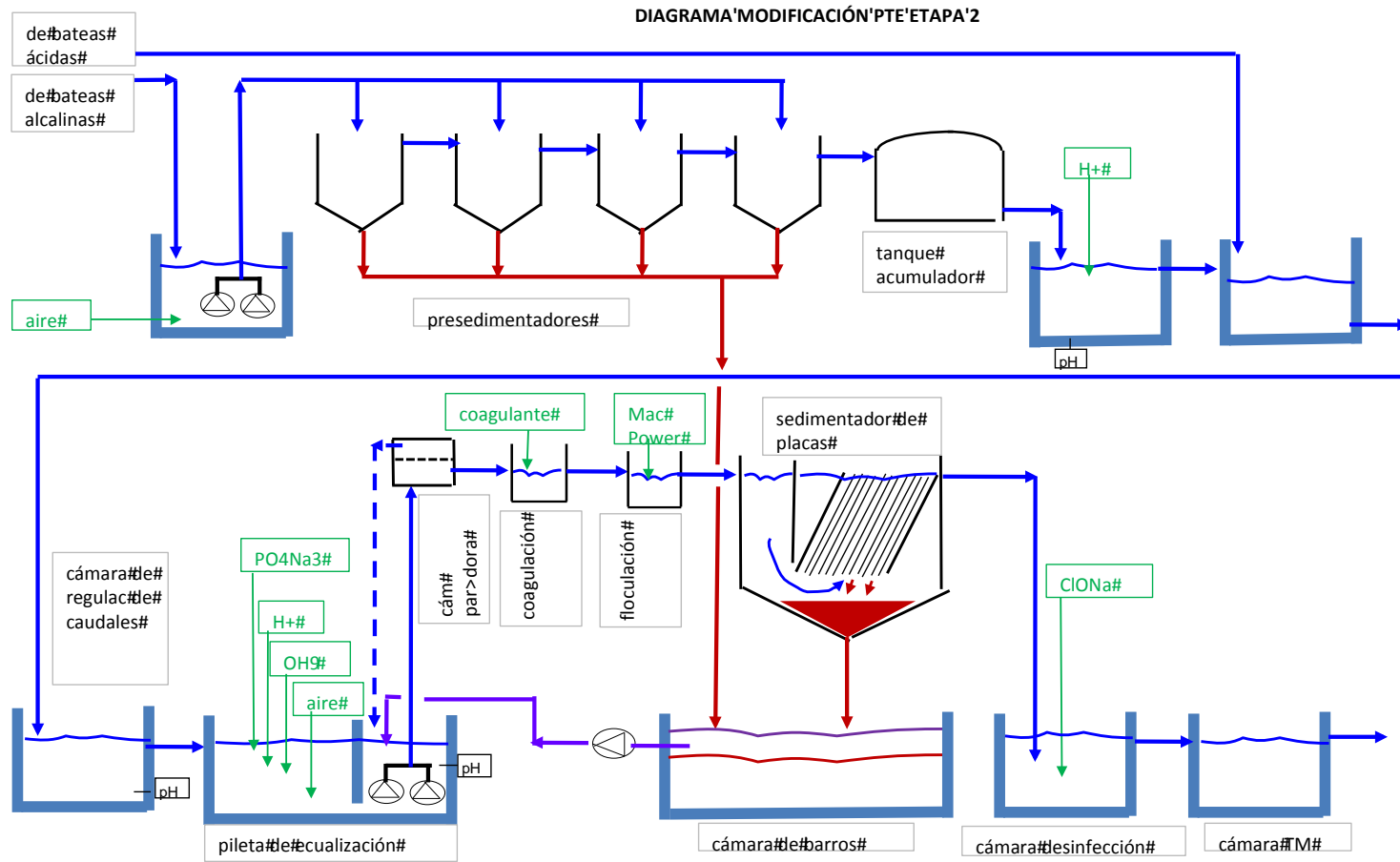


Diagrama 3. Modificación PTE Etapa 2.



Fotos

Foto 1. Pileta de ecualización. Foto de planta primitiva de tratamiento.



Foto 2. Bombas de impulsión; elevan el efluente a la etapa de coagulación y floculación.



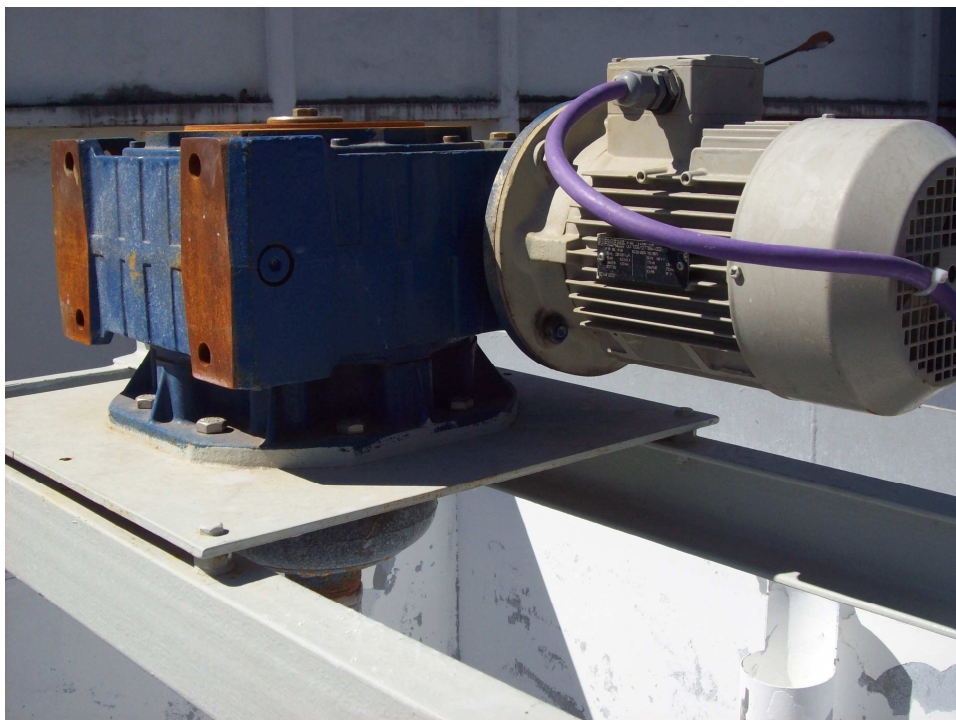
Foto 3. Caja partidora de efluentes para la recirculación.



Foto 4. Flash mixer en la etapa de agitación.



Fotos 5 y 6. Floculador con moto reductor.



Fotos 7, 8, 9. Sedimentador por placas.





Foto 10. Tolva de purga de barro.

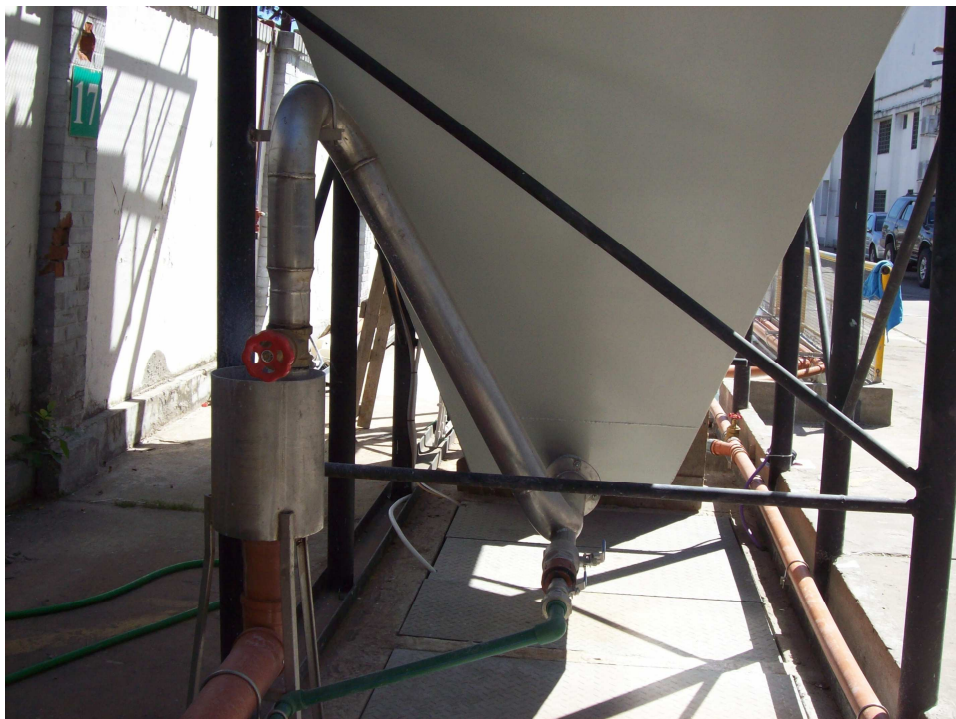


Foto 11. Sistema de recirculación de líquido sobrenadante en la cámara de barro.



Fotos 12, 13 y 14. Conjunto de tanques dosificadores de ácidos y bases.





Foto 15. Presidementadores.

