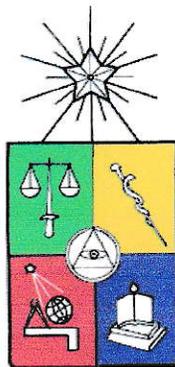


UCH-FC  
Q. Ambiental  
O 12  
C. 1



**Evaluación del funcionamiento de una Planta de  
Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos (RILes),  
provenientes de un proceso de galvanoplastía.**

Seminario de título entregado a la  
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

En cumplimiento parcial de los requisitos

Para optar al título de

**QUIMICO AMBIENTAL**



**Marcela Alejandra Obando Levill**

**Director de seminario de Título: Ing. Civ. Quim. Sandra Pinochet**

**Profesor Patrocinante: Dra. Isel Cortés**



Marzo 2007.

**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**UNIVERSIDAD DE CHILE.**

**INFORME DE APROBACIÓN**  
**SEMINARIO DE TITULO**

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la  
Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por la  
alumna:

Marcela Alejandra Obando Levill

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación del Seminario de Título  
como requisito para optar al título de Químico Ambiental.

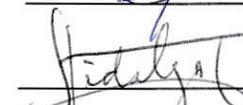
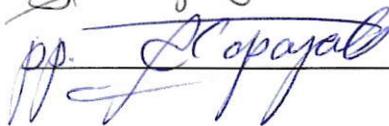
COMISIÓN

Director: Ing. Civ. Quim. Sandra Pinochet

Prof. Patrocinante: Dra. Isel Cortés

M. Cs. Julio Hidalgo

M. Cs. Ricardo Serrano

  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  


## RESEÑA ALUMNA.



### Datos personales

**Nombre:** Marcela Alejandra Obando Levill.

**Fecha de nacimiento:** 15 agosto 1980

**Nacionalidad:** Chilena

**Estado civil:** Soltera

**Teléfono:** 09-84539191

**e-mail:** marcelaobando@gmail.com, mavia@esfera.cl

### Estudios Superiores

**1999-2001:** Bachillerato en Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Chile

**2002- 2006:** Licenciatura en Ciencias Ambientales con mención en Química.

Química Ambiental. Facultad de Ciencias .Universidad de Chile

### **Experiencia laboral**

2004 Agosto-Diciembre: Laboratorio de Química Atmosférica. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile. Determinación de iones: nitrato, amonio y sulfato, en material particulado.

2005 Febrero-Marzo: Práctica profesional Hidronor Chile. Validación de métodos analíticos y Estudios de costos.

2006 Marzo-Julio: Ayudante laboratorio de Química de Suelos.

2006 Agosto-Diciembre: Ayudante laboratorio de Contaminación de Suelos.

2006 Abril-Diciembre: Desarrollo Seminario de Título. Ducasse Industrial.

### **Unidad de Investigación**

Validación de un método para determinación de iones nitratos y amonio en material particulado en la atmósfera urbana de la región Metropolitana. 2005

### **Investigación**

Participación en las IV Jornadas Chilenas De Física y Química Ambiental. 13-15 abril 2005. Universidad de la frontera. Temuco. Con el trabajo "Determinación de iones en material particulado en la atmósfera urbana de la región Metropolitana".

Dedicado a mis padres  
Lidia y Luis.



## **AGRADECIMIENTOS.**

A mi familia mis Padres, Hermanos y a Toyita por su cariño y por estar siempre apoyándome.

A Alexis por innumerables cosas. Te amo.

A mis amigas y compañeras Gema, Vicky y Vivi gracias por las veces que estudiamos juntas y por todas las otras cosas que compartimos. A mis otras amigas Pi, Evelyn y Gigi y Vero las quiero mucho.

A Ducasse Industrial y toda la gente que colaboró a que este trabajo se pudiese realizar de la mejor manera, agradezco a mi directora Sandra Pinochet por la constante preocupación por mi persona y por este trabajo.

Al Centro Nacional Del Medio Ambiente (CENMA), al Dr. Manuel Leiva y Dra Isel Cortés que permitieron realizar parte de este trabajo en sus instalaciones y a la gente que allí me ayudó en especial a Rocío y Ariela.

Finalmente y de manera muy especial quiero expresar mi agradecimiento a mi profesora patrocinante Dra Isel Cortés, por su excelente disposición, ayuda prestada y gran paciencia.



## INDICE GENERAL



RESUMEN

ABSTRACT

I: INTRODUCCION

1.1 Generalidades proceso de galvanoplastia.....	1
1.2 La empresa Ducasse Industrial .....	6
1.3 .Descripción proceso .....	8
1.4 Generación de residuos .....	12
1.5 Descripción Planta tratamiento de RILes y secuencia de tratamiento .....	14
1.6 Marco legal.....	20
1.7 Exposición problemática de la empresa.....	23
1.8 Hipótesis.....	24
1.9 Objetivos .....	24

II: MATERIALES Y METODOS

2.1Caracterización efluentes .....	25
2.1.1Puntos de muestreo .....	26
2.1.2 Parámetros a analizar.....	26
2.1.3 Extracción de muestra .....	27
2.1.4 Métodos de análisis .....	28

2.2. Levantamiento de problemas a nivel técnico y de secuencia en Planta Tratamiento de RILes.....	29
2.3 Método para la evaluación reactivos usados .....	29
2.4 Método de evaluación eficiencia planta tratamiento RILes y cuantificación de lodos.	30

III: RESULTADOS

3.1.-Caracterización del RIL sin tratamiento .....	32
3.2 Identificación de principales problemas de secuencia tratamiento.....	33
3.3 Levantamiento de problemas a nivel técnico .....	35
3.3.1 Sedimentador .....	38
3.4 Evaluación reactivos usados.....	41
3.5 Evaluación eficiencia planta tratamiento RILes y generación lodos.....	45
3.6 Capacitaciones y listas de chequeo .....	49
3.7 Desarrollos de propuestas para optimizar la Planta Tratamiento RILes.....	50
3.8 Requisitos para legalización Planta Tratamiento de RILes.....	56
3.8.1 Necesidad de presentación de Declaración Impacto Ambiental DIA o Estudio Impacto Ambiental EIA.....	56

IV: DISCUSION .....	58
---------------------	----

V: CONCLUSIONES.....	62
----------------------	----



VI: RECOMENDACIONES.....	65
VII: BIBLIOGRAFIA.....	66
Anexo 1: Fundamentos técnicas de análisis utilizadas.....	67
Anexo 2: Listas de chequeo .....	68
Anexo 3: Tiempos de retención hidráulico y estimación del volumen para nuevo sedimentador .....	71



## INDICE FIGURAS



Figura 1. Representación proceso zincado.....	4
Figura 2. Productos Ducasse Industrial .....	6
Figura 3. Entradas y salidas de materiales y contaminantes por etapas .....	11
Figura 4. Esquema planta tratamiento riles Ducasse Industrial .....	16
Figura 5. Puntos de muestreo Planta Tratamiento RILes .....	31
Figura 6. Esquema Neutralizador y Sedimentador y dimensiones.....	39
Figura 7. Volumen RIL desplazado desde Neutralizador a Sedimentador.....	39
Figura 8. Volumen operativo real del Sedimentador.....	40
Figura 9. Secuencia para pruebas con floculante .....	43
Figura 10. Grafico de contenido de zinc .....	46
Figura 11. Contenido de zinc en función del pH.....	47
Figura 12. Vista superior sedimentador que se propone comprar.....	51
Figura 13. Saco polipropileno utilizado como filtro.....	53
Figura 14. Prueba deshidratación lodos. Día 1.....	53
Figura 15. Prueba deshidratación lodos. Día 4.....	54
Figura 16. Ubicación del sistema deshidratador en Planta Tratamiento de RILes.....	60

## INDICE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones de extracción de muestras según D.S 609/98 .....	27
Tabla 2: Métodos análisis .....	28
Tabla 3: Dosificaciones de floculante.....	30
Tabla 4: Caracterización RIL sin tratamiento .....	32
Tabla 5: Problemas técnicos planta tratamiento de RILes Ducasse Industrial .....	35
Tabla 6: Resultados pruebas de floculantes .....	44
Tabla 7: Contenido de metales a pH 10.....	48



## **RESUMEN**

El agua es un insumo principal para la mayoría de los procesos industriales. El tratamiento de los residuos industriales líquidos puede variar en su complejidad, ligado a las propiedades del efluente crudo.

La galvanoplastia es una actividad que consiste en el recubrimiento metálico de superficies, principalmente el acero, de manera de evitar la corrosión. Por otra parte genera efluentes con impactos significativos, debido a la composición de sus vertidos, que son difícilmente biodegradables y contienen metales pesados, lo que hace imprescindible un tratamiento previo a su descarga ya sea a los cuerpos de aguas superficiales o al alcantarillado.

En el presente trabajo se pretende realizar el diagnóstico de la situación operacional de la planta de tratamiento de Ducasse Industrial y proponer alternativas de mejora.

Se encontró que existía una serie de problemas a nivel técnico y de secuencia de tratamiento que impedían el cumplimiento de la norma respectiva en cuanto al contenido de zinc.

Se propuso varias alternativas de mejoras, de las cuales varias se han implementado de manera exitosa. Algunas de estas alternativas se encuentran todavía en ejecución.

## **ABSTRACT**

Water is a main component for the majority of industrial processes. Industrial wastewater treatments can vary in its complexity, linked to the crude effluent properties.

Electroplating, is the deposition of a metallic coating on to an object, especially steel, in order to avoid corrosion process. This activity generates effluents that cause significant impacts due to its compositions, because they are hardly biodegradable and contains high concentrations of heavy metal; that is why a proper treatment before discharge it to waters bodies or sewerage is necessary.

This work aims at make an operational diagnosis for wastewater treatment system of Ducasse Industrial, and to propose improvement alternatives.

Several problems at technical and treatment sequences were found. It was strongly related with the non compliment of the environmental regulations related to zinc contents in the final waste.

Some improvement alternatives were proposed, most of them are already done in a successfully way even when some others are not ready yet.

## I: INTRODUCCION

### 1.1 Generalidades proceso de galvanoplastía.

El acero es un material fundamental en la construcción moderna, debido a sus excelentes propiedades mecánicas, flexibilidad y adaptabilidad, peso reducido facilidad de transporte y montaje.

Sin embargo, una característica desfavorable de este material, es su facilidad de oxidación. El acero desprotegido puede ser dañado seriamente por elementos del medio ambiente como la lluvia, el viento y temperaturas extremas volviendo el hierro a su forma original la cual presenta una estructura muy frágil.

El hierro, principal componente del acero, se encuentran en la naturaleza en forma de óxidos, sulfuros y carbonatos, (hematites, magnetita, piritas, siderita). Al formar estos compuestos se encuentra en su estado oxidado, sin embargo es posible llevar al metal a su estado reducido, mediante el aporte de grandes cantidades de energía, sin embargo este es un estado alterado del hierro y por lo tanto siempre tenderá a volver a su estado de menor energía es decir a la forma oxidada.(1)

Por otra parte el zinc, se encuentra en la naturaleza al igual que el hierro formando sulfuros, óxidos y carbonatos ( blenda, cincita , Smithonita)

Los métodos de protección a base de recubrimientos de zinc, se fundamentan en el hecho que al oxidarse, el zinc se recubre de una capa blanca muy estable e insoluble de sales de zinc que impide el progreso de la corrosión mientras no sea removida. En cambio en el hierro, la oxidación se produce progresivamente hasta la total destrucción del metal.

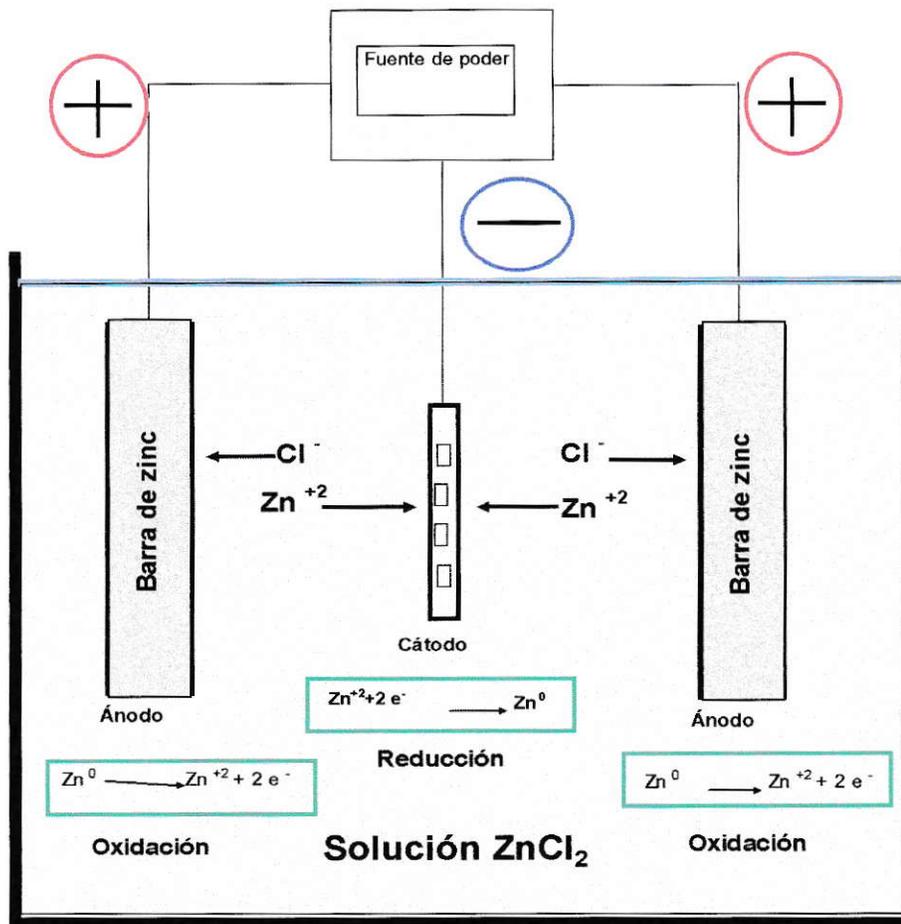
Estos recubrimientos tienen la propiedad de que mientras haya depósito de zinc en la superficie del metal base, éste seguirá protegido de la corrosión, eso es debido a que, aunque esta película superficial de sales que se forma en la superficie del zinc se destruya o elimine dejando al descubierto el hierro o acero, el ataque corrosivo se orienta hacia el metal del recubrimiento.

La galvanoplastia consiste en el recubrimiento mediante una capa metálica sobre una superficie. Se lleva a cabo por acción de la corriente eléctrica. El depósito de la capa metálica sobre la superficie se logra aplicando carga negativa sobre el objeto a ser recubierto y sumergiéndolo en una disolución (baño) que contiene una sal del catión metálico con el cual se desea recubrir la superficie (en otras palabras el objeto a ser galvanizado actúa como cátodo de una celda electrolítica). Los iones de la sal que transportan las cargas positivas son atraídos a la superficie, y este provee de electrones para neutralizar las cargas positivas del ión y llevarlo a su forma metálica.(1)

Uno de los recubrimientos metálicos más utilizados es el zinc el cual por sus características de alta resistencia a la corrosión, aspecto y costo económico es uno de los metales más utilizados para estos fines. El hierro o el acero recubiertos con zinc se

denominan galvanizados, existen distintos métodos, además de la galvanoplastia, de lograr estos galvanizados: Proceso de Hot-Dip, este proceso consiste en la inmersión del acero en zinc fundido a 450° C, temperatura a la cual hierro y el zinc comparten una gran afinidad, que permite la formación de una aleación donde el zinc queda en la parte exterior, Sherardizing que se logra exponiendo el artículo a zinc en polvo cerca de su punto de fusión y finalmente Metalizado rociando el objeto a ser recubierto con zinc fundido.

De manera genérica si se desea recubrir una superficie metálica con un metal M, el objeto a recubrir debe ser conectado al polo negativo de una fuente de poder, el polo positivo de la fuente de poder se conecta a una barra del metal M a ser depositado. A continuación se sumergen en un baño que contiene una sal del catión metálico  $MX_2$  esta sal se disocia en agua en cationes  $M^{+2}$  y aniones  $X^-$ , según esto los cationes metálicos son atraídos al cátodo (en este caso la pieza que se necesita recubrir) donde son reducidos por acción de los electrones, mientras a la barra del metal (ánodo) llegan aniones  $X^-$  en donde los electrones son removidos de la barra de metal oxidándose a cationes metálicos de esta forma los cationes metálicos consumidos de sal son reemplazados en el baño (1). Esto se representa esquemáticamente para el caso particular del zincado ácido en la Figura.1.



**Figura 1:** Representación proceso zincado ácido.

Dentro de los metales que se utilizan en la galvanoplastia se encuentran: cromo, cobre, plata, cadmio, níquel y zinc. Es usual también que sobre la capa de recubrimiento se ponga otra capa, en general de cromo, a lo que se llama pasivado. El mismo se utiliza para brindarle protección adicional a la pieza, mejorando la resistencia de ella a la corrosión, así como también embellecer la pieza con fines comerciales, por ejemplo existen cromados negros, azules, amarillos.

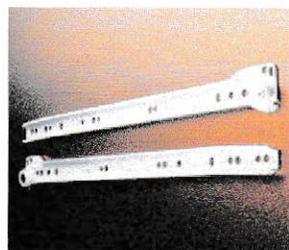
El desarrollo de la industria de la galvanoplastia se ha incrementado un gran número de aplicaciones por ejemplo en la industrias automotriz en la cual los cromados se utilizan para mejorar la resistencia a la corrosión de sus piezas, en un gran número de piezas que se utilizan para construcción como: pernos, tornillos, correderas, rieles, en las industria electrónica, joyería, grifería etc.

## 1.2 La Empresa Ducasse Industrial.

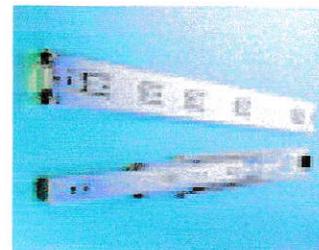
Ducasse Industrial es una empresa que lleva más de treinta años diseñando y fabricando herrajes para la industria del mueble y la construcción, contando con un mercado nacional e internacional en menor medida. Las líneas de productos que se fabrican son sistemas de correderas para muebles y closet, sistemas de correderas livianas, organizadores y sistemas de correderas pesadas. Todos estos productos son fabricados con máquinas y equipos de origen europeo, los cuales aseguran la mejor calidad en los resultados. La fábrica se ubica en la Región Metropolitana, comuna de Quilicura, cuenta con alrededor de 200 empleados, que trabajan en tres turnos. Ducasse Industrial cuenta con una línea de pintura y tres líneas de galvanoplastía para dar el acabado que corresponda a cada uno de los productos que fabrica. Los mismos se ejemplifican en la Figura 2.



Sistema de corredera colgante



Corredera para cajones



Corredera Telescópica cajones

**Figura 2:** Productos Ducasse Industrial.

La preocupación por la calidad ha permitido que ya se cuente con la certificación ISO 9001:2000.

La misión de Ducasse Industrial es ser una organización cuyo propósito es la fabricación y comercialización de herrajes. Ser una empresa con sólida red de comercialización dentro y fuera del país y se posee un fuerte compromiso con las personas, esperando que se desarrollen en la empresa profesional y humanamente. (2)

La visión de Ducasse Industrial es convertirse en la empresa más importante del rubro en toda Latinoamérica, exportando sus productos a todo el mundo. Se busca ser apreciados por ser una empresa innovadora, diferente a todo lo existente en herrajes, con una habilidad y agilidad de movimientos que permita abordar nichos de mercado dejados de lado por las empresas gigantes existentes en el rubro. La empresa se visualiza con una amplia red de oficinas que permiten distribuir no sólo los productos, sino que todos los que complementen la oferta. (2)

### 1.3.-Descripción del proceso.

El proceso de galvanoplastia comienza con un **pre-tratamiento o preparación de la pieza** que se desea ser recubierta y se desarrollan para mejorar y asegurar la adhesión de los recubrimientos electrolíticos a las piezas ya que el éxito del proceso depende de una buena limpieza que asegure la excelencia en el acabado y garantice la duración del producto (3). Existe una serie de contaminantes que de estar presentes en la pieza pueden producir un recubrimiento pobre y hasta impedirlo, entre éstos se pueden mencionar polvo proveniente de procesos anteriores por ejemplo cortes o pulidos, contaminantes provenientes del medio ambiente, capa de óxidos de la pieza metálica, lubricantes, aceites, grasas ,aceites de cortes, etc. formando una mezcla bastante compleja. Las etapas de pre-tratamiento consisten generalmente en los pasos que se detallan a continuación:

- **Desengrases:** En esta etapa, se procede a la inmersión de la superficie a tratar en una solución química, durante un tiempo prefijado, empleando disolventes, detergentes o por electrólisis, con la finalidad de retirar de la pieza restos de grasas y aceites de la superficie. Para ello se utilizan soluciones fuertemente alcalinas y temperaturas que bordean los 60°C.
- **Decapado:** En esta operación se eliminan los óxidos metálicos e incrustaciones de la superficie a recubrir. Según el tipo de óxido a eliminar se utilizan baños

ácidos en frío o en caliente. Se realiza en soluciones de ácido, generalmente clorhídrico, además se le adicionan al baño algunos inhibidores.

- **Desplaque:** Este paso se utiliza solo en el caso de ser necesario, y sirve para recuperar piezas que serán reprocesadas. Se utilizan soluciones ácidas.

Posterior a las etapas de pre-tratamiento viene la **depositación del recubrimiento metálico** (en éste caso zinc), en el baño de zincado ácido, el que se encuentra compuesto por una sal de este metal, cloruro de zinc y una serie de aditivos que permiten obtener una pieza lisa y brillante. El proceso de zincado ácido no es, hoy en día, el proceso de zincado más utilizado. Este metal es atacado por los ácidos diluidos, aunque lo hace lentamente cuando el ácido está concentrado.

La pieza a ser zincada como se mencionó anteriormente actúa como un cátodo donde se deposita el metal y las barras de metálicas de zinc son los ánodos. La pieza a ser zincada debe ser posicionada al centro del baño de manera que pueda obtener un recubrimiento por ambos lados.

El espesor de la capa de recubrimiento está determinado por el tiempo que la pieza esté sumergida en el baño, los espesores de las capas son del orden de los micrones, sin embargo estos espesores son muy difíciles de lograr en forma homogénea en la pieza debido a factores como la geometría, forma y contorno. En general las piezas con bordes afilados tendrán menores espesores en las partes más escondidas esto es debido a que la corriente llega de manera más fácil a las partes sobresalientes.

Una vez que se ha realizado el proceso de zincado de las piezas, ya sea para incrementar su resistencia a la corrosión, o bien con fines de tipo decorativos se les somete a un proceso de pasivación crómica o cromatizado. En el proceso de galvanización se utiliza el término **pasivado o cromatizado** refiriéndose a la película de cromato de zinc que se forma por la reacción química del ácido crómico con el recubrimiento. Esta pasivación puede ser de cuatro tipos:

- pasivación azul (resistencia a la corrosión baja)
- pasivación negra (resistencia de tipo medio).
- pasivación verde (alta resistencia a la corrosión)
- pasivación amarillo (alta resistencia a la corrosión)

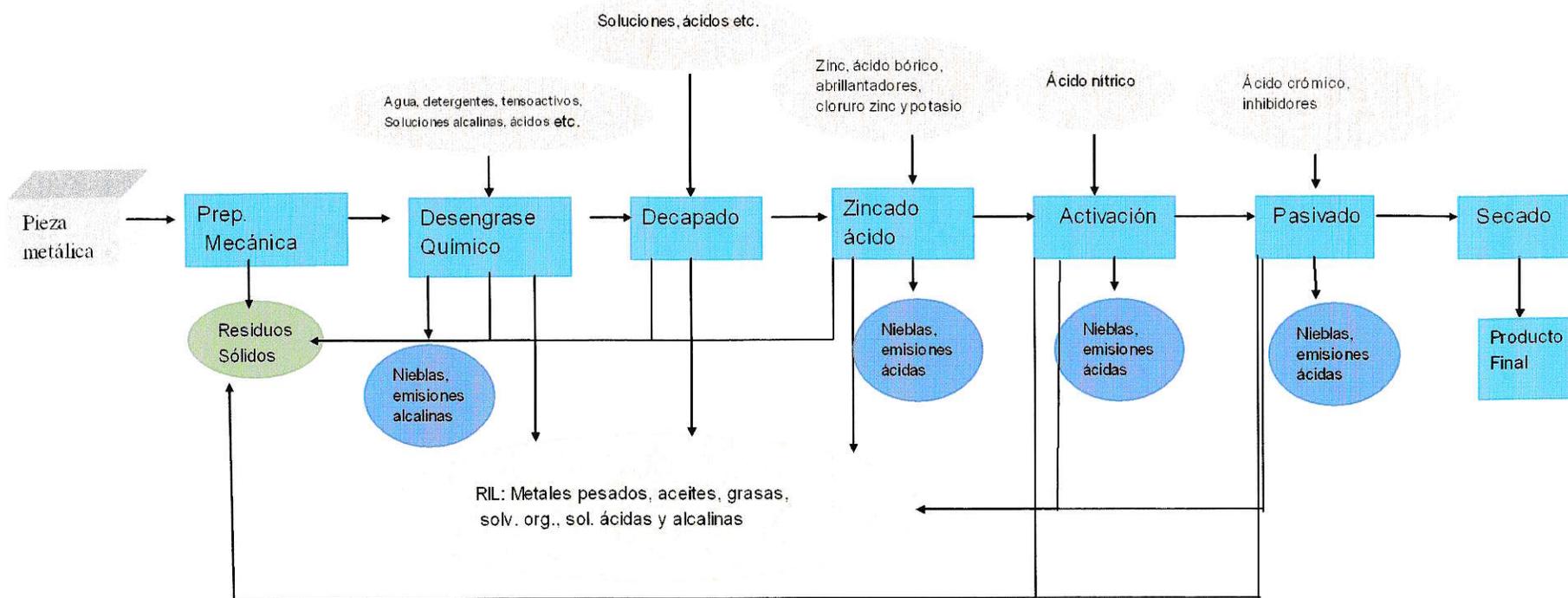
Hasta ahora se continúa utilizando el cromo hexavalente en las formulaciones para la pasivación; sin embargo, se ha ido cambiando a nivel internacional por cromo trivalente por razones de salud de la población y medio ambiental, ya que el cromo hexavalente es un reconocido agente cancerígeno.

Es importante recalcar que luego de cada etapa de desengrase, decapado, zincado, pasivado le sigue un enjuague que permite que el baño siguiente no se contamine.

Para finalizar el proceso las piezas pasan por una etapa de secado.

En la Figura 3 se presenta un diagrama general, del proceso de galvanoplastia con su correspondiente identificación de entrada y salida de materiales y contaminantes generados en cada etapa.

**Figura 3:** Identificación de entrada y salida de materiales y contaminantes por etapa.



#### 1.4.-Generación de residuos.-

La caracterización de los residuos producidos en la empresa corresponde a la siguiente:

- **Residuos sólidos** producidos en esta actividad se pueden mencionar: principalmente son de contenido metálico, algunos sólidos reciclables como recortes de metal, alambres de amarre, cartón, papel y zunchos de empaque. En general este tipo de residuos como restos de metal o cartones son fácilmente gestionables ya que se pueden reciclar o vender a otras empresas. Dentro de ésta categoría, el principal residuo sólido es el lodo generado en los baños, y en la planta de tratamiento de RILes. Este residuo está clasificado según D.S 148 “Reglamento sanitario sobre el manejo de residuos peligrosos” como residuo peligroso por lo tanto debe ser enviado a lugares autorizados para su disposición final.
- **Emanaciones al aire** estas provienen de gases originados en las reacciones electroquímicas, neblinas causadas por baños en tanques abiertos, producción de vapor y vapores de disolventes, cuando estos son utilizados en el desengrase en caliente. Las emanaciones no han generado un problema de contaminación en el medio ambiente ni afectan a las poblaciones vecinas. Solo generan algunos inconvenientes como corrosión de piezas metálicas al interior de la fábrica. Todos los operarios cuentan con los implementos de seguridad necesarios para proteger su salud.

- **Residuos líquidos** son los más relevantes debido a su magnitud y toxicidad ya que están presentes en casi en todas las etapas. Ellos derivan especialmente de baños gastados, que luego de cierto tiempo se agotan y deben ser renovados por completo, y de los enjuagues que son los principales desechos del proceso ya que estas tinas presentan un circulación constante de agua nueva, debido a que se saturan de contaminantes lo que puede afectar la calidad del producto. Estos enjuagues cuentan con alto contenido de: sólidos en suspensión, contenido grasas y aceites y principalmente cuentan con alto contenido de metales pesados. Todas éstas características antes mencionadas hacen indispensable un tratamiento de los efluentes previo a ser vertidos.

Por ser Ducasse Industrial una empresa que descarga al sistema de alcantarillado sus RILes deben ajustarse a los parámetros establecidos en el D.S 609 MOP.

Los tipos de descargas de residuos líquidos son continuas durante el día con un caudal promedio de  $5\text{m}^3/\text{h}$  y se almacenan en estanques de acumulación en la Planta de Tratamiento de RILes donde luego se tratan por ciclos.

### **1.5.-Descripción de Planta Tratamiento RILes y de la secuencia de tratamiento.**

La planta de tratamiento de RILes recibe residuos líquidos provenientes de las tres líneas de producción de zincado ácido de piezas metálicas, dos de las cuales son de operación manual (tinas y bombos) y una automatizada (Kerne).

Cada una de estas líneas se compone de varios baños, baños electrolíticos, enjuagues, desengrases, etc. caracterizándose principalmente por presentar pH fuertemente ácidos o alcalinos y una elevada concentración de zinc. De cada una de las líneas se generan dos descargas una correspondiente a los residuos ácidos y otra a los alcalinos. Esta diferenciación se mantiene hasta los tanques de almacenamiento en la planta de tratamiento de RILes.

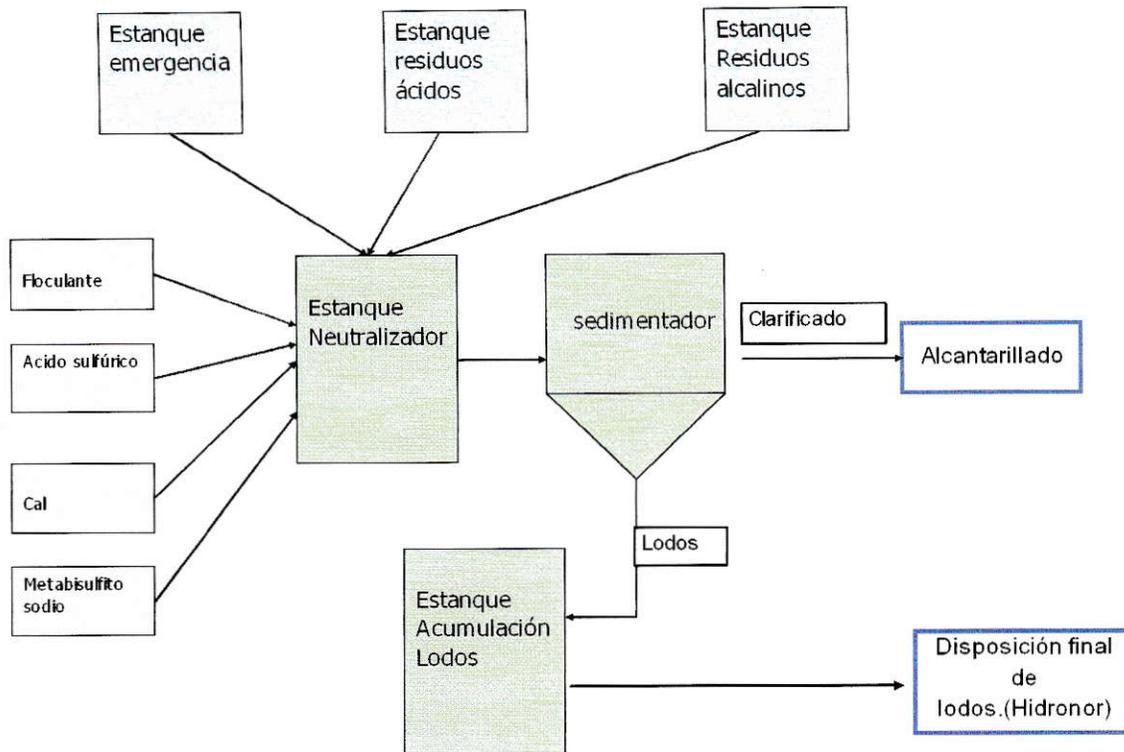
La Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial consta de tres estanques de almacenamiento de efluentes cada uno de una capacidad de  $10\text{m}^3$ : un estanque almacena residuos líquidos ácidos, otro los residuos líquidos alcalinos y finalmente un estanque de emergencia que almacena cualquiera de los mencionados anteriormente.

Existen cuatro estanques de almacenamiento de productos químicos los cuales son adicionados durante el proceso de tratamiento y que corresponden a ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), metabisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) y floculante, cada uno de estos estanques cuenta con bombas de diafragma para dosificar los productos. Las dosificaciones se realizan mediante pulsos de una duración definida en el panel de control. Por último están los estanques en que el efluente es tratado y

corresponden a un estanque neutralizador el que cuenta con un electrodo para medir pH y otro que mide potencial redox, un estanque sedimentador y un estanque donde se acumulan los lodos.

El proceso de tratamiento comienza cuando alguno de los estanques de almacenamiento está lleno y envía su contenido hacia el neutralizador en donde comienza la secuencia de tratamiento.

A continuación se presenta un esquema de la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial, (Figura 4) y el detalle del tratamiento que se da a los residuos líquidos que llegan a ella:



**Figura 4:** Esquema planta tratamiento RILes Ducasse Industrial.

El proceso de tratamiento de riles, transcurre de la siguiente manera, en cada estanque:

### **Estanque Neutralizador**

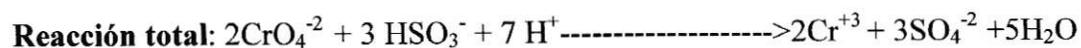
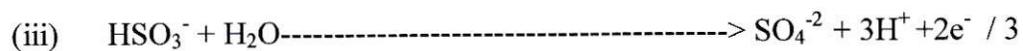
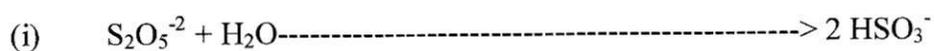
#### **1. Ajuste de pH mediante la adición de ácido sulfúrico hasta 2.2**

En el paso número 1 se baja el pH del RIL a 2.2 con ácido sulfúrico. Ello tiene su justificación en el hecho de que a este pH la reacción que sigue, que es la reducción de Cromo hexavalente a trivalente se ve favorecida.

## 2. Adición de metabisulfito de sodio hasta disminuir el potencial redox por debajo de 300mV

El metabisulfito de sodio actúa como el agente reductor, de cromo hexavalente a trivalente, en medio ácido. La justificación de este paso recae en dos hechos, uno debido a que el cromo trivalente forma hidróxidos que pueden ser precipitados y en cambio el cromo hexavalente es muy soluble y no forma hidróxidos, por otra parte el cromo hexavalente es un reconocido agente tóxico a diferencia del cromo trivalente.

Se producen tres reacciones, el metabisulfito de sodio al adicionarle agua en el estanque de dosificación se transforma en bisulfito ( $\text{HSO}_3^-$ ) (i), luego en el estanque neutralizador se produce una reacción de óxido reducción, el cromo hexavalente que proviene del ácido crómico, se presenta en forma de cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), sufre reacción de reducción a cromo trivalente Cr (III) (ii) y el bisulfito ( $\text{HSO}_3^-$ ) se oxida a sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (iii).



El cromo trivalente reacciona con el sulfato para formar sulfato de cromo  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  soluble.

### **3. Elevar el pH con la adición de cal hasta 8,5**

El paso número 3 consiste en la precipitación de hidróxidos metálicos mediante la adición de cal hasta pH 8,5 en este paso los hidróxidos de cromo y de zinc en menor medida han precipitado y formado lodos, aunque éstos son livianos y pueden mantenerse en suspensión por efecto de la agitación presente en el estanque. La reacción de formación de hidróxidos metálicos se presenta a continuación:



### **4. Se baja el pH con ácido sulfúrico a 7**

El paso número 4 consiste nuevamente en la adición de ácido sulfúrico para bajar el pH hasta 7.

### **5. Inyección floculante**

Se inyecta floculante en línea junto con el agua neutralizada hacia el siguiente estanque que es el Sedimentador. El floculante actúa formando agregados moleculares junto a los hidróxidos metálicos y partículas en suspensión, otorgándoles mayor peso y facilitando su sedimentación.

## **Estanque Sedimentador**

6. Aquí llegan conjuntamente el RIL tratado con el floculante y luego por efecto de gravedad los flóculos formados caen al fondo del estanque. El líquido clarificado se evacúa desde este punto a la red de alcantarillado, en conjunto con las aguas servidas de la empresa. El lodo generado pasa al estanque de acumulación

## **Estanque de Lodos**

### **7. Acumulación lodos**

Los lodos formados en la etapa anterior se envían aquí donde se acumulan, para luego ser retirados por una empresa autorizada para su disposición final.

## 1.6.-Marco legal

La necesidad del tratamiento de los residuos líquidos provenientes de la actividad industrial, se remonta a muchos años atrás. La Ley 3133 de 1916, estipulaba que los residuos líquidos de las empresas debían ser tratados, antes de ser enviados a ductos de alcantarillado, sin embargo tuvo poco efecto debido a su poca claridad y falta de fiscalización. En el año 1990 la Ley 18.902 crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios la cual entre otras funciones debe fiscalizar y controlar los residuos líquidos industriales. Posteriormente en el año 2002 la Ley 19.821 deroga la Ley 3133 y modifica la Ley 18902 en materias de residuos industriales.

Durante 1998 se dictó el D.S 609/98 MOP, como normativa que regula los niveles máximos de contaminantes asociados a descargas de residuos líquidos industriales que se vierten a las redes de alcantarillado, la cual presenta entre sus principales objetivos:

- *Mejorar la calidad ambiental de las aguas servidas crudas que los servicios públicos de disposición de éstas, vierten a los cuerpos de agua terrestres o marítimos mediante el control de los contaminantes líquidos de origen industrial, que se descargan en los alcantarillados. Con lo anterior se logra que los servicios públicos de disposición de aguas servidas, dispongan aguas residuales con un bajo nivel de contaminación, protegiendo así los cuerpos de agua receptores.*
- *Proteger y preservar los servicios públicos de recolección y disposición de aguas servidas mediante el control de las descargas de residuos industriales*

*líquidos, que puedan producir interferencias con los sistemas de tratamiento de aguas servidas, o dar lugar a la corrosión, incrustación, u obstrucción de las redes de alcantarillado o a la formación de gases tóxicos o explosivos en las mismas, u otros fenómenos similares. Esta norma, al proteger los sistemas de recolección de aguas servidas, evita que los contaminantes transportados por éstos puedan eventualmente ser liberados sin tratamiento, al medio ambiente urbano (calles, suelo, aire entre otros), por efecto de roturas u obstrucciones del sistema, pudiendo afectar la calidad de éste y la salud de las personas.(4).*

Todas las fuentes generadoras de residuos líquidos, para cumplir con las normas de emisión deben disponer de un sistema que trate sus efluentes de manera que logren la calidad necesaria para ser vertidos. Todos los proyectos de plantas de tratamiento de residuos industriales líquidos, deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, según consta en la Ley 19.300 “**Ley de bases generales del medio ambiente**” y “**Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental**”, Título I, disposiciones generales, Artículo 3, letra o.

Además en el Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental se define los criterios por los cuales un proyecto debe ingresar o no, al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y de ingresar si debe ser mediante una DIA (Declaración de Impacto Ambiental), o por EIA (Estudio de Impacto Ambiental).

En resumen para cumplir la legislación un Establecimiento Industrial o Fuente Emisora, requiere de un Sistema de Tratamiento para rebajar el contenido de contaminantes de sus efluentes a los niveles permitidos por las normas respectivas.

El sistema de tratamiento deberá cumplir con:

- Ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para obtener una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) emitida por la respectiva Comisión Regional del Medio Ambiente.
- Resolución del Plan de Monitoreo de los Riles emitida por la SISS. Para ello es necesario que con a lo menos 90 días de anticipación la empresa generadora deba dar aviso a la Superintendencia de Servicios Sanitarios de acuerdo al Formulario establecido para ello, tal como las modificaciones de la Ley 18.902 señala, y contar con RCA aprobada.
- En régimen de operación normal, sus efluentes deberán dar cumplimiento a las normas respectivas, lo que fiscalizará la SISS, sin perjuicio de las atribuciones que otros organismos posean.

### **1.7.-Exposición de la problemática de la empresa Ducasse Industrial.**

Ducasse Industrial cuenta con una Planta de Tratamiento de RILes para ajustarse a las normas vigentes. Debido a que sus descargas van al sistema del alcantarillado, éstas deben regirse según el D.S 609/98, el cual establece los parámetros mínimos de calidad que los efluentes deben cumplir.

En la actualidad la Planta de Tratamiento de RILes trata líquidos generados durante el proceso de zincado ácido de piezas metálicas de tres líneas, estos líquidos provienen en su mayoría de enjuagues posteriores a las etapas de desengrase, decapado, zincado y pasivado.

La Planta de Tratamiento de RILes de la empresa no cumple con la norma de vertidos al alcantarillado D.S 609/98 en lo que respecta a contenido de zinc. Por otro lado la situación de la planta no está regularizada según la legislación vigente. Para lo cual debe comenzar su proceso de regularización ingresando al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

### **1.8.-Hipótesis:**

La Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial mejora su desempeño con la introducción de cambios en su operación.

### **1.9.-Objetivos**

#### **General:**

Realizar el diagnóstico de la situación operacional de la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial y proponer alternativas de mejora.

#### **Específicos.**

- Evaluar la operación de la planta de tratamiento de RILes en sus condiciones actuales.
- Identificar propuestas de mejoras técnicas
- Evaluar a nivel de laboratorio las mejoras técnicas que correspondan
- Recopilar los antecedentes relativos a la normativa ambiental que debe cumplirse por parte de la planta de tratamiento de Ducasse Industrial

## II: MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Caracterización química de efluentes.

La caracterización de efluentes es de suma importancia al momento de diseñar un adecuado tratamiento de RILes.

Los parámetros a analizar en las muestras son los que señalan en la tabla N° 5 del D.S 609/98 MOP y que tienen relación con la actividad económica a la que cada empresa está vinculada y a la que se le asigna un código denominado código CIU que se encuentra en la tabla N° 6 del mismo documento. Para el caso particular de Ducasse Industrial el código CIU\* es 38196 "*Esmaltado, barnizado, lacado, galvanizado, chapado y pulido de artículos metálicos*" y los análisis a los que debe someterse son los siguientes:

- pH
- Temperatura
- Sólidos suspendidos
- Aceites y grasas
- Hidrocarburos totales
- Demanda Bioquímica oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Cadmio
- Cianuro

- Cobre
- Cromo total
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Zinc
- Aluminio
- Manganeso

\*CIU: Clasificación Industrial de Todas las Actividades Económicas. Informes Estadísticos Serie M N° 4. Rev 2 (Publicación de naciones unidas), New York 1969.

**2.1.1.- Puntos de muestreo:** Se tomaron muestras en el estanque neutralizador, corresponde al punto 1 (Figura 5) para la caracterizaciones del RIL sin tratamiento. Para la caracterización del RIL tratado las muestras se tomaron a la salida de la planta de tratamiento de RILes, punto 2 (Figura 5).

**2.1.2.- Parámetros a analizar:** De acuerdo a las características del proceso productivo y tomando en cuenta los parámetros a analizar que son requeridos por el D.S 609/98 (indicados anteriormente) se seleccionaron los parámetros más significativos aplicables al proceso particular de Ducasse Industrial :

- Cromo Hexavalente (Cr (VI)): proveniente de los baños de pasivado

- Zinc (Zn) : proveniente de baños de zincado
- Aceites y grasas: proveniente baños de desengrasas
- Sólidos suspendidos totales SST: provenientes de todos los baños antes mencionados.
- pH (el cual se mide in-situ).

**2.1.3.- Extracción de las muestras:** Ellas fueron extraídas según se indica en el D.S 609/98.

**Tabla 1:** Especificaciones para extracción de muestras de acuerdo D.S 609/98.

Parámetro	Envase	Preservación	Tiempo de análisis
Cromo hexavalente	Polietileno o vidrio borosilicato	2-5°C	24 hrs.
Zinc	Polietileno o vidrio borosilicato	Acidificar pH<2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes
Aceites y grasas	Vidrio	Acidificar pH<2 con HCl, Almacenar 2-5°C	24 hrs.
Sólidos suspendidos totales	Vidrio	-----	24 hrs.
pH	-----	-----	inmediato

Se tomó una muestra compuesta por 4 sub muestras que se extrajeron, una cada vez que el neutralizador completaba una carga para ser tratada, se abarcó un periodo de trabajo correspondiente a un día desde 8 a 17 horas.

**2.1.4.-Métodos de análisis:** Se detallan a continuación los métodos de análisis utilizados para la determinación de cada parámetro.

**Tabla 2:** Métodos de análisis.

Parámetro	Norma	Método
Cromo hexavalente	NCh 2313 / 11	UV-VIS
Zinc	NCh 2313 / 10	AAS
Aceites y grasas	NCh 2313 / 6	Extracción, gravimetría
Sólidos suspendidos totales	NCh 2313 / 3	Filtración, gravimetría
pH	NCh 2313 / 1	pHmetro

## **2.2.- Levantamiento de problemas a nivel técnico y de secuencia de tratamiento de riles.**

Se realizó a nivel de planta de tratamiento, donde se evaluó el funcionamiento global de la Planta de Tratamiento de RILes. Identificando los puntos más conflictivos, o de fallas recurrentes. Con todos estos registros y observaciones se realizó un listado que sirvió de base para formular propuestas de optimización.

## **2.3.-Evaluación de reactivos.**

Mediante ensayos a nivel de laboratorio simulando el tratamiento de RILes, se probaron distintos tipos de floculantes y dosificaciones (cantidad de reactivo que se aplica por volumen de RIL a tratar), que fueron evaluados en términos de cantidad de lodo formado, tiempo de sedimentación, concentración de zinc. Los floculantes probados fueron: Polyfloc AE 1125, Betzdearborn, Wetwaste, Magnafloc 155.

Todos los floculantes fueron preparados al 0.2%p/v o v/v según corresponda y dosificados al RIL en: 5mg/L, 10mg/L, 15mg/L, 20mg/L. (Tabla 3).

**Tabla 3:** Dosificaciones flocculantes.

<b>Dosificación (mg/L)</b>	<b>mL flocculante 0.2% / L RIL a tratar</b>
5	2,5
10	5
15	7,5
20	10

**2.4.-Evaluación de la eficiencia de planta de tratamiento de RILes y cuantificación de lodos.**

Se evaluó contrastando los valores de entrada y salida de contaminantes referido específicamente al contenido de zinc por ser este el principal constituyente del RIL. La entrada se considera cuando los efluentes se mezclan en el estanque neutralizador (punto 1) y la salida se toma fuera de la planta de tratamiento de riles (punto 2), antes que estos se mezclen con las aguas servidas de la empresa (Figura 5).

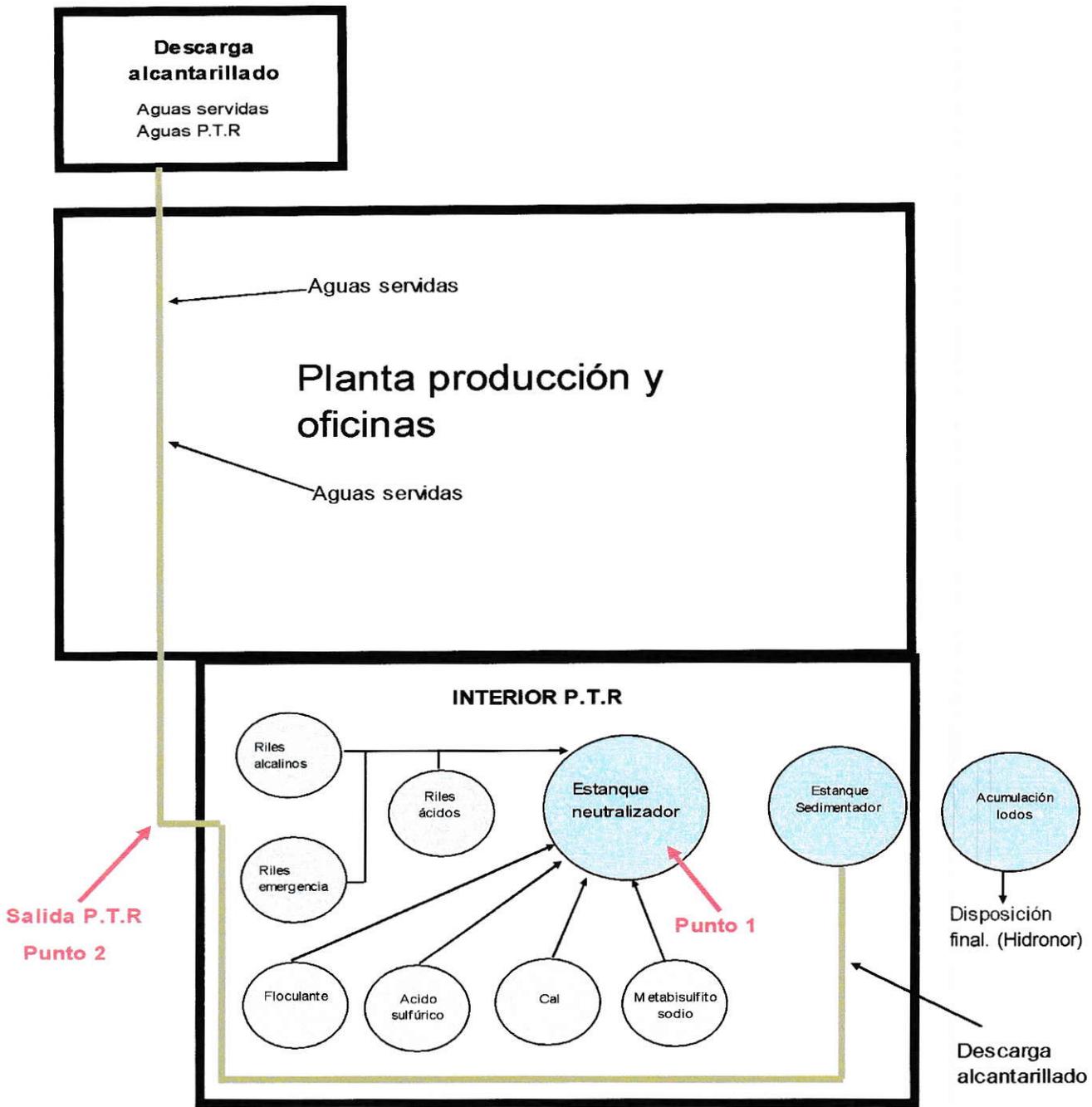


Figura 5: Puntos de muestreo en Planta de Tratamiento de RILes (P.T.R.).

### III: RESULTADOS

#### 3.1.-Caracterización del RIL sin tratamiento

La muestra de RIL sin tratamiento presenta las siguientes características:

**Tabla 4:** Caracterización RIL sin tratamiento (\*).

Parámetro	Valor(**)	Norma D.S 609/98
Cromo hexavalente	1.0 mg/L	0.5 mg/L
Zinc	116 mg/L	5 mg/L
Aceites y grasas	560 mg/L	150 mg/L
Sólidos suspendidos totales	75 mg/L	300 mg/L
pH	4.6	5.5-9.0

(\*) Análisis realizados en Centro Nacional del medio Ambiente (CENMA).

(\*\*) valor promedio de tres repeticiones.

De esta tabla se observa que los parámetros que están fuera de norma son: zinc, cromo hexavalente, aceites y grasas y pH.

### **3.2-Identificación de los principales problemas en la secuencia de tratamiento.-**

Se evidencia que la secuencia de tratamiento existe un error al bajar el pH hasta 7, luego de haberlo subido a 8,5 ya que:

- Al disminuir el pH los lodos formados a pH 8,5 se redisuelven en pH 7, puesto que aumenta la solubilidad de los hidróxidos metálicos formados anteriormente
- El floculante actúa de mejor manera a pH cercano a 8, de acuerdo a las especificaciones entregadas por el productor.
- El límite de valor de pH para descarga de los RILes al alcantarillado según el D.S N° 609/98, está fijado en un rango 5,5-9,0 por lo tanto no es necesario bajar el pH desde 8,5 a 7.

El efluente no tratado está constituido principalmente por zinc y en menor medida por cromo hexavalente. Debido a las propiedades químicas de ellos es complejo el encontrar un rango de pH efectivo para la precipitación de ambos metales, ya que ellos presentan un comportamiento anfótero. Mientras el zinc tiene su menor solubilidad en un rango de pH 9.5-10.5 el rango de mínima solubilidad del cromo es 7-8. Sin embargo el cromo a pH cercano a 10 aún existe como hidróxido.

El zinc metálico en soluciones ácidas reacciona liberando hidrógeno para formar iones zinc,  $Zn^{2+}$ . Se disuelve también en soluciones fuertemente alcalinas para formar tetrahidroxozincatos,  $Zn(OH)_4^{2-}$ . El cromo por su parte en su forma ácida está como  $Cr^{+3}$  en tanto a pH básicos sobre 13 se encuentra disuelto como  $CrO_2^-$ .(5).

Existe un problema en el control del pH. En general el control de pH es difícil, las razones se relacionan con:

- La alta no linealidad entre el flujo de neutralizante y el cambio de pH del caudal a neutralizar.
- Los pH ya sean éstos muy ácidos o básicos son fáciles de lograr al mezclar ácidos fuertes con bases fuertes, no obstante alcanzar pH cercanos a la neutralidad es más complejo y para estos casos es preferible usar ácidos o bases débiles ya que facilitan el control del proceso.
- el pH del efluente industrial puede variar rápidamente
- el flujo no es constante y varía notablemente durante el día

### 3.3.-Problemas técnicos de la planta de tratamiento.

Los problemas detectados en la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial son presentados a continuación en su vinculación con el punto del tratamiento, equipo en cuestión y las consecuencias que trae el mencionado problema.

**Tabla 5:** Problemas técnicos Planta Tratamiento RILes Ducasse Industrial.

Punto del tratamiento	Equipo con el que se vincula	Problema detectado	Consecuencia
Estanque Neutralización	Electrodo pH	Descalibrado	Mediciones erróneas
		Tiempo de lectura corto	Lecturas inestables
		Rango de lectura $\pm 10\%$	A bajos pH la desviación es baja pero en pH básicos la desviación es importante
	Electrodo redox	Tiempo de lectura corto	Lecturas inestables
		Descalibrado	Mediciones erróneas
	Sensor llenado	Falla a menudo	El neutralizador se rebalsa y la planta de tratamiento de RILes se inunda.

<b>Punto del tratamiento</b>	<b>Equipo con el que se vincula</b>	<b>Problema detectado</b>	<b>Consecuencia</b>
Estanque Neutralizador	Sistema agitación	Agitación insuficiente	Mezcla de reactivos lenta, genera una disolución poco homogénea y problemas en la lectura de los sensores de pH y Eh
	Adición de floculante	Dosificación desconocida	Si esta adición es menor a lo requerido no produzca los efectos esperados y por otra parte si la adición es excesiva puede producir efectos contrarios a los deseados, es decir romper los flóculos y aumentar el contenido de los metales en el efluente.
Estanque Sedimentador	Sensor de llenado	No existe sensor llenado	Al no existir sensor de llenado el sedimentador puede recibir líquido, pudiendo producir inundaciones al interior de la planta
	Sedimentador	El líquido tratado que llega desde el neutralizador es enviado antes que alcance a sedimentar al alcantarillado, no hay tiempo de reposo, no se produce sedimentación	El líquido clarificado lleva una importante fracción de lodos con alto contenido de metales

<b>Punto del tratamiento</b>	<b>Equipo con el que se vincula</b>	<b>Problema detectado</b>	<b>Consecuencia</b>
Estanque almacenamiento Reactivos	Sensor de nivel	Acido corroe la varilla metálica que actúa como sensor de nivel	Al no existir sensor de para el ácido el paso que corresponde al ajuste de pH con ácido no se lleva a cabo y la planta queda detenida
	Sistemas de agitación	Agitación insuficiente	Mezcla de reactivos lenta, genera una disolución poco homogénea
Deshidratación lodos	Sistema deshidratación lodos	No existe	Los gastos por la disposición final de lodos aumenta considerablemente debido al contenido de agua presente en los lodos
Mantenimiento General	Estanque productos químicos	Los estanques no cuentan con información acerca de su contenido	Desinformación acerca de la peligrosidad que puede representar los productos almacenados
	Estanques, bombas, sistemas aireación	Cal produce incrustaciones	Daño a las bombas y cañerías
	Listas chequeo	No existen listas chequeo	Al no existir listas de chequeo ocurren muchas fallas que fácilmente podrían ser evitadas
	Manejo planta	Desconocimiento general	Falta personal que pueda manejar la planta ante posibles eventualidades

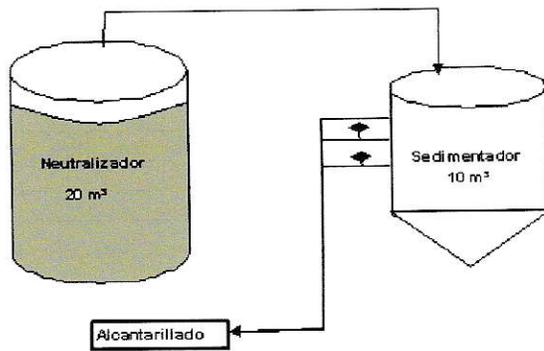
Para detallar el problema detectado con la configuración y operación del Sedimentador se discutirá el detalle a continuación:

### **3.3.1.-Sedimentador**

Una correcta sedimentación y separación del líquido y sólido es la parte central para el éxito del proceso de tratamiento de residuos líquidos.

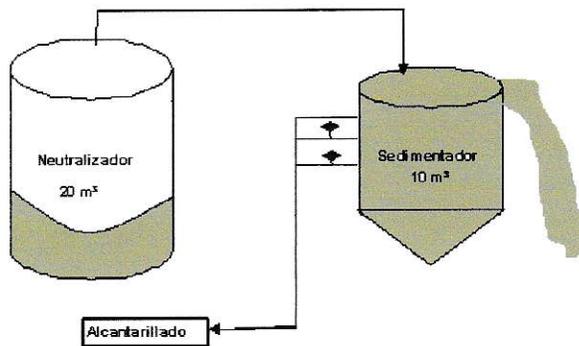
En la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial, el sedimentador no cumple su función debido a que no tiene la capacidad de recibir las descargas provenientes del neutralizador y ve sobrepasada su capacidad con lo que la sedimentación no se produce y se envía al alcantarillado el RIL tratado con altas cantidades de lodos.

En un primer paso el estanque neutralizador trata por cada ciclo 20 m<sup>3</sup> de RIL de los cuales aproximadamente 15 m<sup>3</sup> son enviados al sedimentador, el que tiene una capacidad de 10 m<sup>3</sup> (Figura 6)



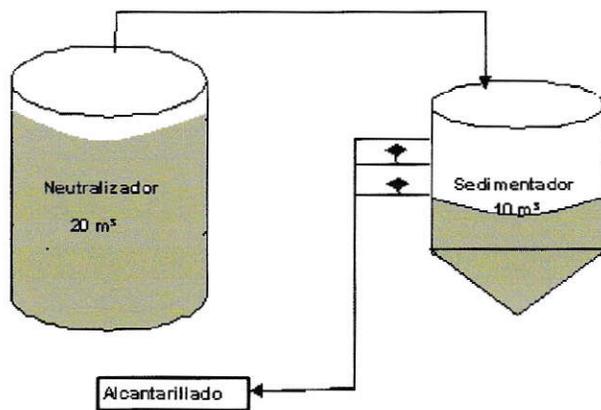
**Figura 6:** Esquema del Sedimentador y neutralizador y sus dimensiones.

Luego  $5 \text{ m}^3$  quedan fuera del estanque sedimentador, para evitar esto, permanece con la válvulas abiertas, con lo cual es RIL tratado entra y sale sin permitir que se produzca la sedimentación enviando al alcantarillado grandes cantidades de lodos.(Figura 7).



**Figura 7:** Representación del volumen de líquido que se desplaza del neutralizador al sedimentador.

Finalmente, el volumen del sedimentador disminuye a  $5 \text{ m}^3$  y de los  $15 \text{ m}^3$  que recibe en la próxima descarga son enviados en su totalidad al alcantarillado antes de sedimentar.



**Figura 8:** Esquema del volumen operativo real del sedimentador antes de recibir una nueva descarga proveniente del neutralizador.

### **3.4.-Evaluación de reactivos usados.**

**1.-Cambio de cal:** Se evaluó la sustitución del uso de hidróxido de calcio (Cal) por hidróxido de sodio (Soda cáustica) debido a una serie de inconvenientes que trae el uso de cal como son:

- **Incrustaciones:** formadas por la acumulación de cal en las cañerías de PVC.
- **Daño a bombas:** debido a las incrustaciones formadas al interior de ellas
- **Aumento de la cantidad de lodos:** De los lodos generados una cantidad no menor de ellos correspondía a cal.

Aunque la soda es algo más cara que la cal se ocupa en menor cantidad, porque es una base mucho más fuerte y se eliminan los problemas antes mencionados, incrustaciones, menor generación de lodos y daño a las bombas.

**2.-Evaluación del uso de floculante:** Se evaluaron distintos floculantes de manera de elegir el que mejor desempeño tiene con el RIL a tratar.

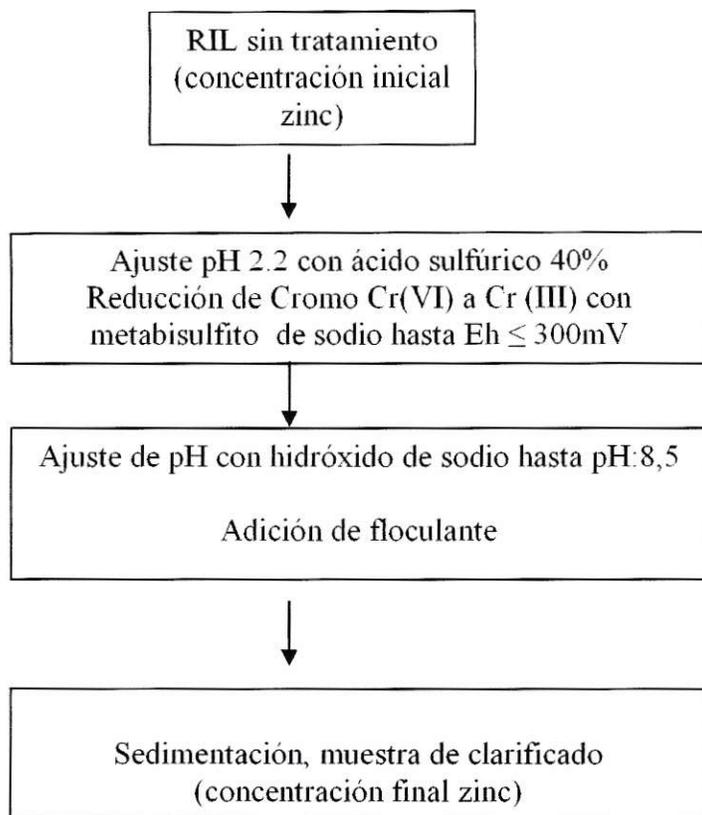
Los floculantes son agentes químicos que se emplean en el tratamiento de aguas para mejorar su sedimentación o facilitar el filtrado de coloides y partículas en suspensión. Los coloides son pequeñas moléculas muy estables en solución que pueden permanecer varios años suspendidas ante de precipitar.

Los floculantes actúan mediante mecanismos de adsorción de los coloides a las macromoléculas, el mecanismo se inicia por la adsorción de la cadena sobre la superficie de una partícula y luego de otras agregándolas aumentando el peso de la molécula. Esto se conoce como floculación por formación de puentes.

Cuando el polímero presenta carga opuesta a la de las partículas en suspensión se presenta otro fenómeno que es floculación por neutralización de carga.

Pueden también sedimentar las partículas aunque estas no sean neutralizadas y tengan la misma carga que el polímero esto se logra porque se pueden formar interacciones por unión de puentes siempre y cuando el polímero sea agregado en pequeñas concentraciones y el polímero posea alto peso molecular (6).

La evaluación del uso de floculante se realizó de acuerdo al siguiente protocolo.(Fig. 9)



**Figura 9:** Secuencia para pruebas con floculante.

**Tabla 6:** Resultados de pruebas de floculante

<b>Nombre del Producto</b>	<b>Mejor dosificación (mg/L)</b>	<b>Concentración inicial de zinc (*) (mg/L)</b>	<b>Concentración final de zinc (**) (mg/L)</b>	<b>% de reducción del contenido de zinc</b>
Polyfloc AE1125	15	116	10-40	95%-65%
BetzDearborn	10	116	5-10	95%-91%
Wetwaste	10	116	10-40	95%-65%
Magnafloc 155	10	116	5-10	95%-91%

(\*) Determinado en CENMA mediante absorción atómica

(\*\*) Ensayo realizado en dependencias de Ducasse Industrial, medido con kit de varillas para determinación de zinc ( Merckoquant).

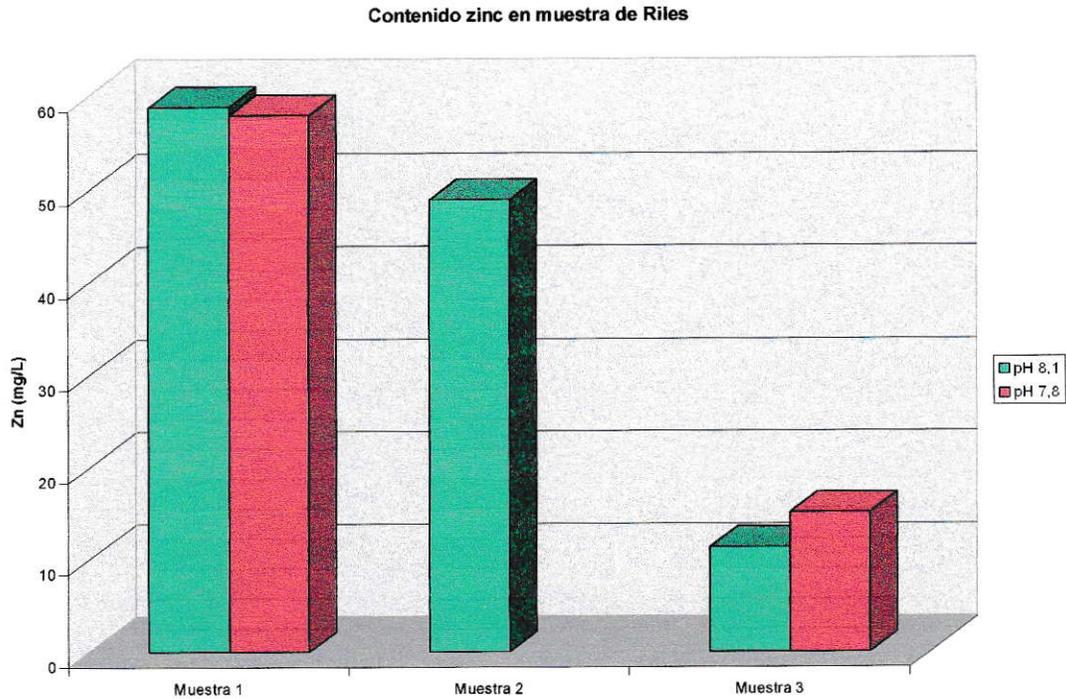
De los productos probados, BetzDearborn y Magnafloc 155 fueron los de mejor desempeño, la elección del producto a comprar se basó en el costo de cada uno de ellos.

### **3.5.- Evaluación eficiencia planta tratamiento riles y generación lodos**

A escala de la planta de tratamiento se tomó una muestra desde el neutralizador, la cual corresponde a una muestra no tratada (M1) desde el Punto 1 (Fig. 5), luego se tomó una muestra a la salida del Planta de Tratamiento de RILes, en las condiciones que ha funcionado hasta la fecha (M2) en el Punto 2 (Fig. 5), finalmente la última muestra se obtiene en el mismo Punto 2 (Fig. 5) pero cerrando las válvulas del sedimentador y dejando un tiempo de sedimentación de 30 minutos (M3). La efectividad del tratamiento se evalúa en cuanto al contenido de zinc ya que es el principal componente.

El RIL sale desde el neutralizador a pH 8.1. Adicionalmente se toma otra muestra RIL no tratada (M1 rojo) y una tratada y sedimentada pero que es retirada desde el neutralizador a pH 7.8 (M3 rojo).

Los resultados se muestran a continuación en la Figura 10.



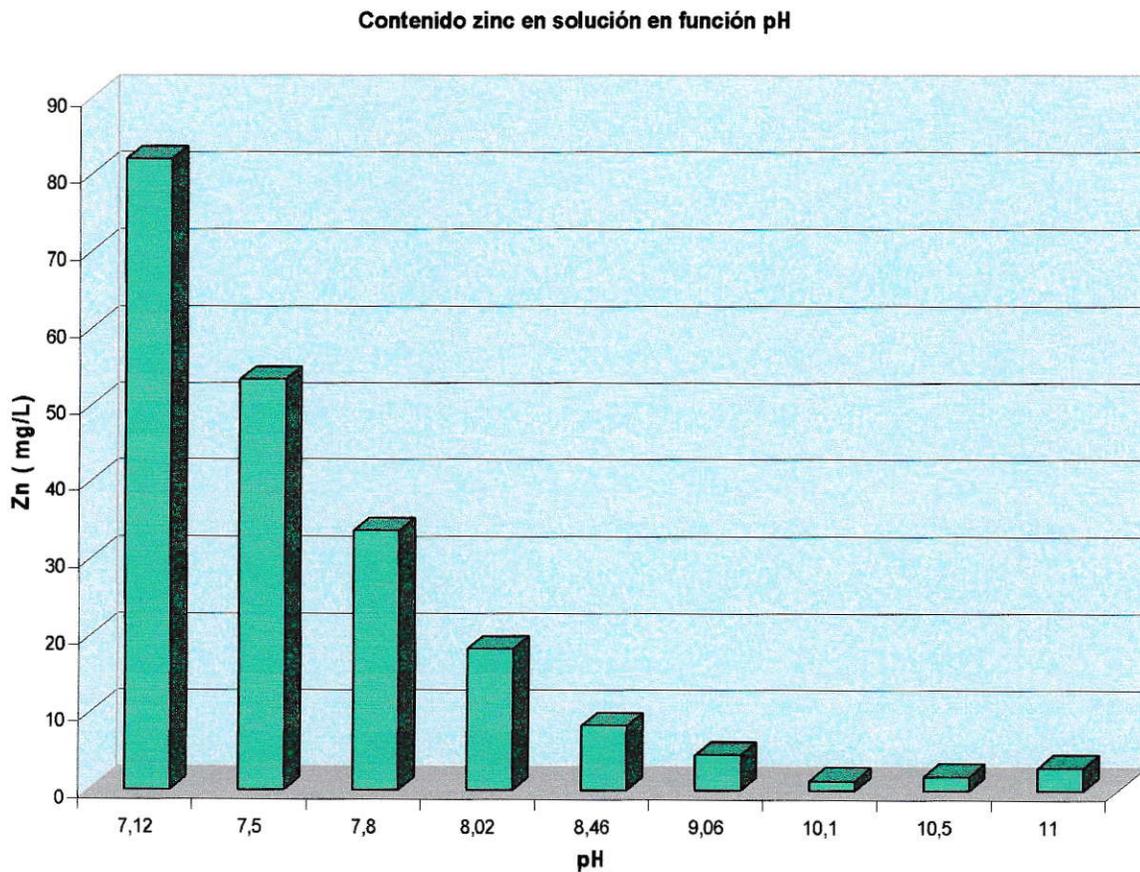
**Figura 10:** Gráfico Contenidos Zinc en muestras no tratadas y tratadas con y sin sedimentación.

Para estas pruebas se eliminó el paso de bajar el pH a 7. Con las condiciones de sedimentación en las que ha funcionado la planta, el porcentaje de eficiencia en la remoción de zinc es de 20%. El porcentaje de remoción se calculó de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Concentración.inicial} - \text{concentraciónfinal}}{\text{conc.inicial}} * 100 = \%remoción$$

Se observa en el gráfico que al aumentar el pH la efectividad en la remoción de zinc, sin embargo a pH 8.1 el contenido de zinc en el clarificado es de 11 mg/L, cuando la norma exige un máximo de 5 mg/L. A este pH la efectividad de remoción es de 81%

Se presenta a continuación un ensayo para determinar el mejor rango hasta el cual es necesario aumentar el pH con soda cáustica para que el clarificado presente contenidos de zinc inferiores al máximo permitido por la norma que es 5 mg/L. (Figura 11).



**Figura 11:** Gráfico contenido de zinc (mg/L) en el clarificado, en función del pH.

El rango de pH necesario para cumplir con la norma se encuentra sobre pH: 9 y bajo 11. Se eligió una muestra tratada a pH 10 que fue caracterizada por laboratorio Hidrolab en cuanto a su contenido de metales. (Tabla 7) de manera de evaluar el porcentaje de aumento en la efectividad de remoción del zinc y para verificar que el cromo se mantenga con valor bajo la norma.

**Tabla 7:** Contenido de metales a pH 10

Parámetro	Norma D.S 609/98	Valor inicial	Valor final	% Remoción
Cromo total	0.5 mg/L	1.15mg/L	<0.05mg/L	≥ 96%
Cromo hexavalente	10 mg/L	0.11mg/L	<0.02mg/L	≥ 81%
Zinc	5 mg/L	65.3 mg/L	1.26 mg/L	98%

Se observa en esta tabla que el contenido de metales presenta una alta reducción de sus contenidos a pH 10, quedando todos bajo norma D.S 609/98.

### **Generación de lodos**

En pruebas controladas en la planta de tratamiento se cuantificó la producción lodos. El resultado de producción de lodos se encuentra en el siguiente rango: 8–12 Kg./m<sup>3</sup> RIL tratado.

Si se considera que por día se tratan aproximadamente 120 m<sup>3</sup>, la producción diaria de lodos será de: 0,96 – 1,44 ton/ día, este lodo generado presenta un alto contenido de agua, alrededor de 80% de agua.

### **3.6.-Capacitación y Listas de Chequeo.**

Se realizó un ciclo de capacitaciones con el objetivo de dar a conocer la Planta de Tratamiento de RILes ¿que es?, ¿cuál es su objetivo?, ¿cómo funciona? etc. De manera que los operarios de las líneas de zincado se hagan cargo de la supervisión de la Planta de Tratamiento de RILes. También en estas capacitaciones fueron introducidas las Listas de Chequeo.

Para enfrentar los problemas que aparecen en la lista de problemas técnicos se confeccionaron Listas de Chequeo las cuales son una herramienta potente que consisten en un formato escrito que contiene puntos que deben ser controlados seguidos y revisados, establece responsables de llevar a cabo estas acciones y permite evaluar y llevar registros ordenados que luego sirven de base para tomar acciones correctivas y alternativas de mejoras. Estas Listas de Chequeo se utilizan en otras áreas de la empresa, comprobando su efectividad para la prevención de problemas recurrentes.

Las listas están basadas en listas existentes anteriormente a las que se adicionaron acciones para solucionar inconvenientes listados en la tabla de problemas técnicos. Las mismas se presentan en detalle en Anexo 2

### **3.7.- Desarrollo de propuestas para optimizar la Planta de Tratamiento de RILes.**

En base a los resultados anteriores se sintetizan las siguientes propuestas:

- Cambio de hidróxido de calcio (cal) por hidróxido de sodio (soda cáustica): que permite evitar problemas de incrustaciones.
- Cambio de Floculante: mejora el tiempo de sedimentación al disminuirlo
- Aumento pH para tratamiento a 10: que permite sacar un efluente con niveles de zinc y cromo bajo norma, y por que otra parte elimina el problema de control de pH puesto que valores de pH fuertemente básicos son fáciles de lograr al mezclar ácidos fuertes con bases fuertes, en cambio alcanzar pH cercanos a la neutralidad como 8 es más complejo. Es necesario considerar que a este pH el clarificado no puede ser enviado al alcantarillado y debe ser ajustado su pH con la adición de ácido hasta alcanzar un pH entre 5.5-9.0 según indica D.S 609/98.
- Eliminación del paso que bajaba pH a 7.0 luego de haberlo subido.
- Se compraron nuevos electrodos pH y Eh (medición potencial óxido reducción)
- Capacitaciones
- Listas de chequeo

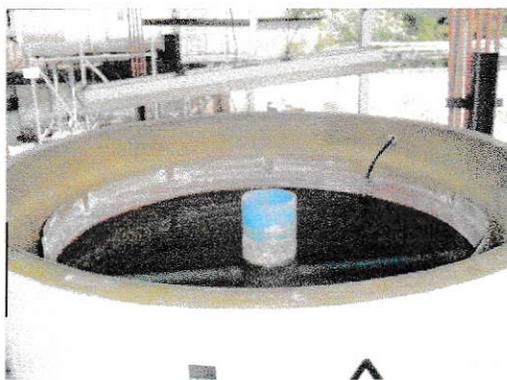
Las cuales ya han sido ejecutadas por la empresa y se adiciona tres propuestas nuevas:

- Cambio de Sedimentador

- Deshidratación lodos mediante filtros polipropileno.
- Minimización de generación de residuos.

### **Argumentación para cambio de Sedimentador.**

Se necesita un estanque que permita una separación de lodo y clarificado en forma eficiente a medida que el efluente tratado con el floculante llega hacia el sedimentador. Este objetivo se logra mediante un sistema integrado al sedimentador que por una parte permite que el efluente tratado que llega hacia el sedimentador entre por un tubo que llega hasta el fondo del sedimentador y permite cambiar el flujo turbulento por uno de régimen laminar impidiendo que el lodo quede en suspensión y quede depositado en el fondo cónico. El agua por otra parte se ubica sobre el lodo ya que es menos densa y sale desde el estanque por rebalse. Este sistema permite recibir descarga en continuo desde el neutralizador al sedimentador



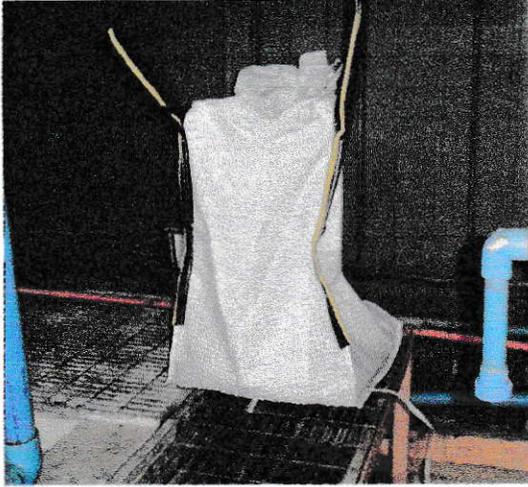
**Figura 12:** Vista superior sedimentador que se propone comprar.

## **Argumentación para deshidratación de lodos**

Debido a que los lodos provienen de actividad de galvanoplastia están clasificados como residuos peligrosos (D.S 148 “*Reglamento sanitario sobre el manejo de residuos peligrosos*”. A1050: lodos galvánicos) por lo tanto la disposición de ellos debe ser en un lugar autorizado, esto genera un costo adicional al tratamiento de riles. Aquí yace la importancia de disminuir el volumen y masa de lodos quitando en la mayor medida posible el agua que contiene este, el agua extraída desde el lodo debe ser devuelta a la planta de tratamiento de riles para ser tratada nuevamente.

Los filtros prensa son los sistemas más utilizados para deshidratar lodos, sin embargo su valor comercial es elevado que para este caso particular puede ir desde 6 millones de pesos, hasta 20 millones de pesos. Por otra parte una alternativa al filtro prensa la representa sacos de polipropileno (Figura 13) que dejan escurrir el agua eliminando un alto contenido de ésta y aunque no es tan efectivo ni rápido como filtro prensa, es muchísimo más económico ya que cada bolsa de polipropileno con capacidad para 100 Kg. puede ser comprada por aproximadamente 7 mil pesos.

Se realizaron pruebas para probar la efectividad de estas bolsas de polipropileno en la deshidratación de los lodos y se comprobó en terreno que luego de tres días se logra una disminución de masa de 57 % (Figura 14,15), luego de este tratamiento los lodos sacados de la bolsa pueden ser dispuesto en contenedores abiertos a la atmósfera de manera que pueda seguir deshidratándose. El agua que escurre desde las bolsas se devuelve a la Planta de Tratamiento de RILes para ser tratada.



**Figura 13:** Saco polipropileno utilizado como filtro.



**Figura 14:** Prueba de deshidratación lodos, Día 1: Se observa que el lodo depositado contiene una gran cantidad de agua. La masa inicial es de 28 Kg.



**Figura 15:** Prueba de deshidratación lodos, Día 4: Se observa que el lodo está mucho más compacto y que ha perdido gran cantidad de agua. Masa final es 12 Kg.

#### **Argumentación para minimización en la generación de residuos**

Estas técnicas tienen que ver con la reducción en el uso del agua, reducción del arrastre de los contaminantes y manejo eficiente de residuos del proceso. Ellas incluyen la reducción del uso de agua como control más importante, junto con evitar el arrastre de electrolitos desde los baños de zincado y pasivado hasta las tinajas de enjuague, esto se logra controlando los tiempos de goteo (tiempo desde que la pieza sumergida sale desde la bañera, queda suspendida para gotear, y pasa al baño de enjuague) lo que da como resultado la descarga reducida de contaminantes, consecuentemente, costos reducidos en el tratamiento de aguas residuales.

Se proponen las siguientes acciones (3):

- Conservación del baño del proceso
- Segregación del baño del proceso
- Reducir los líquidos de limpieza
- Tratamiento integrado de los residuos
- Buena limpieza, mantenimiento y servicio
- Control tiempo de goteo.
- Tinas de enjuague estáticos

### **3.8.-Requisitos para legalización planta de tratamiento RILes**

El primer paso para iniciar el proceso de legalización de la planta de tratamiento de Ducasse Industrial es el ingreso del proyecto de modificación de la planta actual, al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En efecto como la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial es un proyecto ya construido no correspondería realizar una Declaración o Estudio de Impacto ambiental pues estos se aplican a proyectos antes de que sean ejecutados, ya que son herramientas de gestión preventiva. Corresponde para este caso particular ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, las modificaciones realizadas a la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial de acuerdo al artículo 8 de la Ley 19.300 “Ley de Bases Generales del Medio Ambiente” (MINSEGPRES 1994).

#### **3.8.1.-Determinación de la necesidad de presentar un EIA o DIA**

De acuerdo a la normativa ambiental vigente, para ingresar al Sistema de Evaluación Impacto Ambiental existen dos vías:

- a) EIA: Estudio de Impacto Ambiental
- b) DIA: Declaración de Impacto Ambiental

En el art. N° 11 de la ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente se enumeran las 6 condiciones por las cuales un proyecto debe presentarse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental mediante un Estudio de Impacto Ambiental

1. Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de sus efluentes, emisiones o residuos.
2. Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.
3. Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.
4. Localización próxima a población, recursos y áreas protegidas susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.
5. Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona, y
6. Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico, y en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

Estos puntos antes mencionados se especifican con mayor detalle en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S 95/01 MINSEGPRES) en los art. N° 5, 6, 8, 9,10 y 11 y son precisamente estos artículos los que se analizan uno por uno para determinar el ingreso del proyecto a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y en el caso de no generara ninguno de los efectos mencionados en los artículos N° 5, 6, 8, 9,10 y 11 el proyecto entra a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA)

#### IV: DISCUSION

En general la secuencia de operación para el tratamiento está bien diseñada para el tipo de componentes que presenta el RIL sin tratamiento, el que posee principalmente zinc y cromo hexavalente. Sin embargo se encontró un error en la secuencia, que era bajar el pH a 7 luego de haber formado los hidróxidos metálicos a pH 8,5, con lo cual se desplaza el equilibrio desde la formación de hidróxidos metálicos (fase sólida) a formación de cationes metálicos libres  $Zn^{+2}$ ,  $Cr^{+3}$  (fase líquida), por esta razón eliminar este paso fue la primera acción que se tomó.

Se cambiaron algunos reactivos y se elevó el pH al cual se ha de tratar el RIL hasta 10 con lo que se mejora la remoción de zinc y de cromo se mantiene en norma, aunque no es el pH óptimo para removerlo desde la fase líquida. Por otra parte se elimina la dificultad del control de pH ya que es más fácil llegar pH 10 que a 8,5 con hidróxido de sodio.

El sistema de Sedimentación actual no cumple a cabalidad su función y genera problemas ya que una vez arreglado los parámetros de la secuencia de tratamiento el éxito de esta recae directamente en la separación de las fases determinada por una correcta sedimentación. El estanque actual podría funcionar de manera manual, es decir si existe una persona encargada de cerrar y abrir las válvulas luego de que se produzca la sedimentación, también es necesario que el volumen enviado desde el neutralizador sea

igual o menor que el puede recibir el sedimentador para esto se debe llenar el neutralizador con una menor cantidad de líquido. Otra solución más conveniente es comprar un nuevo sedimentador que separe las fases de forma continua de manera que no necesita un operador que las controle.

Respecto al tratamiento de residuos, la aproximación “end of pipe” que se basa en el tratamiento de residuo una vez finalizado el proceso productivo es siempre la más cara. La prevención o reducción en origen y el reciclaje en la fuente, disminuyen o eliminan la necesidad de reciclaje fuera de la planta o el tratamiento, de los residuos y su posterior disposición. La reducción de residuos es siempre más barata que su recolección, tratamiento y disposición.

Es recomendable empezar a trabajar en un sistema enfocado en la minimización de generación de residuos desde su fuente de origen, para el caso particular, la principal fuente es el arrastre de electrolitos desde los baños de zincado y pasivado minimizando estos es posible disminuir las cargas contaminantes de RIL crudo facilitando su tratamiento y disminuyendo la formación de lodos. Una alternativa sencilla y económica para disminuir la acumulación de lodos en la Planta de Tratamiento de RILes es el sistema de deshidratación propuesto.



Finalmente se recomienda el ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, de modo de obtener el plan de monitoreo de riles, entregado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Para cumplir con los requisitos que estipula la legislación vigente.

## V: CONCLUSIONES

1. Se realizó el diagnóstico de la situación operacional de la planta de tratamiento de Ducasse Industrial y se encontraron las siguientes dificultades:
  - Secuencia de ajuste de pH no era óptima, con pasos innecesarios que provocaba pérdida de tiempo y recursos.
  - Dosificación desconocida de floculante.
  - Diseño inapropiado de Sedimentador.
  - Necesidad de ajustarse a la legislación vigente.
  - Inadecuada remoción de zinc antes del vertimiento al sistema de alcantarillado de los RILes.
  
2. Se desarrollaron propuestas de mejoras técnicas para la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial
  
3. Se evaluaron a nivel de laboratorio las mejoras en el cambio de reactivos, encontrándose que:
  - El cambio de hidróxido de calcio (cal) por hidróxido de sodio (soda cáustica) cumple la finalidad de ajuste de pH y evita la formación de incrustaciones.

- Los floculantes Betzdearborn y Magnafloc 155 fueron los de mejor desempeño preparados al 0.2% p/v y dosificado al RIL en 10 mg/L, siendo el de menor costo comercial Magnafloc 155.
4. Se evaluó una mejora en la eficiencia de la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial manifestada en una disminución promedio de 98% del contenido de zinc en el RIL una vez tratado, a pH 10.
  5. El sedimentador no cumple con su función, por lo tanto se presentaron propuestas para el cambio o modificación de este.
  6. El sistema de deshidratación para lodos propuesto es económico y de eficiencia probada, logrando reducir los costos por disposición final de lodos.
  7. La Planta de Tratamiento de RILes Ducasse Industrial debe ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental atendiendo a las modificaciones hechas a su proceso de tratamiento, para posteriormente obtener el plan de monitoreo entregado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios.
  8. Se elaboraron listas de chequeo y capacitaciones a los operarios de las líneas de zincado.

9. Se comprobó que la Planta de Tratamiento de RILes de Ducasse Industrial mejora su desempeño con los cambios en la operación propuestos e implementados.

## **VI: RECOMENDACIONES**

Se recomienda a Ducasse Industrial implementar un sistema de gestión ambiental, según ISO 14001 que ofrezca continuidad a estos resultados y garantice el cumplimiento de la legislación ambiental vigente.

## VII: BIBLIOGRAFIA

1. <http://www.finishing.com/faqs/howworks.html>
2. Ducasse Industrial. Misión y Visión
3. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Febrero 2000. "Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Galvanoplastia".
4. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.2002. Reglamento Sistema del Impacto ambiental modif. D.S 95/01.
5. Burriel F.1998. Química Analítica Cualitativa.Paraninfo (Ed)
6. Muñoz, M, Ochoa J, Fernández C.2005.Vol. III." Formación de microemulsiones inversas de acrilamida". Ciencia y tecnología.Rev.
7. Chang, R.1992. Química. Mc Graw Hill (Ed)
8. Metcalf & Eddy .1996. Ingeniería de aguas residuales. Mc Graw Hill (Ed)
9. Ministerio Secretaría general de la presidencia.1994. Ley 19300.Ley de bases generales del medio ambiente.
10. Ministerio Obras Públicas.1998.D.S 609/98 MOP. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales a sistema de alcantarillado.
11. Stumm W.1996. Aquatic Chemistry. John Wiley & Sons (Ed).

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### **Fundamento de técnicas de análisis.**

#### **Sólidos disueltos**

Una muestra homogeneizada es filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio cuyo tamaño de poro sea igual o inferior a 2  $\mu\text{m}$  para sólidos disueltos. El filtrado es evaporado a sequedad en un plato de aluminio previamente pesado y luego secado a 104°C. hasta peso constante. El incremento de peso en el plato de aluminio corresponde a la fracción sólidos suspendidos.

#### **Cromo hexavalente por espectroscopia uv-vis**

El cromo hexavalente es determinado colorimétricamente con difenilcarbazida en solución ácida formándose un compuesto color rojo-violeta, esta reacción es muy sensible y específica para cromo a pH ácidos usando  $\lambda$  analítica de 540 nm.

La reacción con difenilcarbazida es extremadamente específica para cromo. Las sales de molibdeno hexavalente y mercurio reaccionan formando color con el reactivo pero el color formado es de menor intensidad comparado con el cromo, además es específica para cromo a pH ácido.

#### **Aceites y grasas**

El método consiste en la determinación gravimétrica de sustancias extraídas desde muestras con solvente n-hexano. La extracción debe ser llevada a cabo con la ayuda de un aparato de extracción continuo Soxhlet.

#### **Determinación de cromo y zinc por Absorción atómica.**

La espectroscopia de absorción atómica usa la absorción de la luz para medir la concentración de la fase gaseosa de átomos. En muestras líquidas, los átomos o iones de los analitos deben ser vaporizados a la llama en un atomizador con llama, la disolución de la muestra es nebulizada mediante un flujo de gas oxidante mezclado con el gas combustible y se transforma en una llama donde se produce la atomización.

Los átomos absorben luz visible o ultravioleta que se miden a una longitud de onda particular para cada átomo y que corresponde a la energía necesaria para la transición de electrón a un nivel de energía superior. La cantidad de luz absorbida está directamente ligada a la cantidad de analito presente.

ANEXO 2



LISTA DE CHEQUEO  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE RILES

Mes \_\_\_\_\_

Turno \_\_\_\_\_

Responsable \_\_\_\_\_

**Diario**

Observaciones Primera Semana						
PROCEDIMIENTO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
Analizar contenido de zinc camara monitoreo						
Analizar contenido de aceite del FRL						
Evacuar el agua del colector de emergencia						
Verificar el nivel de los estanques dosificadores						
Verificar las alarmas en pantalla y solucionarlas						
Observaciones Segunda Semana						
PROCEDIMIENTO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
Analizar contenido de zinc camara monitoreo						
Analizar contenido de aceite del FRL						
Evacuar el agua del colector de emergencia						
Verificar el nivel de los estanques dosificadores						
Verificar las alarmas en pantalla y solucionarlas						
Observaciones Tercera Semana						
PROCEDIMIENTO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
Analizar contenido de zinc camara monitoreo						
Analizar contenido de aceite del FRL						
Evacuar el agua del colector de emergencia						
Verificar el nivel de los estanques dosificadores						
Verificar las alarmas en pantalla y solucionarlas						



## LISTA DE CHEQUEO PLANTA DE TRATAMIENTO DE RILES

Mes \_\_\_\_\_

Turno \_\_\_\_\_

Responsable \_\_\_\_\_

### Sermanal

Procedimiento	Día	1º Semana Observación	2º Semana Observación	3º Semana Observación	4º Semana Observación	5º Semana Observación
Limpieza de: Tablero eléctrico, baliza y campanilla	Jueves					
Limpieza pasillo, y exterior de estanques	Jueves					
Revisar si existen filtraciones	Jueves					
Revisar sensor de nivel de ácido sulfúrico	Jueves					
Vaciar el contenido de metabisulfito de sodio y preparar según protocolo **	Jueves					

\*\* Importante: la preparación de metabisulfito de sodio no debe permanecer más de una semana una vez preparado en el estanque dosificador



## LISTA DE CHEQUEO PLANTA DE TRATAMIENTO DE RILES

### TRIMESTRAL

#### Calibración electrodos

Procedimiento	SEGUNDA SEMANA			
	Lectura Marzo	Lectura Junio	Lectura Septiembre	Lectura Diciembre
Lectura pH buffer 4,0				
Lectura pH buffer 7,0				
Lectura ORP 240 mv				
Lectura ORP 470 mv				
Responsable				

### SEMESTRAL

#### Limpieza estanques

Procedimiento	OBSERVACIONES	
	PRIMERA SEMANA JUNIO	PRIMERA SEMANA DICIEMBRE
Vaciado y limpieza estanque neutralizador		
Vaciado y limpieza estanque sedimentación.		
Responsable		

#### Limpieza estanques

Procedimiento	OBSERVACIONES	
	CUARTA SEMANA MAYO	CUARTA SEMANA NOVIEMBRE
Vaciado y limpieza estanque alcalino		
Vaciado y limpieza estanque ácido		
Vaciado y limpieza estanque emergencia		
Responsable		

### ANEXO 3

#### **Tiempos de retención hidráulicos y estimación del volumen para nuevo Sedimentador.**

El tiempo de retención hidráulico (THR) calculado experimentalmente corresponde a 50 minutos (0,83 h)

El caudal (Q) medio que corresponde a 5 m<sup>3</sup>/ h

Según la relación:

$$V = \text{THR} * Q$$

Donde

V: Volumen del Sedimentador

Q: Caudal RIL

THR: El tiempo de retención hidráulico

Reemplazando se obtiene:

$$V = 0,83 \text{ h} * 5 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$V = 4.16 \text{ m}^3$$