

UCH-FC
Q. Ambiental
G. 261
C. 1

PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PRODUCCION LIMPIA, DISEÑO DE
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y RECIRCULACION DE LAS
AGUAS DE PROCESO DE LA INDUSTRIA PAPELERA

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

QUÍMICO AMBIENTAL

Víctor Elías Gatica Espinoza



Profesor Patrocinante: Mag. Julio E. Hidalgo Carvajal

Julio, 2008

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACIÓN
SEMINARIO DE TÍTULO

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

Víctor Elías Gatica Espinoza

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

Comisión

Prof. Patrocinante: Mag. Julio Hidalgo C.

Correctores: Dr. Mauricio Isaacs

Dra. Isel Cortés





VÍCTOR ELÍAS GATICA ESPINOZA

ANTECEDENTES PERSONALES

R.U.T : 14.009.523-0
Nacionalidad : chilena
Fecha de Nacimiento : 29 de julio de 1981
Género : Masculino
Estado Civil : Soltero
Dirección : Av Bajos de Matte #0380, Buin, Santiago, R.M.
Teléfonos de contacto : 8214062 / 08-4717134
Correo Electrónico : victor.gatica.espinoza@gmail.com

ANTECEDENTES ACADÉMICOS

Nivel de estudios : Profesional
Enseñanza Básica : Liceo A N° 131, Buin, Región R.M.
Enseñanza Media : Liceo A N° 131, Buin, Región R.M.
Estudios Superiores : Carrera Química Ambiental, Facultad de Ciencias,
Universidad de Chile.
Grado : Licenciado en Ciencias Ambientales c/m en Química.



Experiencia Laboral : Empresa: **KIMICA CHILE LTDA.** Marzo 2008

Supervisor Laboratorio PGA.

Empresa: **S.A. Viña Santa Rita.** Enero 2007 – Julio 2007

Analista Químico, Laboratorio fisicoquímico, departamento de enología.

OTROS

Participación en : 1- Estudio de adsorción de un fungicida de carácter
Congresos hidrofóbico (captan), en suelos chilenos clasificados, trabajo presentado en las IV jornadas de la Sociedad Chilena de Física y Química Ambiental, 13-16 de abril 2005, Universidad de la Frontera, Temuco.

2- Competencia en la adsorción y persistencia de dos fungicidas de diferente hidrofobicidad (thiram y captan), en suelos chilenos clasificados; presentado en el XI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo 16-18 noviembre 2005; Campus Antumapu, U. de Chile, Santiago.

...a mi abuelo
y a mis padres, por su incondicional apoyo,
comprensión y cariño durante estos años



AGRADECIMIENTOS

Tras el cumplimiento de esta etapa en mi vida, quisiera comenzar agradeciendo a Díos, a mi familia y a mis amigos.

Al profesor Julio Hidalgo por darme la oportunidad de desarrollar este tema. A la profesora Sylvia por la paciencia y la entrega que me brindo durante estos años. A la vida por darme la oportunidad de conocer a gente con valores, a Mabel, María Fernanda y Patty, por la amistad, los consejos siempre certeros, el cariño y los buenos momentos dentro y fuera de la Facultad.

RESUMEN

En los últimos años el país ha aumentado la generación de residuos industriales, dañando al medioambiente y deteriorando la calidad de vida de la población. Hoy, su manejo sustentable, permite comprobar que es posible incrementar la productividad y reducir considerablemente la generación de residuos y emisiones a un bajo costo.

Debido a que la industria papelera tiene asociado un consumo específico de agua elevado, es fundamental tomar medidas respecto al uso eficiente este recurso, por ello es que se propone un sistema de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso, con la finalidad de limpiar estas aguas reincorporándolas al proceso productivo, disminuyendo considerablemente el consumo de agua y aumentando a la vez la eficiencia del proceso.

La técnica utilizada corresponde a la coagulación química mediante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, la que alcanza una remoción superior al 90% de sólidos en suspensión (SS) y de 63% de la demanda química de oxígeno (DQO), comparado con remociones menores usando como agente coagulante cloruro férrico (FeCl_3) y electrocoagulación. Los parámetros de diseño de la planta de limpieza de las aguas de proceso se calcularon mediante resultados de laboratorio los que se mostraran a continuación.

Las propuestas efectuadas a Schorr & Concha S.A. en lo que respecta a Producción Limpia son sencillas y económicamente viables ya que, los costos asociados a este tipo de estrategia son despreciables comparado con los beneficios externos en cuanto ahorro de capital a largo plazo.

ABSTRACT

Nowadays in our country, industrial residues generation has been increasing, damaging the environment and in many cases, quality of life is been spoiled. But this can be in a sustentable managing, making possible a low cost productivity increase and residues and smog emission considerable reduce.

In fact, the paper production industry has important water consumption, it is basic to take decisions about the efficient use of this resource, one proposal is a treatment system and water recirculation process to clean this water, reincorporating it in the productive process, getting an important water consumption save, making an efficient process by sense.

The technology used corresponds to the chemical coagulation by means of aluminium sulfate $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, which reaches a removal over 90 % of suspension solids (SS) and of 63 % of oxygen chemical demand (DQO), compared with minor removals using ferric chloride (FeCl_3) as coagulating agent and electrocoagulation. The design parameters of the water process cleanliness plant were calculated by means of laborator results, which will be described more after.

The offered proposal to Schorr and Concha S.A. about clean production, is simple and economically viable, making present this kind of strategy, related costs are despicable compared with the external benefits, including long-term economical save.

5.6	Agentes Coagulantes y Floculantes.....	40
5.7	Electrocoagulación.....	43
5.7.1	Generalidades.....	43
5.8	Factores que Influyen en el Proceso de Coagulación – Floculación.....	46
5.8.1	Influencia del pH.....	46
5.8.2	Influencia de la Concentración de Coagulante.....	47
5.8.3	Influencia de la Temperatura.....	47
5.8.4	Influencia de la mezcla.....	47
5.8.5	Influencia del Sistema de Aplicación del Coagulante.....	48
5.8.6	Influencia de la Turbiedad o Concentración de Coloides.....	48
5.8.7	Influencia de Sales Disueltas.....	48

CAPITULO VI: OBETIVOS

6.1	Objetivo General.....	49
6.2	Objetivos Específicos.....	49

CAPITULO VII: MATERIALES Y METODOS

7.1	Generalidades.....	50
7.2	Reactivos.....	50
7.3	Aparatos e Instrumentos.....	50
7.4	Metodología.....	53
7.4.1	Coagulación Química.....	53
7.4.1.1	Procedimiento General.....	53
7.4.1.2	Efecto del Tiempo de Retención Hidráulico sobre la remoción de Sólidos Suspendidos y la demanda química de oxígeno.....	53
7.4.1.3	Efecto de la concentración de sulfato de aluminio y cloruro férrico sobre la remoción de sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno.....	54
7.4.1.4	Estudio de la Generación de Lodos.....	54

7.4.2	Electrocoagulación.....	54
7.4.2.1	Procedimiento General.....	55
7.4.2.2	Estudio de la influencia de la concentración de sólidos suspendidos sobre la eficiencia de la remoción.....	56
7.4.2.3	Estudio de la influencia de la dimensión de los electrodos sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	56
7.4.2.4	Estudio de la influencia de la distancia interelectródica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	56
7.4.2.5	Estudio del efecto del tiempo de electrolisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	57
7.4.2.6	Estudio del efecto del voltaje aplicado sobre la remoción de sólidos suspendidos.....	57
7.4.3	Columna de Sedimentación.....	57

CAPITULO VIII: RESULTADOS Y DISCUSION

8.1	Producción Limpia.....	58
8.1.1	Programa de minimización de Desechos y Emisiones.....	58
8.1.2	Programa de Reutilización y Reciclaje.....	60
8.1.3	Manejo de Sustancias Peligrosas.....	61
8.1.4	Reducción de la perdida de fibra.....	61
8.1.5	Seguridad y Salud Ocupacional.....	62
8.1.6	Uso eficiente de la Energía.....	62
8.1.7	Uso eficiente del recurso agua.....	63
8.2	Monitoreo de Variables.....	65
8.3	Resultados Coagulación Química.....	69
8.3.1	Efecto del Tiempo de Retención Hidráulico sobre la remoción de sólidos suspendidos y la demanda química de oxígeno.....	69
8.3.2	Efecto de la concentración de sulfato de aluminio y cloruro férrico sobre la remoción de sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno.....	71

8.4 Electrocoagulación.....	73
8.4.1 Estudio de la influencia de la concentración de sólidos suspendidos sobre la eficiencia de la remoción.....	73
8.4.2 Estudio de la influencia de la dimensión de los electrodos sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	74
8.4.3 Estudio de la influencia de la distancia interelectródica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	76
8.4.4 Estudio del efecto del tiempo de electrolisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	77
8.4.5 Estudio del efecto del voltaje aplicado sobre la remoción de sólidos suspendidos.....	78
8.5 Estudio de la generación de lodo.....	79
8.6 Análisis de lixiviación de lodos generados.....	80
8.7 Pruebas en Columna de Sedimentación.....	81
8.8 Diseño Planta de Tratamiento y Recirculación de las Aguas de Proceso.....	85
8.8.1 Bases de Diseño.....	85
8.9 Plan de Emergencias.....	93

CAPITULO IX: CONCLUSIONES

9.1 Producción Limpia.....	94
9.2 Diseño Planta de Tratamiento y Recirculación de aguas de Proceso.....	95

CAPITULO IX: BIBLIOGRAFIA.....97

ANEXOS

ANEXO A: Caracterización RIL Schorr & Concha según D.S. 90/00.....	99
---	----

ANEXO B: Datos obtenidos.....	102
ANEXO C: Ejemplos de Calculo.....	108
ANEXO D: Legalidad aplicable al Proyecto.....	116
ANEXO E: Ficha de seguridad coagulantes.....	132

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea de la planta industrial Schorr & Concha S.A.....	7
Figura 2. Estructura organizacional de la empresa.....	8
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la hoja de papel.....	9
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de Cartón Corrugado.....	13
Figura 5. Opciones de prevención de la contaminación ambiental.....	20
Figura 6. Beneficios asociados a la implementación de medidas de Producción Limpia.....	22
Figura 7. Procesos unitarios en el pretratamiento y tratamiento primario.....	28
Figura 8. Procesos unitarios en el tratamiento secundario.....	29
Figura 9. Procesos unitarios en el tratamiento terciario.....	30
Figura 10. Modelo de la doble capa.....	37
Figura 11. Columna de sedimentación de laboratorio.....	51
Figura 12. Configuración experimental de la celda electrolítica.....	55
Figura 13. Mediciones de caudales.....	66
Figura 14. Monitoreo de pH en las aguas de proceso.....	67
Figura 15. Monitoreo de T de las aguas de proceso.....	68
Figura 16. Monitoreo de SS de las aguas de proceso.....	68
Figura 17. Efecto del t_R sobre la remoción de SS.....	70
Figura 18. Efecto del t_R sobre la remoción de DQO.....	71
Figura 19. Efecto de la concentración de $Al_2(SO_4)_3$ sobre la remoción de SS.....	72
Figura 20. Efecto de la concentración de $FeCl_3$ sobre la remoción de SS.....	72
Figura 21. Estudio de la influencia de la concentración de sólidos suspendidos sobre la Eficiencia de la remoción.....	74
Figura 22. Estudio de la influencia de la dimensión de los electrodos sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	75
Figura 23. Efecto de la distancia interelectródica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	76

Figura 24. Efecto del tiempo de electrolisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.....	78
Figura 25. Estudio del efecto del voltaje aplicado sobre la remoción de sólidos suspendidos.....	79
Figura 26. Remoción de SS en función del t_R y H.....	82
Figura 27. Grafico de sedimentación.....	83
Figura 28. Velocidad de sedimentación efectiva en función del % de remoción de SS.....	84
Figura 29. % de SS removidos en función de la carga superficial.....	84
Figura 30. Diagrama control automático: ajuste de pH y dosificación coagulante.....	88
Figura 31. Diagrama del sistema de tratamiento.....	91
Figura 32. Diagrama del sistema de recirculación.....	91
Figura 33. Diagrama general del sistema de limpieza y recirculación adoptado.....	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de RIL según D.S. 90/00.....	16
Tabla 2. Propiedades de los Coloides.....	35
Tabla 3. Aporte de las aguas que abastecen el proceso productivo a la concentración de contaminantes al final del proceso.....	65
Tabla 4. Remoción de DQO.....	73
Tabla 5. Estudio de la generación de lodos.....	80
Tabla 6. Test de lixiviación de metales pesados a lodos según D.S. 148.....	81
Tabla 7. Resumen mediciones de caudal Schorr & Concha S.A.....	85
Tabla 8. t_R de diseño.....	86
Tabla 9. Dimensiones de la unidad de sedimentación.....	86
Tabla 10. Resumen de los volúmenes de los estanques de almacenamiento.....	87
Tabla 11. Generación de lodo.....	89
Tabla 12. Parámetros de diseño unidad espesadora de lodo.....	90
Tabla 13. Dimensiones de la unidad espesadora de lodo.....	90

GLOLOSARIO

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
A	área	m^2
A_c	área unidad espesadora de lodos	m^2
A_s	área sedimentador	m^2
AyG	aceites y grasas	mg/L
BH	lodo en base húmeda	L
BS	lodo en base seca	g
D	diámetro	m
DBO_5	demanda bioquímica de oxígeno	mg/L
DQO	demanda química de oxígeno	mg/L
E-1	estanque de acumulación de agua de proceso	m^3
E-2	estanque de acumulación solución coagulante	m^3
E-3	estanque de mezcla rápida	m^3
E-5	estanque NaOH	m^3
E-6	estanque H_2SO_4	m^3
H	alto	m
L	largo	m
Q	caudal	m^3
Q_c	caudal coagulante	L/min
Q_R	caudal agua de proceso	L/min
Q_{RT}	caudal RIL tratado	m^3
RIL	residuo industrial líquido	
SS	sólidos suspendidos	mg/L
t_R	tiempo de retención hidráulico	min
V	volumen	m^3
Val	volumen acumulación de lodos	m^3
Vel	volumen espesador de lodos	m^3
V_{MR}	volumen unidad de mezcla rápida	m^3
v_s	velocidad de sedimentación efectiva	m/h
Vu	volumen útil espesador de lodos	m^3

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La contaminación de origen industrial constituye una de las principales causas del deterioro del medio ambiente. Si bien, las industrias han sido un componente clave del desarrollo económico, no ha sido fácil compatibilizar este desarrollo con el cuidado del ambiente. En el marco de un sistema económico de libre mercado aquellos industriales comprometidos con el medio ambiente se podrían encontrar en una situación desmejorada frente a sus rivales si sus productos son exportados, asumiendo mayores costos de producción frente a los competidores que no tienen costos asociados a la reducción de la contaminación.

Existe una creciente presión sobre las empresas chilenas para que estas reduzcan significativamente sus emisiones contaminantes. Esta tendencia surge de la confluencia de factores tales como la presión internacional, dada por convenciones y acuerdos internacionales suscritos por Chile, y por la existencia de regulaciones y barreras técnicas en países desarrollados que imponen restricciones a exportaciones de bienes ambientalmente perjudiciales y/o procesos productivos contaminantes, así como por la evolución de la regulación y fiscalización a nivel nacional, que se manifiesta principalmente por el marco regulatorio dado por la Ley 19.300. Esta se ha materializado en la promulgación de diversas normas de emisión que establecen límites máximos a los contaminantes generados por establecimientos productivos, además de una fiscalización creciente de las condiciones de trabajo en materia de higiene y seguridad industrial y por último una creciente sensibilidad social, que se traduce en una mayor conciencia de los

ciudadanos, consumidores, trabajadores y empresarios sobre la existencia de la contaminación y su impacto sobre la salud y la calidad de vida. Esto implica que en Chile ya terminó un período de indiferencia ciudadana y que las empresas están más expuestas a la crítica y a las exigencias de la comunidad.

La creciente presión social, regulatoria y de fiscalización en Chile, está obligando a las empresas a iniciar prácticas de reducción de la contaminación, generalmente asumiendo las normas de emisión como parámetro de cumplimiento. En las industrias que recién se instalan, es probable que las inversiones se realicen con equipos nuevos y menos contaminantes. Sin embargo; el problema mayor se concentra en la masa de empresas ya instaladas que se confrontan al desafío de adecuar procesos y productos para reducir emisiones y descargas.

Desde el punto de vista ambiental, las actividades industriales asociadas a la Industria del Papel, traen consigo una serie de potenciales impactos que son importantes de considerar para el crecimiento sustentable del sector. Por tal razón juegan un rol fundamental las medidas de prevención y control ambiental, como parte del diseño de una estrategia de gestión productiva y ambiental. Uno de los principales impactos al medio ambiente que genera la industria del papel tiene relación con sus Residuos Industriales Líquidos (RILes) generados en el proceso de fabricación de papel.

Debido a los altos volúmenes de agua requeridos para formar la hoja de papel, la industria papelera genera grandes caudales en sus procesos, con altos contenidos de sólidos

suspendidos (SS), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), entre otros contaminantes, los que deben estar dentro de los parámetros establecidos por la normativa vigente aplicable.

Dentro de la normativa aplicable a RILes, destacan el Decreto Supremo N° 609/98, que Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado. Y aun mas importante para las industrias es el Decreto Supremo N° 90/00, que establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales ya que a contar 3 de septiembre del 2006 se dió cumplimiento a los estándares de emisión establecidos por este decreto.

En general, se distinguen dos formas de dar cumplimiento a con estas normativas, estas son:

- Prácticas de tratamiento de la contaminación vía enfoque de tecnologías de abatimiento, donde los esfuerzos de la empresa se orientan a controlar el impacto ambiental, en forma exógena al proceso productivo.
- Prácticas de prevención de la contaminación ambiental vía enfoque de Producción Limpia (PL), que son menos difundidas que las anteriores. Las tecnologías de PL suponen acciones de pre-tratamiento de insumos, y sobre todo adecuaciones en las tecnologías de producto, proceso y de gestión orientada a la minimización de residuos. También incluye el reciclaje de residuos dentro de la planta. Ello implica

un cambio de enfoque orientado a optimizar el uso de recursos para elevar la competitividad y reducir emisiones y/o descargas.

CAPITULO II: ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Generalidades

Schorr & Concha S. A. fue fundada el 16 de Agosto de 1907 por Don Carlos Schorr Krapp, un emprendedor que llega a Talca en el año 1881 contratado por la fábrica de cerveza Schleyer.

Tras comprar en Alemania la máquina papelera marca Füllner y sus anexos; inicia en Julio del 1910 la fabricación de papel con una producción aproximada de 100 Kg/hora. El día 9 de Julio a las 9:00 h. se fabrica el primer papel.

A la fecha y tras la gestión de sus respectivos hijos durante cuatro generaciones, donde se han mejorado tecnologías y optimizado procesos, la fábrica ha aumentado en lo que refiere a la calidad y la cantidad del papel terminado. Actualmente, tiene una producción de 1000 Kg/hora; generando una producción anual de unas 5.500 toneladas de producto terminado. (Anexo A).

Schorr & Concha S. A. en la actualidad produce cajas de cartón para embalaje a partir de materiales reciclados, el producto terminado es utilizado por empresas que exportan sus productos y es por esta razón que se les exige además de un alto control de calidad, garantizar la protección y el cuidado ambiental.

Una de las ventajas de producir cartón a partir de materias primas recicladas tiene que ver con el costo asociado a esta producción. El costo asociado a la producción de cartón a partir de material virgen posee un valor de un 60% más alto que el que se fabrica a partir de reciclaje (Marambio & Lillo, 2006) (Odriozola, 2007), esto coloca a la empresa en una situación ventajosa en cuanto al valor más competitivo que presenta el producto terminado.

La fábrica utiliza en la totalidad de sus procesos las aguas subterráneas que circulan por el sector. La captación del agua se hace a través de bombas de extracción desde un pozo cuya napa freática se encuentra a unos 6 m de profundidad y la descarga residual se hace directamente al “Canal Cartón” el cual desemboca en el río Claro. No obstante la empresa cuenta en sus instalaciones con un pozo profundo el que no se encuentra operativo.

Es de interés de Schorr & Concha S.A., mantener y mejorar la calidad de sus productos, aumentar la eficiencia de sus procesos, el bienestar de sus trabajadores y de la comunidad y preservar el medio ambiente, minimizando los impactos que sobre él tienen sus procesos industriales. Producto de esta política de mejoramiento continuo de sus procesos y de producir amigablemente con el medioambiente la ha llevado a desarrollar el presente proyecto de “Propuestas de medidas de Producción Limpia, diseño de un sistema de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso.”

2.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICO ADMINISTRATIVA.

La planta se encuentra ubicada en Avenida Carlos Schorr N° 433. Ciudad de Talca, Región del Maule, Chile. En la figura 1 se muestra una vista aérea de la planta industrial.

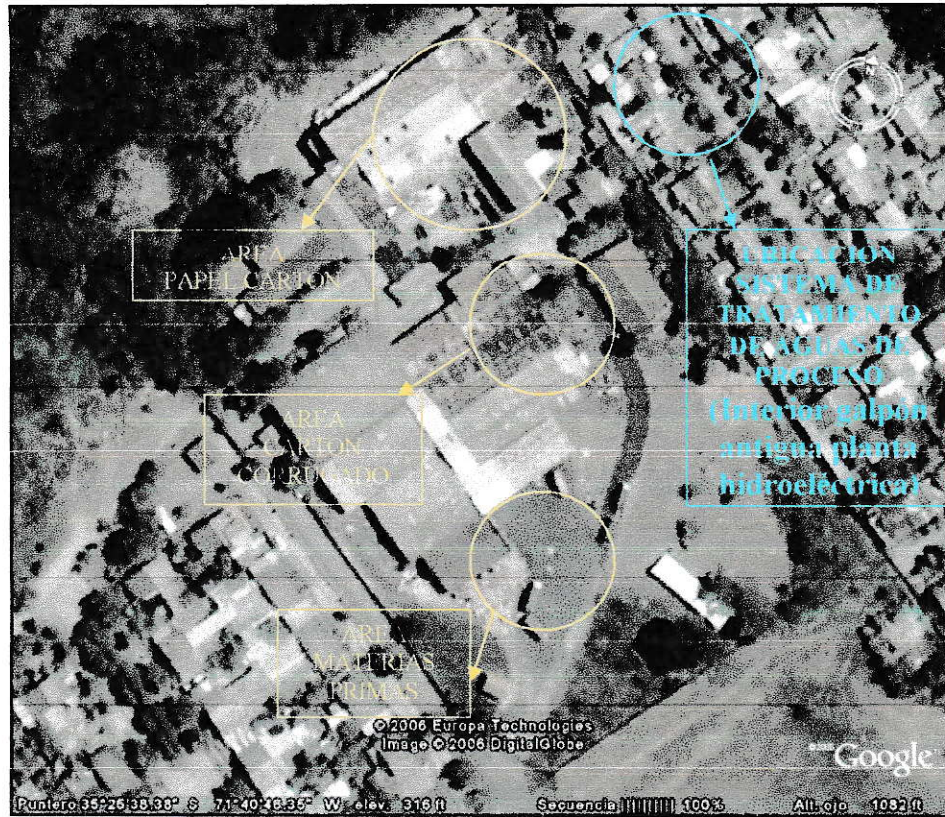


Figura 1. Vista aérea de la planta industrial Schorr & Concha S.A.

2.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La estructura organizacional de la empresa esta conformado por cinco departamentos y un gerente general, como se muestra en la figura 2, de esta se desprende que de los departamentos existentes en la organización no existe responsabilidad ambiental alguna.

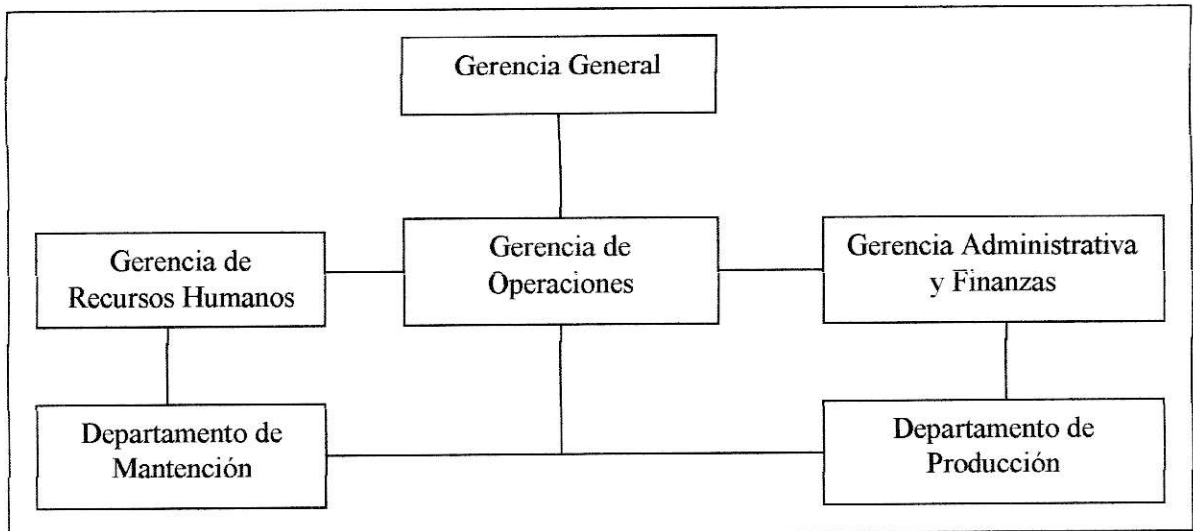


Figura 2. Estructura organizacional de la empresa.

2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo global cuenta de dos etapas: una en la cual, a partir del reciclaje de papel y cartón se logra fabricar una nueva hoja de papel y la otra es la fabricación de cartón corrugado.

2.4.1. Proceso de fabricación de la hoja de papel

El proceso de fabricación de la hoja de papel comienza en las bodegas de abastecimiento de materia prima con la clasificación de la fibra reciclada, esta clasificación se realiza de acuerdo a las fabricaciones que se programen. Las materias primas previamente clasificadas son almacenadas esperando ser llevadas al punto de inicio de la fabricación. El diagrama de flujo de este proceso se describe en la figura 3.

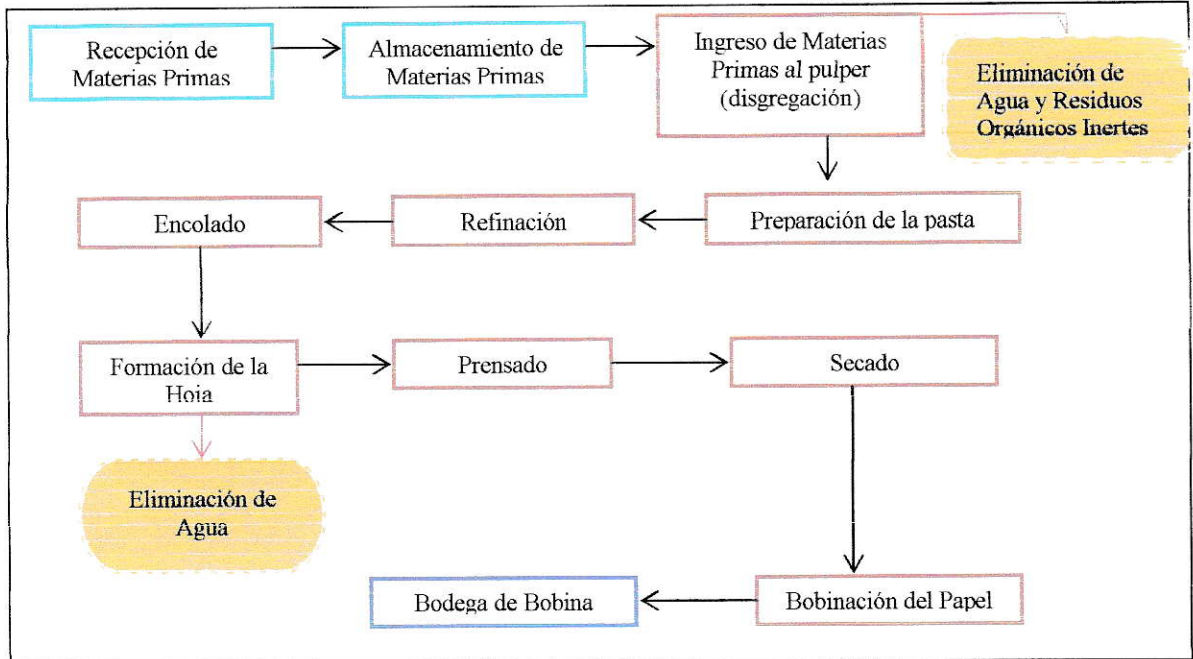


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la hoja de papel.

El circuito de fabricación del papel se inicia en el Departamento de Producción y se divide en las siguientes etapas:

2.4.1.1. Pulpeo

En esta sección se realiza la desintegración de la materia prima, que al mezclarla con agua forma una pasta consistente.

En un equipo llamado Hidropulper se debe también separar los elementos contaminantes que pueden haber ingresado a él. (plástico, corchetes, alambres, adhesivos, etc.) rechazándolos y dándole paso a la pasta ya formada.

El Hidropulper tiene una capacidad de 6 m^3 , en cuyo interior se encuentra ubicado un disco con aspas que giran provocando una violenta agitación, la cual desintegra el papel disuelto en agua; formando así una pasta celulósica.

La pasta pasa hasta un estanque con una capacidad de 16 m^3 y luego es entregada a un clasificador de pasta llamado Fiberizer, este funciona como un filtro y separa la pasta de las partículas no eliminadas por el Hidropulper. Este equipo cuenta con un rotor, que trabaja presurizado permitiendo aceptar solamente la fibra por medio de una rejilla, rechazando todos los demás materiales, por sus respectivas salidas.

2.4.1.2. Preparación de la pasta

Esta etapa del proceso se divide en tres, las cuales son:

- a) Teñido: Referido a la coloración de la pasta teñida por adición de anilinas, esta acción se realiza en una cuba de 6 m^3 de capacidad, llamado Molino Holandés, esta sub-etapa es la encargada de la coloración de la pasta celulósica.
- b) Refinación: Esta es la etapa más importante en el proceso de fabricación, ya que el tratamiento que realiza el Refinador asegura un enlace entre las fibras, para la formación de la “hoja” en la mesa.

El refinador es un equipo que cuenta con un juego de tres discos; dos de ellos estáticos y uno giratorio. Estos discos están diseñados con estrías en ángulos. La pasta entra al refinador con una consistencia determinada, provocándole a la pasta un proceso de

“desfibración”, hidratación y desmenuzamiento; dejándola lista para enlazarse con otra similar.

c) Encolado: El encolado es una adición de productos para darle características impermeabilizantes a los papeles, su adición se realiza utilizando una bomba dosificadora.

Una vez finalizado este proceso de preparación de la pasta, ésta continúa por el circuito hasta llegar a un estanque de 3 m³. En esta unidad, la consistencia de la pasta es rebajada mediante dilución, por medio de una bomba que aplica agua, transfiriéndola de esta manera hasta la Batería de Depuradores. Estos son unos ciclones que, mediante fuerza centrífuga, van eliminando pequeñas partículas contaminantes que aún permanezcan en la pasta hasta esta etapa.

2.4.1.3. Formación de la hoja

La pasta preparada, ingresa al cajón de entrada y posteriormente a la mesa de formación. En esta etapa una tela sin fin en movimiento retiene las fibras en una hoja y permite a la composición drenar por gravedad, luego por medio de cajas de succión extrae el agua adicional, finalizando esta etapa con el prensado de la hoja mediante un rodillo de goma.

2.4.1.4. Prensado

Después de formada la hoja de papel, esta llega a la etapa de prensado, en donde es eliminada el agua restante, al comprimir la hoja en contacto con los feltros, entre dos rodillos.

2.4.1.5. Secado

La mayor parte del agua restante es evaporada por contacto con los cilindros secadores que están abastecidos con vapor directo proveniente de la caldera; dejando la hoja de papel terminada y lista para pasar por entre las lisas o calandras; los cuales son unos cilindros de diámetros perfectos, que le dan al papel un perfil parejo y planchado a lo ancho de toda la hoja.

El papel es finalmente bobinado para entregarlo a la máquina rebobinadora, donde es controlado y formateado conforme a lo solicitado en la especificación del pedido.

Las bobinas de papel son enviadas a la bodega de bobina para ser distribuidas a las áreas correspondientes, principalmente al Departamento de Elaboración.

2.4.2. Proceso de fabricación del Cartón Corrugado

El proceso de fabricación de papel corrugado comprende básicamente cuatro etapas que son descritas a continuación y que se inician en la Máquina Corrugadora. Un esquema global de este proceso se muestra en la figura 4. Como se observa en esta figura, en este proceso no se generan residuos líquidos como en el proceso de fabricación de la hoja de papel.

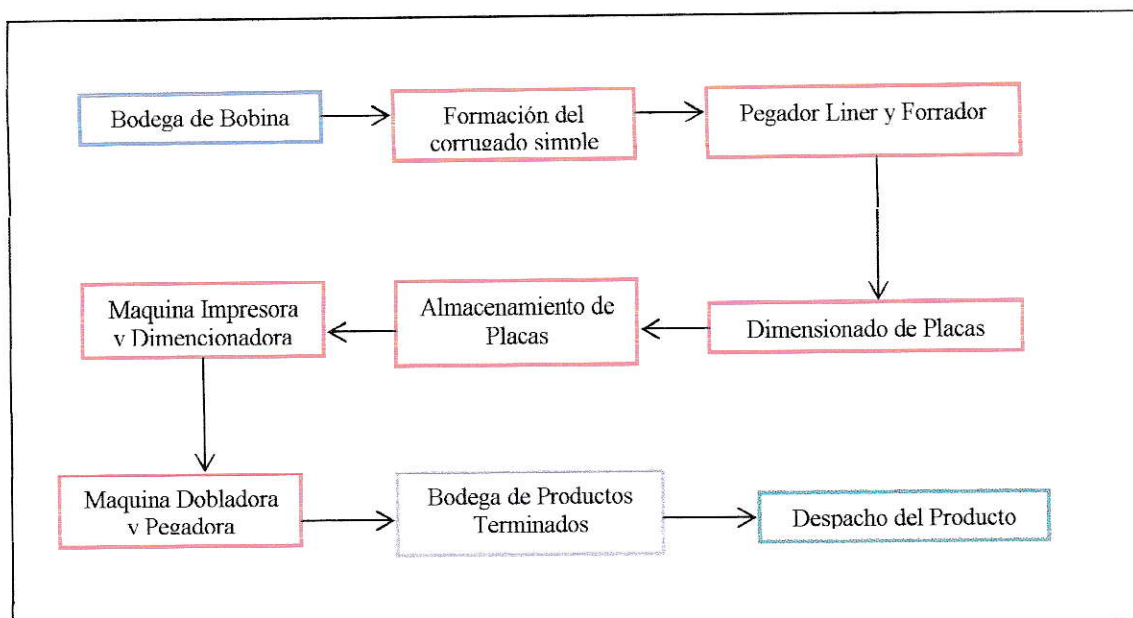


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de Cartón Corrugado

2.4.2.1. Cabezal Corrugador.

Para esta fase se cuenta con cilindros corrugadores, los cuales son previamente calentados a vapor, acá se forma el corrugado simple con los papeles tipo Onda y Liner. Una vez formado el “single face” o corrugado simple, es elevado y acumulado en el puente superior, para juntar la cantidad necesaria de “corrugado de una cara”. Luego, es diseccionado y preparado para la fase siguiente del proceso.

Posteriormente se prepara como adhesivo un almidón con algunos aditivos, utilizando vapor de agua como complemento de cocción. Luego, el almidón preparado es transportado a las bandejas de aplicación del cabezal corrugador y del forrador. Una vez unido el corrugado al primer liner, se procede al segundo paso que consiste en la aplicación del

adhesivo en la superficie opuesta al cabezal corrugador e ingresa a las mesas de secado, teniendo el contacto y pegado definitivo con el segundo liner o segunda cara.

El single face o corrugado simple, baja y pasa por un rodillo con adhesivo, recibéndolo en la cresta opuesta de la onda para luego entrar en contacto con el liner externo o forrador y juntos ingresan a las mesas de secado produciendo el corrugado de dos caras o doble face.

2.4.2.2. Dimensionado

Una vez preparado el cartón corrugado, éste ingresa al proceso de Dimensionado dándose los cortes a las placas según el requerimiento del cliente. Finalizada esta fase; éstas pasan por un sistema de correas, dejándolas caer sobre unas mesas paralelas desde donde son colocadas ordenadamente sobre el palett definitivo, para luego ser transportadas a las Bodegas de Almacenamiento.

2.4.2.3. Máquina Impresora

El material estacionado en la Bodega de Almacenamiento es trasladado a esta máquina para su conversión correspondiente, esto consiste en dimensionar a medidas exactas la placa y aplicar la impresión solicitada por el cliente.

2.4.2.4. Máquina Dobladora y Pegadora

Una vez impreso y troquelado el material es trasladado a esta máquina, donde se le aplica una película de pegamento en frío: posteriormente, es doblado y pegado en sus extremos. A continuación y en forma automática son acumuladas en paquetes o cajas de 25 unidades; luego son arrojadas sobre un sistema de rodillos de salida, para posteriormente ser empaquetado y palletizado. El promedio de stock de productos terminados es de aproximadamente 50 ton, siendo la producción mensual de unas 500 ton.

2.5. RESIDUOS INDUSTRIALES

Los residuos generados en el proceso global de fabricación de cartón corrugado se pueden clasificar básicamente en tres categorías.

2.5.1. Residuos Líquidos

Los RILes generados por Schorr & Concha S.A. tienen como origen principal las descargas generadas por el Hidropulper en el proceso de desintegración de la materia prima y por el agua extraída por las cajas de succión en la mesa de formación. Uno de los problemas asociado a estos residuos líquidos radica principalmente en su alto contenido de sólidos en suspensión (SS), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), aceites y grasas AyG, entre otros como se muestra en la siguiente tabla. (Anexo A)

Tabla 1. Caracterización de RLL según D.S. 90/00

Parámetro	Unidad	Expresión	Contaminante Media Diaria (equiv. A 1994-2000)	Concentraciones en parámetros controlados [mg/L]	Carga contaminante Diaria [g/d]
Aceites v Grasas	mg/L	AVG	960	39	20350,98
Aluminio	mg/L	Al	16	4,3	2243,83
Arsénico	mg/L	As	0,8	<0,010	
Boro	mg/L	B	12,8	1,4	730,55
Cadmio	mg/L	Cd	0,16	<0,01	
Cianuro	mg/L	CN ⁻	3,2	<0,06	
Cloruros	mg/L	Cl ⁻	6400	50	26091
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100ml	Coli/100 mL	1,60E+12	4,60E+03	2,40E+10
Cobre Total	mg/L	Cu	16	0,04	20,87
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,8	0,008	4,17
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,8	<0,24	
DBO ₅	mgO ₂ /L	DBO ₅	4000	681	355359,42
Fluoruro	mg/L	F	24	0,13	67,84
Fósforo	mg/L	P	80	17,9	9340,58
Hidrocarburos fijos	mg/L	HF	160	8	4174,56
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	16	<1,4	
Manganeso	mg/L	Mn	4,8	0,21	109,58
Mercurio	mg/L	Hg	0,02	<0,001	
Molibdeno	mg/L	Mo	1,12	<0,10	
Níquel	mg/L	Ni	1,6	<0,16	
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	800	59,88	31246,58
Pentaclorofenol	mg/L	C ₅ OHC1 ₅	0,144	ND	
pH	Unidad	pH	6,0-8,0	6,90-7,30	6,90-7,30
Plomo	mg/L	Pb	3,2	<0,05	
Poder Espumígeno	mg/L	PE	5	<2,5	<2,5
Selenio	mg/L	Se	0,16	<0,007	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	3520	936	488423,52
Sulfatos Totales	mg/L	SO ₄ ²⁻	4800	26	13567,32
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	48	<0,03	
Temperatura	°C	T°	20	19,4-24,6	19,4-24,6
Tetracloroetano	mg/L	C ₂ Cl ₄	0,64	ND	
Tolueno	mg/L	C ₆ H ₅ CH ₃	11,2	ND	
Triclorometano	mg/L	CHCl ₃	3,2	ND	
Xileno	mg/L	C ₆ H ₄ C ₂ H ₆	8	ND	
Zinc	mg/L	Zn	16	0,33	172,20

2.5.2. Residuos Sólidos Inertes

Este tipo de residuo está formado principalmente por plástico, corchetes, alambres, adhesivos, huincha de embalaje, entre otros, los que son generados en el proceso de separación de la pasta celulósica de elementos ajenos a esta en el Hidropulper y clasificador Fiberizer. También se encuentran vidrios rotos, madera, botellas, basura de oficina, envases de tintas de impresión, etc. En la fábrica se separan los desechos de papel y cartón, así como los productos de que son rechazados de producción los que entran nuevamente al proceso.

2.5.3. Lodos

Antes del diseño de la planta de recirculación de las aguas de proceso en Schorr & Concha S.A. no existía generación de lodos. Por lo tanto se hace necesario hacer un manejo de este residuo una vez que entre en operación la planta.

CAPITULO III: PRODUCCION LIMPIA

3.1. CRITERIOS ANTE LA CONTAMINACIÓN

Crecimiento, desarrollo, avance tecnológico y protección del medio ambiente son hechos presentes y necesarios, y por ello deben ser compatibles y han de buscarse vías que concilien estos conceptos y los desarrollen, de forma que la exigencia de la situación actual, de necesidad de mantenimiento y mejora de la calidad de vida, sea cubierta en todos los sectores y no sólo, como en un aspecto parcial, generando por ello graves desequilibrios en ciertas áreas, en las cuales se deben tomar medidas inmediatas.

El marco legal ha de facilitar y apoyar las acciones que se realicen en esa línea de tecnología, ahorro de materias primas y de energía, y deben estimularse todas las acciones que vayan por ese camino.

Se pueden tomar dos posturas ante la contaminación, considerando que si se contamina el medio, nos enfrentamos con la legislación vigente y con la población. Estas dos posturas o criterios son la Descontaminación y la Prevención (Seoánez, 1997).

3.1.2. Descontaminación

Como la actividad industrial genera contaminación, habrá que añadir a las instalaciones de producción, equipos que traten emisiones, vertidos y demás, de forma que se eliminen los

agentes contaminantes producidos, mediante tratamientos externos. Dentro de este criterio se encuentran las instalaciones convencionales de tratamiento (Seoánez, 1997). Mediante estas instalaciones se evita gran parte de la contaminación, aunque con un costo elevado.

3.1.3. Prevención

Se trata de intervenir en los procesos o de modificarlos de forma que no se genere contaminación, y si se produce, intentar añadir esa generación de residuos al producto fabricado, de manera que se revalorice como tal, un ejemplo sería recuperar fibra bajo la mesa de formación de la hoja de papel y reincorporarla al proceso.

Este criterio trata, pues, de evitar la contaminación y no de procesarla. Son tratamientos internos, llamadas *Tecnologías Limpias*, que se basan fundamentalmente en:

- ✓ Reciclado.
- ✓ Sustitución.
- ✓ Recuperación.
- ✓ Revalorización.

La tecnología limpia puede ser identificada de varias maneras: debe permitir la reducción de emisiones y/o descargas de un contaminante, o la reducción del consumo de energía y/o agua, sin provocar incremento de otros contaminantes, logrando un balance medioambiental más limpio, aun cuando la contaminación cambia de un elemento a otro. Esto último supone evaluar la nueva tecnología sobre la base de las normas y estándares fijados por la legislación medioambiental (Gaspar, 1999).

Una de las dificultades que la prevención ha intentado abordar es la integración de medidas de protección medioambiental a través de los límites del sistema. La tradicional regulación "fin de tubo" (end of pipe) se aplica al medio ambiente específico, la prevención ataca el problema en su extensión, llamando a tomar medidas en la integración de los procesos, para disminuir la generación de contaminantes. Al reducir la necesidad de emitir al medio ambiente tales sustancias, estas medidas proveen una protección integrada de todo el medioambiente (Romero, 2001).

En la figura 5 se presenta la jerarquía de las opciones prevención de la contaminación ambiental, que parten desde aquellas más económicas y simples técnicamente, hasta la más y complejas.

REDUCCIÓN EN EL ORIGEN	CAMBIOS EN PROCESOS	Sustitución de materias primas e insumos contaminantes.
		Cambios tecnológicos / tecnologías limpias.
		Mejoramiento en la gestión y de prácticas de operación.
	CAMBIOS EN PRODUCTOS	Diseño con menor impacto ambiental.
		Incremento de la vida del producto.
RECICLAJE		Recuperación y reuso dentro del proceso de producción.
		Reciclaje fuera del proceso vía terceros.
PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO		
DISPOSICIÓN-DESTRUCCIÓN-REMEDIACIÓN		

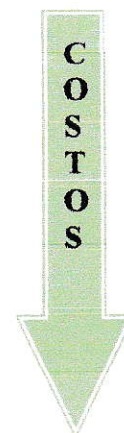


Figura 5. Opciones de prevención de la contaminación ambiental. (Facility Pollution Prevention Guide, 1992)

El fundamento de la Producción Limpia se basa en el criterio de prevención como se muestra a continuación.

3.2. PRODUCCIÓN LIMPIA

Para las empresas, la protección del medio ambiente es una condición irrenunciable para responder a las demandas que los mercados internacionales, y crecientemente también los mercados a escala nacional, establecen a la producción para que sea limpia y que no contamine. Esto responde al surgimiento de barreras no arancelarias sostenidas en la supuesta competencia desleal que ejercen los países en vías de desarrollo en relación a economías más avanzadas cuyas normas y exigencias ambientales son más estrictas.

Una respuesta frente a este escenario supone la adopción de políticas y regulaciones específicas para controlar tempranamente la contaminación que vaya de la mano con el control de la contaminación mediante tecnologías nuevas al final de los procesos productivos denominadas "end of pipe" o "fin de tubo".

Es así como hoy en día se utiliza el término de Producción Limpia (PL), el cual se adoptó como una nueva aproximación al "problema de la producción": procesos productivos, ciclos de los productos y patrones de consumo que permiten el desarrollo humano y la satisfacción de las necesidades humanas básicas sin romper ni degradar los ecosistemas en el que se produciría el desarrollo.

El principio básico de la PL es aumentar la eficiencia global del proceso, previniendo la pérdida de materiales y energía, además de dar valor a los residuos mediante el reuso, la recuperación y el reciclaje (Gaspar & Col, 2002), esta metodología incluye la modificación de los procesos, sustitución de materias primas, desarrollo de los productos minimizando el

uso de recursos y residuos generados, así como la adaptación de los productos y residuos para favorecer la recirculación (Galeno, 2003).

Los procesos productivos más limpios resultan de una o de la combinación de las siguientes medidas.

- ✓ Conservación de materias primas, agua o energía.
- ✓ Eliminación de materias primas tóxicas o peligrosas.
- ✓ Reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos en su origen.

3.2.1. Beneficios

Son múltiples los beneficios, tanto financieros, como operacionales y comerciales que obtienen las empresas a través de la implementación de medidas de Producción Limpia, algunos de estos se muestran en la figura 6.

Beneficios asociados a la PL	Reducción en los costos de producción por ahorro de energía, agua e insumos.
	Reducción de riesgos y costos en el tratamiento de residuos tóxicos peligrosos.
	Disminución del costo por soluciones de abatimiento.
	Mayor seguridad y reducción de los riesgos en la salud de los empleados, lo que propicia una mejor calidad de vida entre éstos.
	Reducción del riesgo de almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.
	Aumento de la eficiencia productiva.
	Mejores relaciones con la comunidad y las autoridades por la credibilidad por su forma de producir.
	Mejoramiento e innovaciones en procesos y productos.
	Adelantos tecnológicos.
	Mantenimiento o accesos a nuevos mercados internacionales que poseen una reglamentación ambiental estricta.
	Aumento de la competitividad.
	Garantías de continuidad de la actividad en la industria.

Figura 6. Beneficios asociados a la implementación de medidas de Producción Limpia (Gaspar & Col, 2002).

3.2.2. Costos

Los costos asociados a la implementación de este tipo de estrategias son los siguientes:

- ✓ Nuevas inversiones asociadas a la descontaminación, dirigidas a la reconversión en tecnologías de producción limpia, incluyendo la capacitación.
- ✓ Costos adicionales para implementar nuevos proyectos de inversión, con el fin de cumplir las crecientes exigencias ambientales.

3.2.3. Fases Operativas de la Producción Limpia

Para llevar a cabo la implementación de medidas de Producción Limpia, es necesario seguir las etapas que se enumeran a continuación (Galeno, 2003):

- I.- Realizar un diagnóstico completo del contexto con que se trabaja en la empresa, con el fin de conocer a cabalidad todos los procesos y conocer así las posibles modificaciones a estos.
- II.- Evaluación de los problemas identificados asignándoles prioridad.
- III.- Identificación de las posibles soluciones y evaluación técnico-económica de su implementación.
- IV.- Implementación de las mejores soluciones
- V.- Monitoreo y evaluación del impacto de las medidas aplicadas.

CAPITULO IV: TRATAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES LIQUIDOS

4.1. GENERALIDADES

Con el desarrollo de la urbanización y la diversificación de los procesos industriales, un sinnúmero de elementos químicos elaborados por la sociedad junto a una mayor cantidad de materias orgánicas, son dispuestos en los cursos normales de agua, depositándose en lagunas, lagos, ríos y mar. La DBO₅, es un ensayo bioquímico que mide la materia orgánica biodegradable, la cual aumenta y el limitado oxígeno disuelto no es suficiente para posibilitar la recuperación de dichos elementos. La naturaleza no es capaz por si sola, de realizar el proceso de auto purificación de los cursos de agua (Rodríguez & Col, 2006).

Hoy en día, el diseño de una planta industrial debe contemplar, la ingeniería conceptual que el diseño del sistema global necesite para llevar las descargas de excedentes gaseosos, sólidos y líquidos, cumpliendo las normativas ambientales vigentes, buscando además la más completa reutilización de materiales (Khemis & Col, 2006).

Los tratamientos de efluentes líquidos incluyen tres categorías de tratamiento:

- I.- Tratamiento físico o primario.
- II.- Tratamiento biológico o secundario
- III.- Tratamiento químico o terciario

El grado de tratamiento aplicado a las aguas residuales dependerá de varios factores, siendo alguno de estos: las características del agua que requiere ser tratada (DBO₅, pH, SS, metales pesados, sustancias tóxicas, AyG, entre otros); los límites establecidos de vertido de contaminantes determinados en la normativa vigente; disponibilidad de terreno para la construcción de la planta así como el costo y las consideraciones de futuras ampliaciones o mejoramiento de la misma (Morante, 2002).

Hay distintos tipos de tratamientos que se aplican a las aguas residuales para lograr retirar los contaminantes que contienen. Es así como se emplean desde sencillos procesos físicos, hasta complicados procesos químicos, biológicos o combinación de ellos, distinguiéndose:

Procesos físicos

- ✓ Desbaste por rejillas, tamices o filtración mecánica.
- ✓ Desengrasado, para la eliminación de grasas, aceites o elementos flotantes en el agua.
- ✓ Sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables en suspensión.
- ✓ Flotación en el caso de existir sólidos de densidad menor al del agua.

Procesos Químicos

- ✓ Coagulación y floculación de las partículas no sedimentables.
- ✓ Neutralización, para ajuste de pH.
- ✓ Oxidación y reducción, con el empleo de sulfato de hierro para eliminar el cromo.

- ✓ Intercambio iónico, para eliminar cobre, zinc, plomo, etc.

Procesos biológicos

- ✓ Fangos activados y lechos bacterianos
- ✓ Biofiltros, biorreactores a membrana, UASB, etc.

4.2. NIVELES DE TRATAMIENTO APLICADOS A LOS RILES

Las aguas residuales industriales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera conseguir. Es posible establecer la siguiente clasificación:

4.2.1. Pretratamiento y tratamiento primario.

El pretratamiento se emplea para eliminar materias gruesas y cuerpos arenosos, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones de la planta. Para tal efecto los procesos aplicados en esta etapa son: Desbaste, para eliminación de sólidos gruesos; Tamizado, eliminando suspensión; Trituración de los desechos retenidos en el desbaste; Desarenado, para sustancias sólidas densas; Desengrasado, para eliminar un porcentaje importante de la DBO₅, disminuir la capa superficial de grasas originada en los decantadores y favorecer la aireación en los procesos de lodos activos.

En el tratamiento primario uno de los objetivos más importantes, es la eliminación de los sólidos en suspensión y de las partículas coloidales, para cuyo fin el proceso que se utiliza es la sedimentación. Esta se realiza en tanques cilíndricos o rectangulares.

En el caso de los tratamientos primarios mejorados, la sedimentación se realiza añadiendo al agua residual sustancias químicas, obteniendo un proceso más rápido y eficaz, aunque a un costo mayor, alcanzando valores de remoción de SS del orden de 90% y para la DBO₅ del 60%.

Los lodos retirados en esta etapa, a diferencia del pretratamiento son lodos con un alto contenido en materia orgánica, además deben ser degradados en un digester anaeróbico (o en otra forma similar), para luego ser incinerados, usados como abono, o depositados en un vertedero.

En el tratamiento primario también se incluyen los procesos de neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco.

La figura 7 muestra los procesos unitarios más comunes en el pretratamiento y tratamiento de RILes.






Proceso Unitario					
desbaste de Sólidos gruesos					
desbaste de sólidos finos					
desarenado					
decantación floculada					
neutralización pH					
Partícula eliminada	cuerpos flotantes de gran volumen	partículas discretas	sólidos sedimentables inorgánicos	sólidos coloidales	-----

Figura 7. Procesos unitarios en el pretratamiento y tratamiento primario. (Escobar, 2002).

4.2.2. Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario es un proceso biológico que utiliza bacterias aerobias y anaerobias como un primer paso para remover hasta cerca del 90 % de los desechos biodegradables que requieren oxígeno (DBO_5) y una remoción $> 95\%$ de sólidos suspendidos.

El proceso más común en el tratamiento secundario es el de lodos activados. Las aguas residuales que provienen del tratamiento primario pasan a un tanque de aireación en donde se hace burbujear aire, desde el fondo del tanque para favorecer el rápido crecimiento de las bacterias y otros microorganismos. Las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer los

desechos orgánicos de estas aguas. Los sólidos en suspensión y las bacterias forman una especie de lodo conocido como lodo activado, el cual se deja sedimentar en un decantador secundario y luego es llevado a un tanque digestor aeróbico para que sea degradado.

Finalmente el lodo activado es utilizado como fertilizante en los campos de cultivo, incinerado o llevado a un relleno sanitario. La figura 8 muestra los procesos unitarios mas comunes en el tratamiento secundario de RILes.

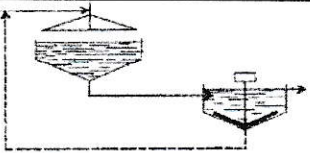
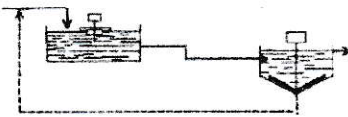
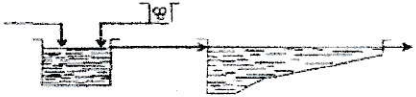
Proceso Unitario	de naturaleza Biológica	de naturaleza Química
LECHOS BACTERIANOS		
FANGOS ACTIVADOS		
FLOCULACION - DECANTACION		
Partícula eliminada	sólidos en suspensión	sólidos en suspensión

Figura 8. Procesos unitarios en el tratamiento secundario. (Escobar, 2002)

4.2.3. Tratamientos terciarios.

El tratamiento terciario es empleado en el caso que el agua a tratar se desea reutilizar como potable o cuando los vertidos de las industrias deben ser purificados por contener elevados contenidos en nitrógeno y fósforo, lo que produce eutrofización en los cuerpos receptores.

Los diferentes tratamientos empleados persiguen: reducir los sólidos en suspensión y la materia orgánica asociada a la DBO₅ y DQO, el contenido de fósforo y nitrógeno, eliminar microorganismos patógenos, detergentes o tóxicos no biodegradables.

Mediante este tipo de tratamiento se remueve más de un 99% de los SS. Los procesos unitarios asociados a este tipo de tratamiento se muestran en la figura 9.


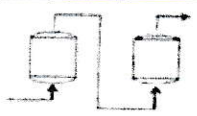

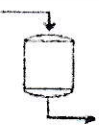
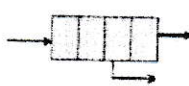
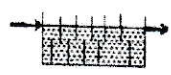
Proceso Unitario				
Aireación				
Absorción por carbón				
Filtración				
Intercambio Iónico				
Separación por membrana				
Desinfección				
Partícula eliminada	Gases disueltos	Materia orgánica disuelta	Iones minerales (Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , etc) y moléculas pequeñas	microorganismos, bacterias y virus

Figura 9. Procesos unitarios en el tratamiento terciario. (Escobar, 2002.)

4.3. POR QUÈ REMOVER SS Y RECIRCULAR LAS AGUAS DE PROCESO.

Como ya se ha mencionado, la producción de papel a partir de fibras reciclada tiene asociada una alta concentración de SS como materia coloidal y por lo tanto las aguas de proceso presentan una alta turbiedad, al remover estas partículas el agua queda en condiciones físicas para volver al proceso.

Esta tecnología de recirculación aportará al cumplimiento de los objetivos de la Política de Producción Limpia del Ministerio de Economía (Gaspar & Col, 2002), cumplirá con la normativa sobre emisión de contaminantes y calidad ambiental, aumentará la sustentabilidad de la industria, alcanzando estándares internacionales de desempeño ambiental.

También son numerosas las ventajas que tiene la limpieza de las aguas de proceso y el cierre de circuitos en la fabricación de papel y cartón entre los que se puede mencionar:

Al recircularse las aguas y por o tanto no generarse residuos líquidos, la empresa queda liberada de cumplir con la estricta legislación ambiental aplicable a RILes.

Reduce enormemente el uso de agua., menores costes de tratamiento del agua de alimentación y del efluente, menores costes de operación, mejora imagen en los mercados, condiciones de operación más estables; menores pérdidas de fibras, finos, cargas y aditivos; mejora de la eficacia de producción; incremento de la productividad, entre otros beneficios.

CAPITULO V: ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO A PROBAR: COAGULACION QUIMICA Y ELECTROCOAGULACION.

5.1 GENERALIDADES

El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, si bien se lleva realizando desde la antigüedad, hoy por hoy resulta algo fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años. Pero no por eso han dejado de ser técnicas imprescindibles a la hora de tratar aguas industriales (Acevedo, 2001).

A la hora de revisar los tratamientos unitarios más convencionales no resulta fácil establecer una clasificación universal. Una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico). Una manera de intentar aunar ambas clasificaciones puede ser el considerar que los contaminantes en el agua pueden estar como materia en suspensión, materia coloidal o materia disuelta (Acevedo, 2001).

La materia en suspensión puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas (normalmente inorgánicas), hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros (normalmente de naturaleza orgánica). También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar

como en el agua una vez tratada, juega un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente.

La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos.

En muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño ($10^{-6} - 10^{-9}$ m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables.

Por otro lado, la electrocoagulación es otra forma de llevar a cabo el proceso, ampliamente utilizada en el caso de tratamiento de aguas industriales. Consiste en la formación de los reactivos *in situ* mediante la utilización de una celda electrolítica. El ánodo suele ser de aluminio, formándose cationes de Al^{3+} , mientras en el cátodo se genera H_2 , siendo útil si la separación posterior de la materia es por flotación (Ecobar, 2002) (Guerrero, 2004).

5.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS COLOIDES

Como ya se mencionó anteriormente los coloides poseen un tamaño pequeño y debido a esto una lenta velocidad de sedimentación, esta corresponde a la velocidad con que sedimenta cualquier fluido en régimen laminar la que viene dada por la Ley de Stockes (Bockris, 1973).

$$v = (1/18) * (gD^2/\mu) * (\rho_{particula} - \rho_{fluido}) \quad (5.1)$$

Donde:

v = velocidad de sedimentación, $m s^{-1}$

g = aceleración de gravedad, $m s^{-2}$

D = diámetro de partícula, m

μ = viscosidad del fluido, $Pa s$

$\rho_{particula}$ = densidad de partícula, $g m^{-3}$

ρ_{fluido} = densidad de fluido, $g m^{-3}$

Los coloides pueden estudiarse bajo una serie de propiedades entre las cuales se encuentra su mecanismo de movimiento, sus propiedades ópticas, de superficie y electrocinéticas, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades de los Coloides. (Escobar, 2002)

Propiedades Cinéticas	<i>Movimiento Browniano:</i> movimiento constante e irregular de los coloides debido a los choques de las moléculas de disolvente con las partículas coloidales, dificultando que estas se depositen en el fondo, esta relacionada directamente con la temperatura.
	<i>Difusión:</i> El movimiento incesante de las partículas coloidales hace que estas se difundan, esto es, que se distribuyan uniformemente en el solvente. Esto se debe a la presencia de un gradiente de concentración.
Propiedades Ópticas	<i>Efecto Tyndall - Faraday:</i> un haz de luz es dispersado al pasar a través de una solución coloidal, esta dispersión es proporcional al tamaño de las partículas
	<i>Opalescencia:</i> Algunas soluciones coloidales pueden ser coloreadas. Esto se debe a la diseminación de la luz o la absorción selectiva por el coloide a una cierta longitud de onda.
Propiedades de Superficie	Los coloides poseen una gran superficie específica, ya que las partículas son muy pequeñas. Esto permite que posean una gran capacidad de adsorción de sustancias como bacterias, metales pesados, materia orgánica, etc.
Propiedades Electrocinéticas	Al exponer a los coloides a un campo eléctrico, estos migran hacia los polos, lo que evidencia que poseen carga. Este efecto se produce en la superficie del coloide, lo que permite la adsorción preferencial de iones por parte de los coloides

5.3. FACTORES DE ESTABILIDAD E INESTABILIDAD DE LOS COLOIDES

En las soluciones coloidales existen fuerzas de atracción y repulsión, la interacción entre estos dos tipos de fuerzas son determinantes en el proceso de agregación o coagulación, la coagulación es el proceso mediante el cual pequeñas partículas se juntan para formar un agregado de partículas.

En el grupo de las fuerzas de atracción destacan las fuerzas de *van der Waals* (factor de inestabilidad), este tipo de fuerza es el más importante en la química de superficie y coloidal. Este tipo de fuerza tiene origen en las interacciones dipolo o dipolo inducido a

escala atómica. La intensidad de estas fuerzas aumenta en el caso de de interacciones entre objetos microscópicos como las partículas coloidales, ya que cada una de estas partículas tiene un gran número de átomos y moléculas.

Las fuerzas de van der Waals consisten en tres categorías conocidas como interacciones de *Keesom*, interacciones de *Debye* e interacciones de *London*.

Las fuerzas de van der Waals son las fuerzas de atracción más significativas, sin embargo, también se pueden mencionar la gravedad y los movimientos brownianos.

Entre las fuerzas de repulsión (factores de estabilidad) se pueden mencionar la carga electrostática de las partículas y la hidratación.

5.4. ESTABILIDAD DE LOS COLOIDES

Los coloides normalmente son estables en solución. La estabilidad de dispersiones coloidales describe la tendencia de pequeñas partículas a permanecer distribuidas uniformemente en una solución, es decir a no sufrir fenómenos de agregación. Esta estabilidad es resultado de la acción de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas (Rios & Col, 2005), este fenómeno se explica con la teoría de la doble capa.

5.4.1. Teoría de la doble capa.

Esta teoría explica la tendencia de los coloides a aglomerarse o permanecer separados al combinar la atracción de van der Waals y la repulsión electrostática.

En las aguas naturales las partículas coloidales se encuentran cargadas negativamente, lo mismo sucede, con frecuencia, con las aguas residuales. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos de la solución, los cuales se adhieren fuertemente a la partícula y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos como muestra la figura 10.

Los iones que se adhieren fuertemente a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida o comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa.

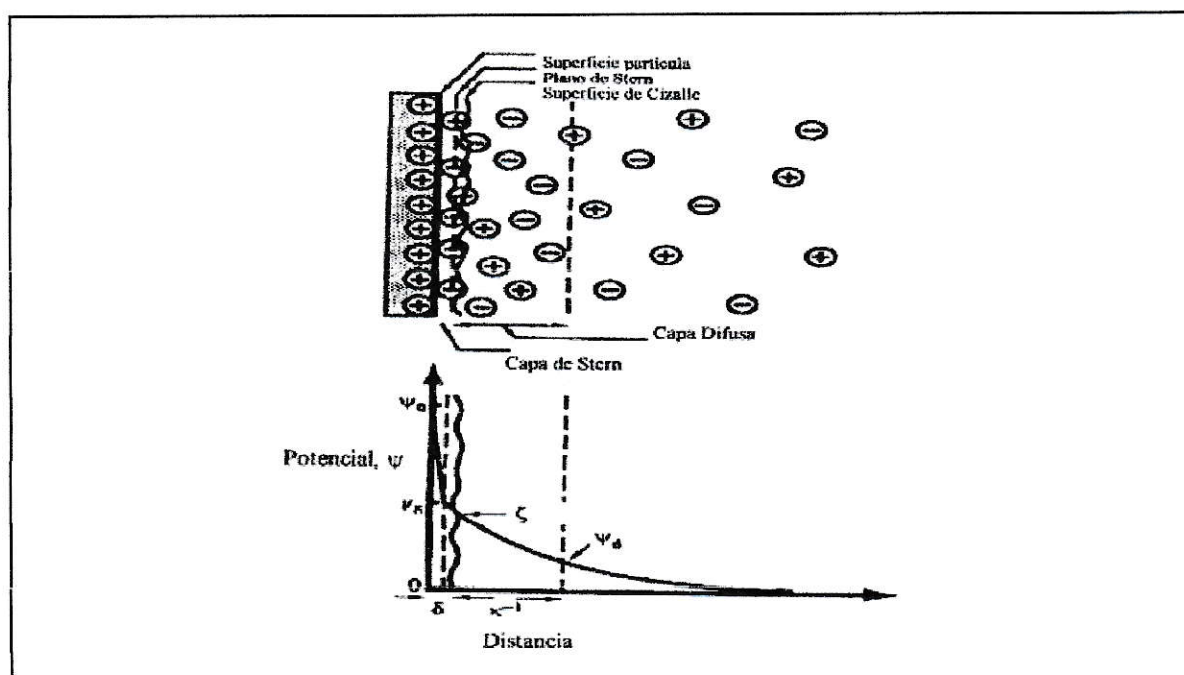


Figura 10. Modelo de la doble capa. (Heimenz & Col, 1997).

Donde:

Ψ_0 : Potencial de superficie o de Nernst

Ψ_δ : Potencial de Stern

ζ : Potencial Zeta o del plano de Cizaiite

Ψ_d : Potencial en el límite de la capa difusa

El potencial Zeta es el factor más importante para comprender el carácter electrocinético y la estabilidad de los coloides. Además es el único potencial que puede ser medido experimentalmente.

Cuando dos partículas coloidales se acercan, dos fuerzas entran en acción. La carga coloidal ocasiona que estas partículas se rechacen, mientras que las fuerzas de van der Waals acercan a las partículas entre sí, la resultante de energía presenta un máximo, denominado *barrera de energía*.

Al acercarse dos partículas con suficiente energía, como para vencer la barrera de energía, las partículas se unen. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la barrera de energía es vencida en un número pequeño de choques, manteniendo la estabilidad del sistema.

Cuando el potencial Zeta se reduce hasta un valor igual a cero, denominado *punto isoeléctrico*, los coloides se pueden aproximar entre sí a una distancia menor a la establecida por la barrera de energía. Dependiendo de los distintos iones que pueden rodear la partícula, el potencial Zeta puede reducirse (Chamy, 2003):

- 1) Por neutralización de la carga neta, lo que puede lograrse por la adsorción de iones de la capa fija o a través del intercambio de iones por otro que tengan mayor estado de oxidación.
- 2) Por compresión de la doble capa. Al aumentar la concentración del electrolito se incorporan iones de signo contrario en la capa difusa, por lo que se comprime dicha capa y disminuye la magnitud de las fuerzas repulsivas y con ello el potencial zeta. Esta compresión es aún más pronunciada cuando se utilizan contraiones polivalentes.

Cuando se ocupan polímeros de baja concentración para llevar a cabo la coagulación, se produce un fenómeno de puentes químicos, la teoría del puente químico propuesto por La Mer supone la molécula de un polímero adherida a la superficie del coloide, en uno o mas sitios y el resto de la cadena permanece libre, con sitios de adsorción vacantes, los que pueden ser ocupados por otros coloides. De este modo se forma un *puente químico* entre las partículas, lo que permite el aumento de tamaño de ellas, facilitando su precipitación (Chamy, 2003).

5.5. COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN

La coagulación y la floculación son dos procesos que están interrelacionados en el fenómeno de desestabilización de partículas coloidales. La teoría de coagulación - floculación se describen a continuación.

5.5.1. Coagulación

El proceso de coagulación describe el efecto producido por la adición de un producto químico a una dispersión coloidal, que se traduce en la desestabilización de las partículas por una reducción de aquellas fuerzas que tienden a mantenerlas separadas, dando origen a la formación de productos insolubles.

5.5.2. Floculación

El proceso de formación de partículas sedimentables, a partir de partículas desestabilizadas de tamaño coloidal, se conoce como floculación, que es el proceso de crecimiento de las partículas coaguladas dando origen a pequeños flocs de mayor peso capaces de sedimentar con mayor facilidad, es decir es el fenómeno mediante el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar floculos mayores.

5.6. AGENTES COAGULANTES Y FLOCULANTES

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrólitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación (Acevedo, 2001).

Sales de Fe (III): Pueden ser FeCl_3 o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.

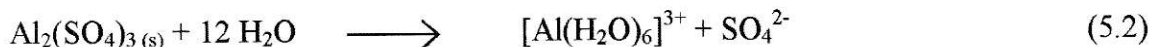
Sales de Al(III): Suele ser $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.

Polielectrólitos: Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrónicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el costo es mucho mayor.

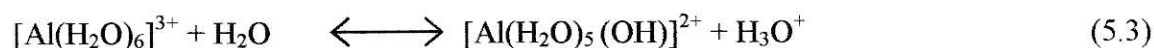
Tanto las sales como los polielectrólitos actúan como polímeros, además de la participación de la carga eléctrica que poseen la diferencia radica en que los coagulantes metálicos se polimerizan cuando son agregados al agua, a diferencia de los polielectrólitos que se encuentran polimerizados con anterioridad.

La adición de sales de Fe^{+3} o Al^{+3} por debajo del límite de solubilidad del hidróxido metálico origina monómeros, dímeros y complejos poliméricos hidroximetálicos, al añadirlos en exceso al límite de solubilidad se forman polímeros coloidales hidroximetálicos y el hidróxido metálico.

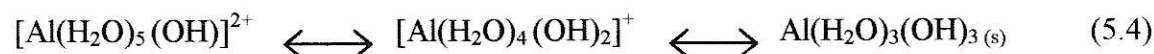
Las reacciones para el aluminio son las siguientes (Escobar, 2002):



Los iones de aluminio hidratado reaccionan nuevamente con una molécula de agua, como muestra la reacción 5.3.



La especie $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{2+}$ es inestable y por lo tanto se hidroliza fácilmente:



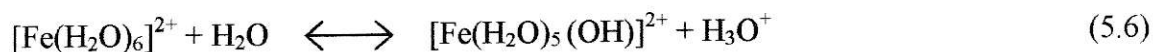
La última especie generada, es entonces, el hidróxido de aluminio insoluble que precipita entre pH 5 y 8 (Chamy, 2003) (Pinto, 2005).

Otra teoría propuesta por Stemm Morgan (Escobar, 2002) postula una polimerización de la especie generada en las reacciones del sulfato de aluminio con la alcalinidad, como se explica a continuación.

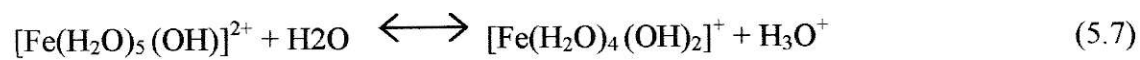


Las reacciones continúan en el tiempo formando compuestos como: $[\text{Al}_6(\text{OH})_{15}]^{3+}$ y $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$, hasta formar $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3$ o $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, dependiendo del pH.

En el caso del hierro, al igual que en el aluminio el ión metálico hidratado es ácido en el sentido de Brønsted y el equilibrio queda descrito por:



La base conjugada puede seguir transfiriendo protones generando hidróxidos, como se explica en la siguiente reacción.



5.7. ELECTROCOAGULACION

5.7.1. Generalidades

Como se mencionó anteriormente, el fundamento de la operación coagulación – floculación radica en que las partículas que se hallan en suspensión en el agua tienen un carácter eléctrico que las hace recolectora de iones de carga opuesta, formando agregados más grandes (flocs), los cuales por su mayor peso sedimentarán por gravedad. También se mencionó que los iones necesarios para la coagulación en un proceso químico son aportados por compuestos como el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o el FeCl_3 , que entran en disociación en solución, provocando el efecto deseado de la coalescencia de las partículas.

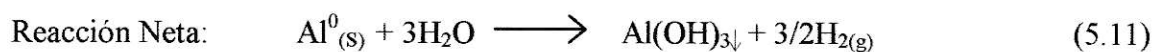
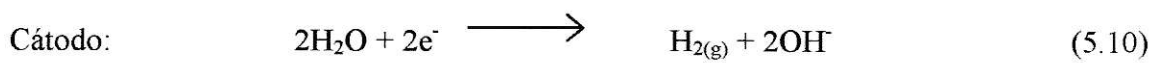
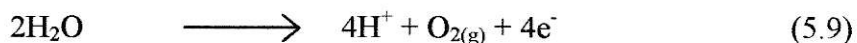
Por otra parte en un proceso electroquímico, los iones metálicos son aportados por los electrodos entre los cuales se aplica una diferencia de potencial, ocasionando un reacomodamiento de cargas lo que provoca la unión y/o aglomeración de partículas para su posterior sedimentación. Las partículas suspendidas en el agua presentan un grado elevado de estabilidad debido a su carga, que generalmente es negativa; lo que se consigue con la electrocoagulación es, por medio de una corriente eléctrica, generar una buena cantidad de iones de carga contraria (positiva) que producen la neutralización (desestabilización) de esas partículas.

La electrocoagulación es un proceso que aplica los principios de la coagulación – floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos, encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional (Guerrero, 2004), es decir, la electrocoagulación, es el proceso de desestabilización de contaminantes suspendidos, emulsionados o disueltos en un medio acuoso, como resultado de introducir corriente eléctrica en el medio. La corriente eléctrica provee la fuerza electromotriz para llevar a cabo las reacciones químicas.

El material de los electrodos varía de acuerdo al tipo de sistema utilizado, estos pueden ser de hierro, de aluminio, cobre, acero o aleaciones de aluminio y magnesio. Las partículas coloidales se desestabilizan con la adición de iones multivalentes (Fe^{+3} y Al^{+3}). Los electrodos son de sacrificio, según Faraday, debido a que en el proceso electrolítico desprenden en el agua los iones que desestabilizan los coloides (Guerrero, 2004).

Algunas de las ventajas de la electrocoagulación en el tratamiento de las aguas de proceso son la facilidad de operación, no requiere la adición de productos químicos, produce hasta un 50% menos de lodos que la coagulación convencional y posee una elevada eficiencia en la remoción de contaminantes. Dentro de sus principales desventajas se encuentra que los mecanismos de la electrocoagulación no han sido aún claramente entendidos (Ramalho, 1993).

Cuando el electrodo es de aluminio, en el ánodo se producen simultáneamente dos reacciones una principal y una secundaria produciéndose la oxidación del metal (Ec. 5.8) y la electrolisis del agua (Ec. 5.9) respectivamente. La reacción global da como resultado el desprendimiento de $H_{2(g)}$ y la formación de $Al(OH)_3$ como se detalla a continuación.



Donde:

Al^0 : Aluminio sólido

Al^{3+} : iones Aluminio en solución acuosa

- H₂O : agua
H⁺ : protones en solución acuosa
O_{2(g)} : Oxígeno gaseoso
H_{2(g)} : Hidrógeno gaseoso
OH⁻ : iones Hidroxilo en solución acuosa
e⁻ : electrón

Cuando se utiliza electrodo de hierro, se produce una oxidación electroquímica de Fe⁰ a Fe³⁺, el resto de las reacciones son similares a las recién descritas.

5.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN.

Para optimizar los procesos de Coagulación – Floculación, es necesario tener en cuenta los siguientes factores.

5.8.1. Influencia del pH

El pH es la variable más importante a tener en cuenta en el proceso de coagulación, para cada agua residual existe un rango de pH óptimo en el cual la coagulación se hace más eficiente.

El rango de pH es función del tipo de coagulante a utilizar y de la naturaleza del agua a tratar, si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo, entonces la remoción de

contaminantes será menor, por lo tanto para aumentar la eficiencia del proceso habrá que aumentar también la dosis de coagulante lo que eleva el costo del tratamiento.

5.8.2. Influencia de la concentración de Coagulante

La concentración del coagulante tiene una influencia directa en la eficiencia del proceso de coagulación, es así como una baja concentración de coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula, por lo tanto, la formación de los flocs es baja.

5.8.3. Influencia de la Temperatura

La variación de temperatura conduce a la formación de corrientes de densidad que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión. La disminución de la temperatura en el agua provoca un aumento de la viscosidad, esto aumenta las dificultades de sedimentación de un floc.

5.8.4. Influencia de la Mezcla

El grado de agitación que se da a la masa de agua residual durante la adición de coagulante, es determinante para obtener una alta eficiencia en el proceso. La agitación debe ser uniforme e intensa para asegurar que la mezcla entre el coagulante y la masa de agua residual haya sido óptima.

5.8.5. Influencia del sistema de aplicación del coagulante.

Una reacción adecuada entre el coagulante y el agua a tratar se produce cuando:

I.- La concentración del coagulante que se adiciona al agua residual a tratar es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua.

II.- El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable.

5.8.6. Influencia de la turbiedad o concentración de coloides

La concentración de coloides es responsable de la turbiedad de las aguas de proceso, dependiendo del origen del coloide se elige el coagulante a utilizar y la concentración óptima, mediante ensayos de jarras que es una comparación bajo condiciones estandarizadas, de las diferentes combinaciones de dosis del coagulante, y consiste en agregar simultáneamente el coagulante al agua residual.

5.8.7. Influencia de sales disueltas.

Las sales contenidas en el agua de proceso ejercen influencias sobre la coagulación ya que modifican el pH óptimo, el tiempo requerido para la floculación y la concentración del coagulante requerido.

CAPITULO VI: OBETIVOS

6.1. Objetivo General

- Fomentar la prevención de la contaminación estimulando el uso eficiente de los recursos materiales y energéticos con el fin de incrementar la productividad y la competitividad de la empresa, disminuyendo la producción de residuos sólidos y líquidos.

6.2. Objetivos Específicos

- Proponer a Schorr & Concha S.A. medidas de Producción Limpia.
- Estudiar y seleccionar mediante trabajo experimental, las condiciones que permitan la mayor remoción de SS en las aguas de proceso utilizando técnicas de coagulación química y electrocoagulación.
- Diseñar un sistema de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso utilizando la técnica que proporcione un mayor abatimiento de sólidos suspendidos.

CAPITULO VII: MATERIALES Y METODOS

7.1. GENERALIDADES

En el presente capítulo se describen los procedimientos utilizados en las diferentes experiencias, así como los reactivos, aparatos e instrumentos utilizados en los dos métodos a probar; coagulación química y electrocoagulación.

7.2. REACTIVOS

Para los ensayos de coagulación química se utilizó sulfato de aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y cloruro férrico, FeCl_3 ambas sales de grado técnico.

El pH se ajustó empleando ácido sulfúrico (H_2SO_4) e hidróxido de sodio (NaOH) (Merck) según fuese necesario.

7.3. APARATOS E INSTRUMENTOS

En la determinación de pH en el monitoreo de variables se utilizó un pH-metro OAKTON, Acorn Series cuyo rango relectura es 0,0-14 pH, con una resolución de 0,01 pH. El electrodo utilizado fue un OAKTON WD-35801-00. La calibración del equipo se realizó mediante solución buffer HANNA pH 4,01 y 7,01 a 25°C.

Para la determinación de sólidos suspendidos, se utilizó un filtro estándar de fibra de vidrio de $1,2\ \mu\text{m}$ de diámetro nominal, bomba de vacío, agitador magnético y horno calefactor.

Para los ensayos de electrocoagulación se utilizó una fuente de poder de $220\ \text{V}$ y $50\ \text{Hz}$, estos ensayos se realizaron en sistema "batch" o por lotes. Se utilizó como electrodos láminas de Fe A-36 laminado frío de $0,5\ \text{mm}$ de espesor y calidad comercial (Huachipato) y láminas de Al H-14, laminado duro, calidad 1100, de $0,5\ \text{mm}$ de espesor (MADECO).

En las pruebas de columna de sedimentación, se utilizó una columna de sedimentación de laboratorio, de altura $1,6\ \text{m}$ y $0,15\ \text{m}$ de diámetro, la que posee cuatro válvulas de muestreo a una distancia de $0,4\ \text{m}$ entre si como lo muestra la figura 11, estos resultados se utilizan para establecer las dimensiones de las unidades de sedimentación.

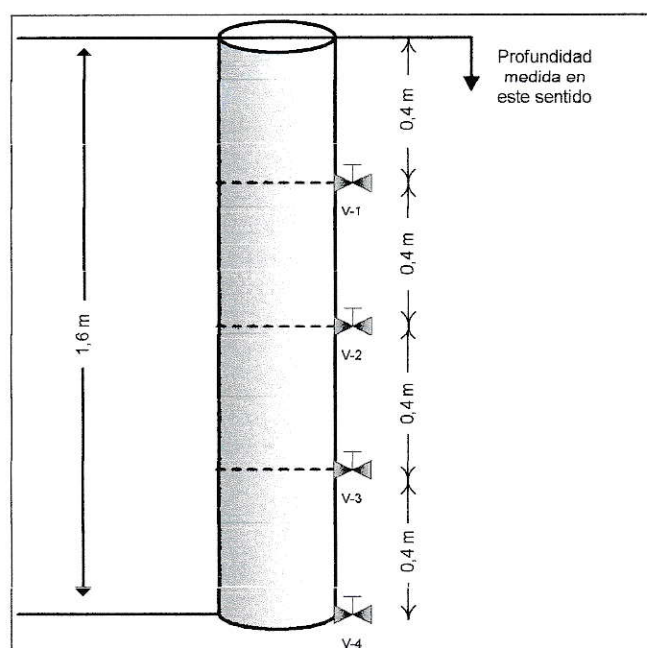


Figura 11. Columna de sedimentación de laboratorio.

El reactor utilizado en los ensayos de electrocoagulación es un cubo de 13,5 cm de arista con una capacidad máxima de 2,4 L de RIL.

Los análisis de DQO fueron realizados en laboratorios de la Universidad Católica del Maule según NCh2313/24.Of97.

Para estimar la contribución en la concentración de metales pesados y AyG por parte del agua utilizada en el proceso se realizó análisis de estos parámetros al aguas de pozo, estos fueron efectuados por DICTUC mediante ICP según procedimientos adaptados de SM-Métodos 3120B y en los laboratorios de la Universidad Católica del Maule según NCh2313/6.Of97 respectivamente.

Para evaluar el potencial de peligrosidad de residuos dispuestos en suelo se realizó análisis de lixiviación (TCLP) a los lodos generados en los ensayos de laboratorio, este fue analizado con procedimientos adaptados de USEPA Method 1311 y la determinación de Metales Totales por Plasma fueron analizados con procedimientos adaptados de SM-Métodos 3030 y 3120 por el laboratorio ALS Environmental S.A.

7.4. METODOLOGIA

7.4.1. COAGULACIÓN QUÍMICA

Los ensayos mediante la técnica de coagulación química se realizaron en sistema “batch” o por lotes por lo que una configuración experimental sencilla fue suficiente para llevar a cabo estas experiencias.

7.4.1.1. PROCEDIMIENTO GENERAL COAGULACION QUÍMICA

Para realizar esta experiencia se agregó 1000 mL de RIL generado a la salida de la máquina papelería el cual contenía una alta concentración SS ($636 - 800 \text{ mg L}^{-1}$) en probetas de 1,0 L, se ajusta el pH a un valor 7, luego es agregado el agente coagulante, variando la concentración y el tiempo de retención hidráulico (t_R). La mezcla es agitada a 90 RPM durante 2 min.

7.4.1.2. Efecto del tiempo de retención hidráulico sobre la remoción de sólidos en suspensión y la demanda química de oxígeno.

Las experiencias se realizaron a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se varió el tiempo de retención hidráulico de 0 a 30 min a concentraciones de 200 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 para ver el efecto de esta variable sobre la remoción de SS y DQO.

7.4.1.3. Efecto de la concentración de sulfato de aluminio y cloruro férrico sobre la remoción de sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno.

Las experiencias se realizaron a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se variaron las concentraciones de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 0 a 320 ppm y 0 a 500 ppm de FeCl_3 .

7.4.1.4. Estudio de la generación de lodos.

Esta experiencia se realizó a pH 7, de acuerdo al procedimiento general. Se tomaron 10,0 L de RIL de proceso a este se agregó sulfato de aluminio, a una concentración igual a 240 ppm, el tiempo de residencia que se dió para que ocurriera la coagulación fue de 25 min. según parámetros optimizados (ver 8.3.2), una vez transcurrido este tiempo, se cuantificó el volumen de lodo húmedo generado (B.H.) y la masa de lodo seco (B.S.) a 105 °C que se generaría en estas condiciones.

Para la cuantificación de lodo seco, se tomaron 100 mL de lodo húmedo (B.H.) en un vaso de precipitado, luego este se introduce al horno a 105 °C por 24 h, una vez deshidratado se cuantifica la cantidad de lodo seco por diferencia masa.

7.4.2. ELECTROCOAGULACIÓN

Los ensayos de tratamiento de RILes mediante electrocoagulación se realizaron en sistema “batch” o por lotes. La configuración necesaria para llevar a cabo estos experimentos fue

sencilla. Para esto fue necesario utilizar un reactor o celda electrolítica, electrodos de Fe y Al y una fuente de poder para la generación de electricidad. El reactor utilizado fue un cubo de vidrio de 13,5 cm de arista con una capacidad máxima de 2,4 L de RIL. Los electrodos utilizados fueron cuatro láminas rectangulares de Fe y cuatro láminas geoméricamente idénticas de Al de 12,0 cm de ancho, 11,0 cm de alto y 0,5 mm de espesor y de área efectiva 132 cm². las que van dispuestas en forma intercalada dentro del reactor electrolítico, los cuales van cubiertos por el RIL a tratar. En la figura 12 se muestra la configuración experimental del reactor electrolítico.

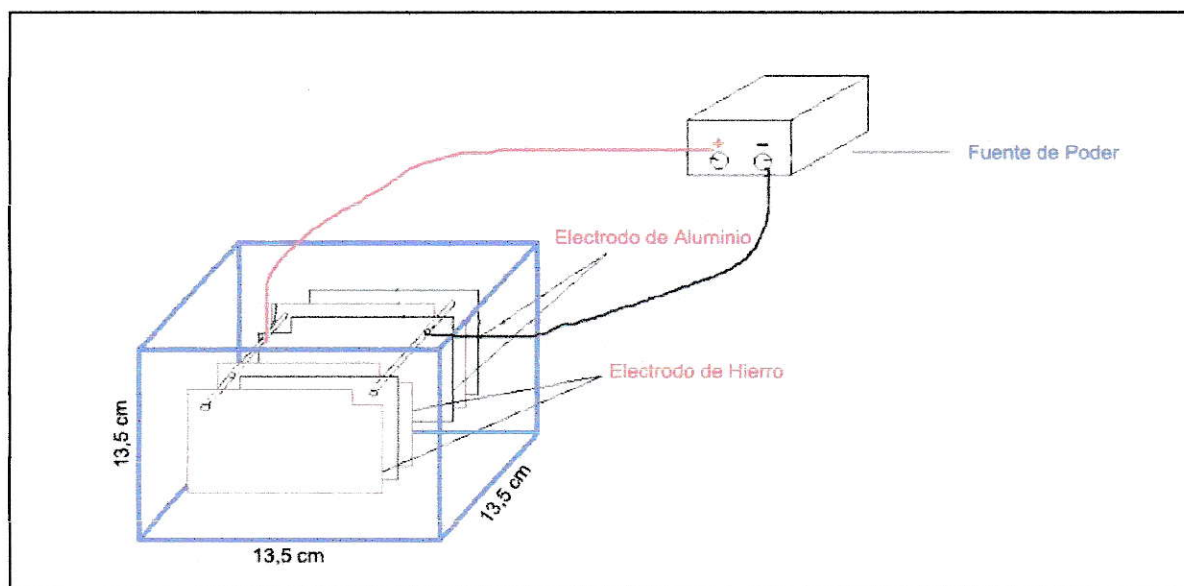


Figura 12. Configuración experimental de la celda electrolítica.

7.4.2.1 PROCEDIMIENTO GENERAL ELECTROCOAGULACIÓN

Para las experiencias de electrocoagulación se electrolizaron muestras simples de agua residual, las muestras fueron tomadas a la salida de la máquina papelera, el volumen tratado

fue de 2000 mL, el tiempo de electrolisis fue de 10 min aplicando una diferencia de potencial de 4 volt DC. La distancia interelectrónica fue de 1,0 cm. El pH de las soluciones a tratar se ajusto en todas las experiencias a un valor de 7, mediante la adición de H₂SO₄ o NaOH según fuese necesario. Todas las experiencias fueron realizadas a una temperatura ambiente aproximada de 20 °C.

7.4.2.2 Estudio de la influencia de la concentración de sólidos suspendidos sobre la eficiencia de la remoción.

Se realizaron electrólisis a pH 7, de acuerdo al procedimiento general variando la concentración de sólidos en suspensión del agua residual a tratar, para esto se tomo una muestra y se diluyo con agua destilada para así obtener concentraciones de sólidos en suspensión de 100 a 600 mg/L.

7.4.2.3 Estudio de la influencia de la dimensión de los electrodos sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.

Se realizaron electrólisis a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se varió el ancho de los electrodos entre 2 y 12 cm manteniendo siempre la altura de 11 cm.

7.4.2.4 Estudio de la influencia de la distancia interelectrónica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.

Se realizaron electrólisis a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se varió la distancia interelectrónica entre 0,5 y 2,0 cm.

7.4.2.5 Estudio del efecto del tiempo de electrolisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.

Se realizaron electrólisis a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se varió el tiempo de electrólisis entre 2 y 12 min.

7.4.2.6 Estudio del efecto del voltaje aplicado sobre la remoción de sólidos suspendidos.

Se realizaron electrólisis a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se varió el voltaje aplicado entre 2 y 14 volt.

7.4.3 Columna de sedimentación

Una vez decidida la técnica a emplear para la remoción de SS, se procede a realizar ensayos en columna de sedimentación, para esto se utilizó RIL generado a la salida de la máquina papelera. El pH se ajustó a 7, la técnica utilizada es la coagulación química y como agente coagulante se utilizó $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ con una concentración igual a 240 ppm.

CAPITULO VIII: RESULTADOS Y DISCUSION

Como ya se ha mencionado, uno de los objetivos de este Seminario de Título es encontrar un método eficiente para la remoción de SS de las aguas de proceso generadas por Schorr & Concha S.A. Con este fin, en este capítulo se mostrarán, medidas de Producción Limpia propuestas para la empresa y los resultados analíticos que definirán los parámetros de diseño de la futura planta de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso.

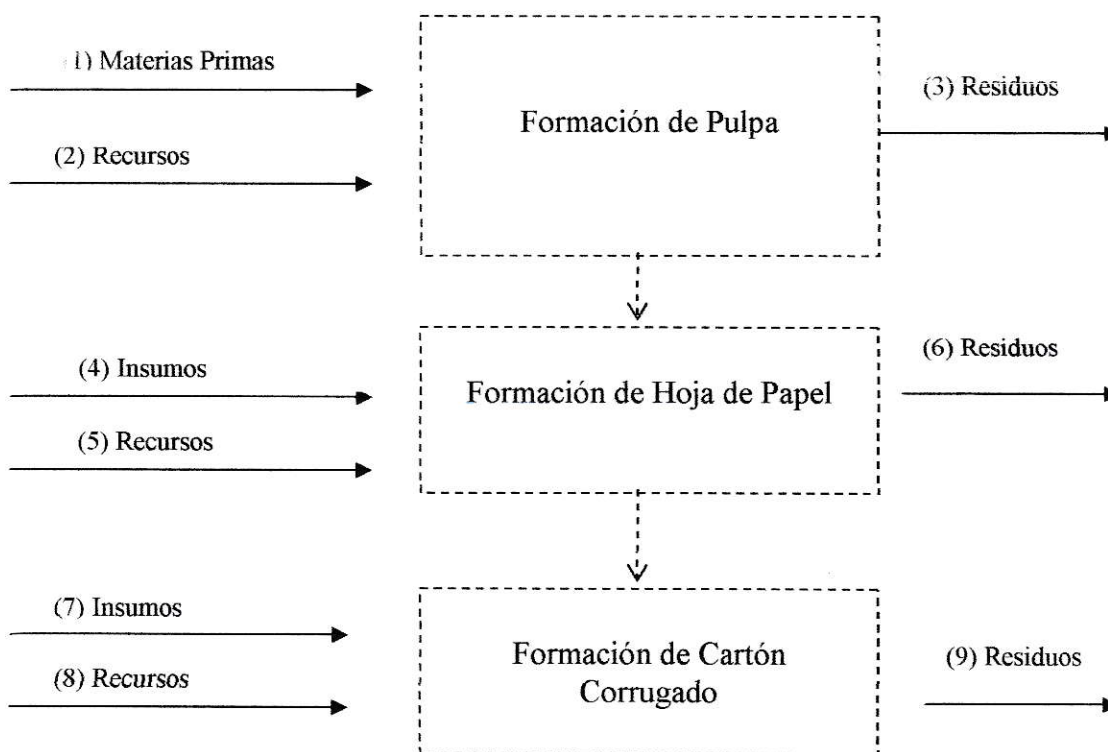
8.1 PRODUCCION LIMPIA

Las siguientes propuestas tienen por objeto avanzar en un proceso creciente de eficiencia productiva y de prevención de la contaminación en la fuente, promoviendo la incorporación de tecnologías de mayor eficiencia, buenas prácticas operativas, reutilización y reciclaje de residuos sólidos y líquidos generados en la operación de Schorr & Concha S.A.

8.1.1 Programa de minimización de Desechos y Emisiones.

El objetivo es implementar un registro de la eficiencia del sistema productivo en relación a la cantidad de residuos que se generan, en función al consumo de materias primas, insumos y recursos como agua y energía, con el fin de generar un mejoramiento continuo de la eficiencia de la producción junto con la disminución del impacto ambiental generado en cada una de las etapas del proceso productivo. Para esto es necesario hacer relaciones donde se incluyan variables ambientales y de producción, materias primas, consumo específico de agua, energía, insumos, desechos y emisiones.

La siguiente esquema se muestra el balance de masas del proceso.



Donde:

- (1) Materia prima: papel reciclado
- (2) Recursos: Agua, combustible, electricidad
- (3) Residuos: Sólidos (corchetes, alambres, nylon, adhesivos, etc.), líquidos.
- (4) Insumos: anilinas, productos de encolado.
- (5) Recursos: vapor de agua.
- (6) Residuos: líquidos
- (7) Insumos: almidón, NaOH, tintas.
- (8) Recursos: vapor de agua
- (9) Residuos: sólidos (cartón producto del dimensionado)

Las relaciones más importantes son:

Consumo específico de agua / producto terminado

Agua utilizada / producción de pulpa

Producción de pulpa / consumo de combustible

Producción de pulpa / generación de residuos (sólidos, líquidos)

Consumo de combustible / producto terminado

Producto terminado / generación de residuos (sólidos, y líquidos)

Insumos (NaOH, tintas, almidón, etc.) / producto terminado

Al realizar estos cocientes toman relevancia factores como los consumos de agua, energía y generación de residuos, los que al contrastarse con los niveles de producción en las distintas etapas de fabricación de papel y cartón corrugado pueden ser indicadores de eficiencia del proceso productivo.

8.1.2 Programa de Reutilización y Reciclaje

El objetivo fundamental es aprovechar al máximo la materia utilizada los procesos y reutilizarla en caso que sea posible así disminuir la cantidad de residuos generados.

Se sugiere a la empresa reciclar los envases de insumos ya sean aceites y grasas para lubricación de las maquinarias, tintas, anilinas, etc. para su posterior devolución a los proveedores.

Además se propone que se reciclen y posteriormente se utilicen como materia prima en el proceso de generación de pulpa los desechos de oficina como cartones y papel blanco.

8.1.3 Manejo de Sustancias peligrosas

El objetivo fundamental es garantizar la seguridad de las personas, la infraestructura y el medioambiente. Para este fin se sugiere a Schorr & Concha S.A. elaborar un Manual de Manejo de Sustancias Peligrosas que contemple el almacenaje, uso y disposición final.

Las sustancias peligrosas utilizadas por la empresa que requieren precaución en su manejo son:

Combustibles: gas licuado y diesel.

Estos deben tener un manejo adecuado y en ambientes ventilados. Se debe disponer de elementos de control de emergencias como extintores y arena dispuestos en lugares idóneos tal como lo exige la SEC, además se deberá capacitar personal sobre el manejo de estos en caso de contingencia.

8.1.4 Reducción de la pérdida de fibra

Se recomienda a la empresa realizar una auditoria de pérdida de fibra, identificando claramente los puntos críticos. Antes de realizar la auditoria, la empresa definirá un equipo de trabajo que involucre a todas las áreas productivas. Una vez identificados los puntos críticos y cuantificada la cantidad de pérdida de fibra la empresa deberá analizar la factibilidad disminuir la cantidad de pérdida de fibra o reincorporar esta al proceso productivo.

8.1.5 Seguridad y Salud Ocupacional

Se sugiere a la empresa implementar un sistema de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional que permita controlar los riesgos de accidentes y enfermedades profesionales a sus trabajadores cuyos elementos principales sean las siguientes:

- a) Definir e implementar una Política de Seguridad y Salud Ocupacional, cuyo compromiso fundamental sea cumplir la legislación aplicable y el mejoramiento del desempeño en dicho ámbito.
- b) Disponer de un sistema de identificación de riesgos críticos y comunicación a los trabajadores.
- c) Elaborar e implementar Programas de Seguridad y Salud Ocupacional en cada área de la Planta.
- d) Mantener un programa de educación y capacitación sobre Seguridad y Salud Ocupacional para todos los trabajadores.
- e) Desarrollar y mantener un sistema para investigar los incidentes y accidentes.
- f) Asegurar una participación efectiva de los Comités Paritarios.
- g) Realizar anualmente Auditoría Externa al Sistema de Seguridad y Salud Ocupacional.
- h) Efectuar revisiones gerenciales al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional

8.1.6 Uso eficiente de la energía

Se propone a la empresa realizar acciones para optimizar el uso y la generación de vapor caldera. Estas acciones se enmarcarán según corresponda en las siguientes áreas:

- a) Medir y lograr la correcta regulación del exceso de aire que permita obtener una combustión eficiente y baja en CO, en los rangos de operación de los quemadores y establecer una rutina semestral de control.
- b) Estudiar la factibilidad técnica de instalar economizadores para recuperar el calor de los gases de combustión en caldera.
- c) Efectuar un levantamiento técnico del estado de la aislación de la planta y elaborar su correspondiente programa de reposición.
- d) Optimizar el régimen de purga de las calderas.
- e) Diseñar un plano de las trampas de vapor instaladas indicando sus características principales.
- f) Evaluar la factibilidad de recuperación de calor de los distintos procesos de la planta
- g) Inspeccionar las trampas de vapor con sistemas especializados y cambiar las que estén fallando o aquellas de tecnología menos eficiente.
- h) Capacitar al personal de operaciones

8.1.7 Uso eficiente del recurso agua

Se sugiere a Schorr & Concha S.A. elaborar e implementar buenas prácticas para el uso eficiente del recurso agua que a lo menos entregue orientación acerca de las siguientes prácticas de producción limpia:

- 1) Priorizar la limpieza en seco.
- 2) Mantener los residuos sólidos separados de los residuos líquidos y eliminarlos en forma concentrada, reduciendo así los requerimientos de agua de lavado.

- 3) Uso de agua a alta presión en volúmenes reducidos, en las operaciones de limpieza.
- 4) Uso de los detergentes en la proporción apropiada y selección de aquellos que requieran de un mínimo enjuague.
- 5) Reciclar el agua en aquellos casos en que los requerimientos de higiene lo permitan
- 6) Uso de controladores automáticos para volumen, temperatura y presión.
- 7) Uso de válvulas que se cierren automáticamente cuando se detiene el flujo de agua.

Este enfoque integral preventivo no solo logra reducir el impacto ambiental derivado de la actividad industrial, sino que además pone énfasis en una mayor eficiencia en la utilización de los recursos materiales y energéticos, en este aspecto se propone a Schorr & Concha S.A. el diseño de la planta de tratamiento de las aguas de proceso y la posterior reutilización de estas aumenta la eficiencia de la empresa, elevando su competitividad.

Debido a la alta concentración de AyG y metales pesados (Tabla 1) (Anexo A), se realizó mediciones de estos parámetros en las aguas de pozo que utiliza el proceso. La siguiente tabla muestra que el agua utilizada en el proceso aporta cerca del 49% de la concentración de AyG presente en el RIL, sin embargo, el aporte a la concentración final de metales pesados en el efluente es mínima en cuanto al Aluminio, Boro, Zinc y Manganeso, no obstante, representa un 25% de la concentración de Cobre del efluente como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Aporte de las aguas que abastecen el proceso productivo a la concentración de contaminantes al final del proceso

Parámetro	Unidad	RIL	P1	%aporte agua de pozo
Aceites v Grasas	mg/L	39	19	48,72
Aluminio	mg/L	4,3	0,03	0,70
Boro	mg/L	1,4	0,02	1,43
Zinc	mg/L	0,33	0,01	3,03
Cobre Total	mg/L	0,04	0,01	25,00
Manganeso	mg/L	0,21	<0,01	0,00

Los resultados de los análisis de AyG en las aguas del pozo profundo mostraron como resultado una concentración < LD, por lo que se sugiere a la empresa cambiar el agua que utiliza en sus procesos, con lo cual se espera que la concentración de AyG y DBO₅ al final del proceso sea menor.

8.2. MONITOREO DE VARIABLES

Los RILes tienen como origen principal las descargas generadas por el Hidropulper en el proceso de desintegración de la materia prima y por el agua extraída por las cajas de succión en la mesa de formación.

El caudal generado se mantiene constante durante el año productivo. La figura 13 muestra los valores de caudales medidos entre los días 13 y 17 de agosto del 2006.

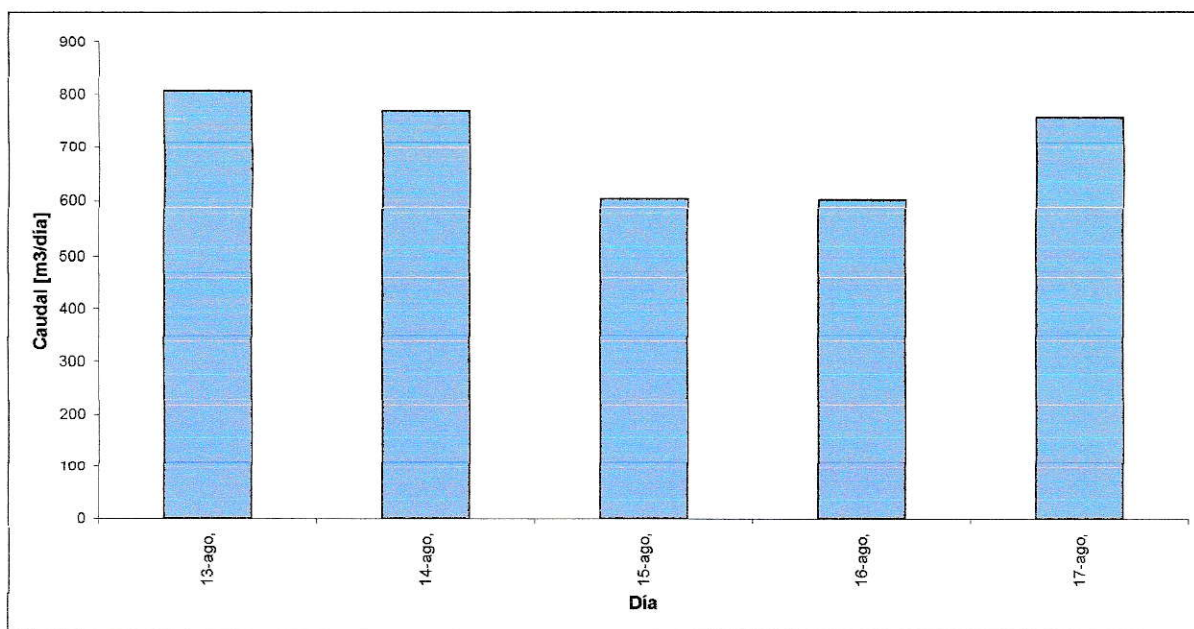


Figura 13. Mediciones de caudales.

La figura 13 muestra un caudal máximo de 807,48 [m³/día] y un caudal medio de 708,70 [m³/día]. Estos resultados serán fundamentales a la hora de fijar los parámetros de diseño de la planta de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso.

Las Figuras 14, 15 y 16 muestran el monitoreo de variables el cual se realizó durante dos semanas entre los días 07 al 21 de agosto del 2006, las variables medidas fueron pH, T y SS. Estas muestras fueron tomadas al final de los dos procesos antes mencionados donde ya se produjo la mezcla las aguas de proceso generadas en los distintos procesos unitarios.

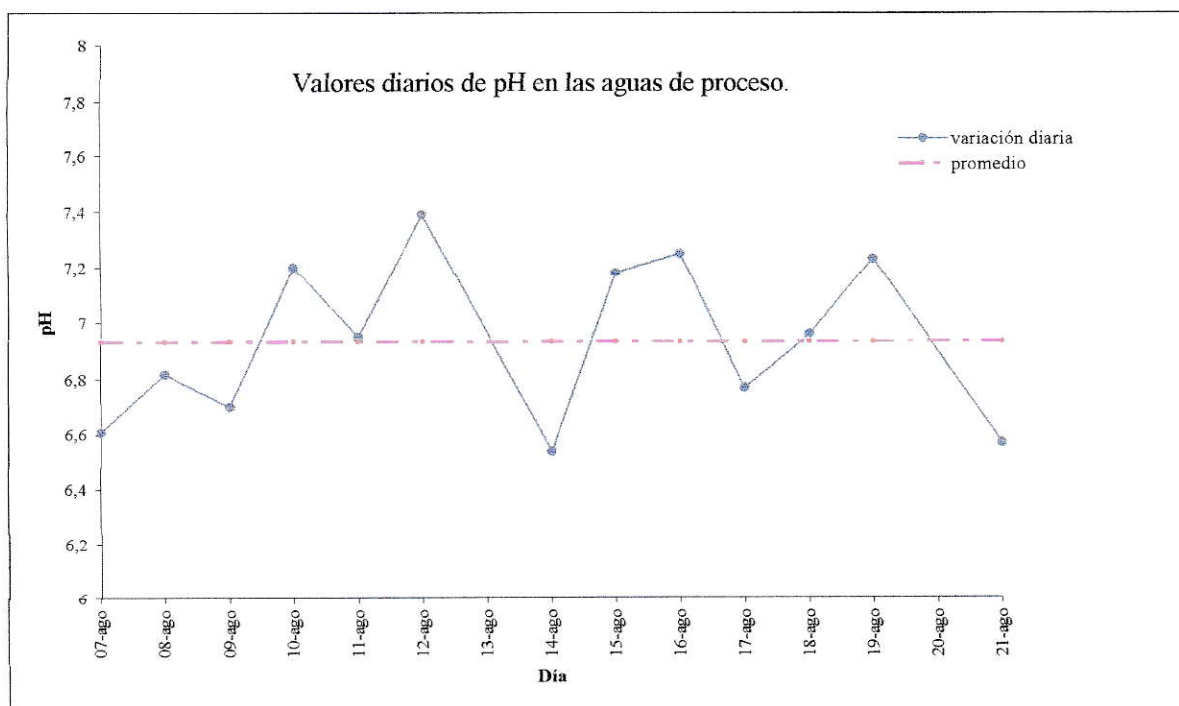


Figura 14. Monitoreo de pH en las aguas de proceso.

De la figura 14 se desprende que el pH de las aguas de proceso no sufre grandes variaciones, teniendo un valor mínimo de 6,54 registrado el día 14 de agosto y un máximo de 7,39 medido el día 12 de agosto, el pH promedio de las descargas generadas en el proceso productivo es cercano a la neutralidad, alcanzando un valor de 6,94.

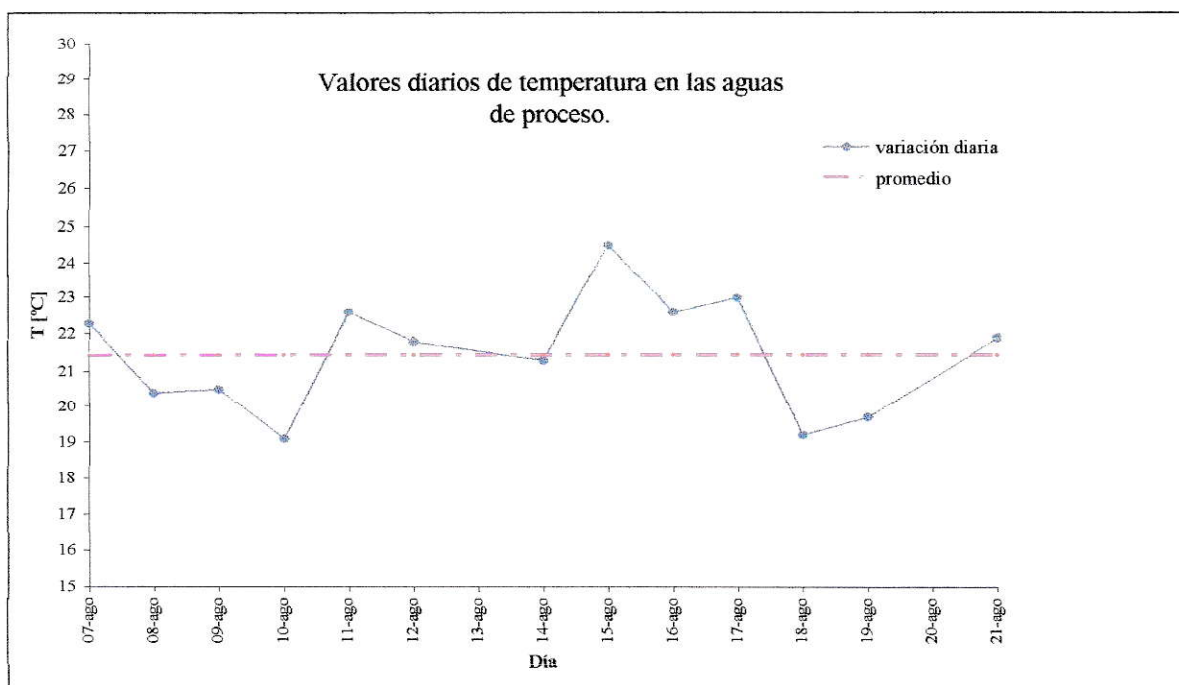


Figura 15. Monitoreo de T de las aguas de proceso.

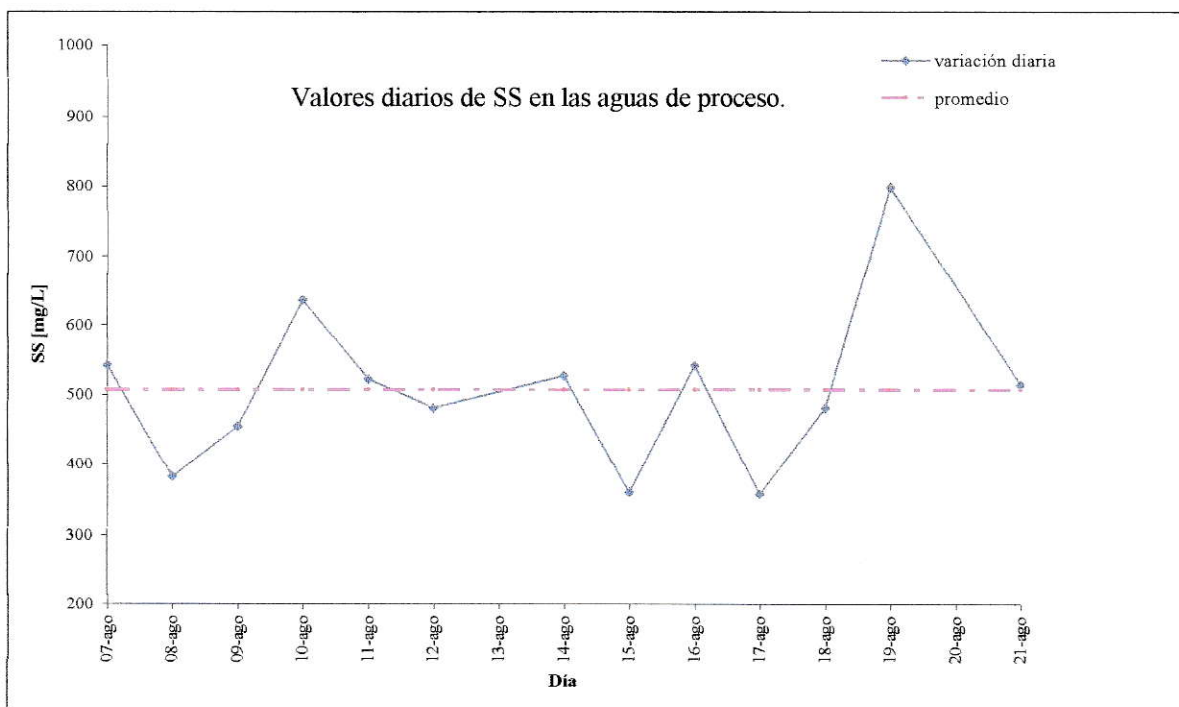


Figura 16. Monitoreo de SS de las aguas de proceso.

La figura 15 muestra que la temperatura de las aguas de proceso no sufre grandes variaciones alcanzando un promedio de 21,5 °C, sin embargo la figura 16 muestra una

significativa variación de la carga de SS durante las mediciones, estas variaciones van de los 357 mg/L el día 17 de agosto a los 798 mg/L el día 19 de agosto, teniendo un promedio de 508 mg/L. Hay que recordar que Schorr & Concha S.A. utiliza como materia prima papel y cartón reciclado, por lo tanto, estas variaciones de SS se deben principalmente a la calidad de la fibra reciclada utilizada en el proceso.

8.3. RESULTADOS DE COAGULACIÓN QUÍMICA

8.3.1. Efecto del tiempo de retención hidráulico sobre la remoción de sólidos en suspensión y la demanda química de oxígeno.

Las experiencias se realizaron a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se varió el tiempo de retención hidráulico de 0 a 35 min a concentraciones de 200 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 para ver el efecto de esta variable sobre la remoción de sólidos suspendidos y la DQO.

Los resultados de la eficiencia en la remoción de SS en función del t_R se muestran en la figura 17.

Los resultados obtenidos del t_R muestran que al aumentar el tiempo aumenta gradualmente el abatimiento de SS en ambos casos hasta alcanzar una remoción máxima que para el caso del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ es de 25 min y en el caso del FeCl_3 fue de 30 min con remociones de sólidos suspendidos de 52,3 y 42,2% respectivamente.

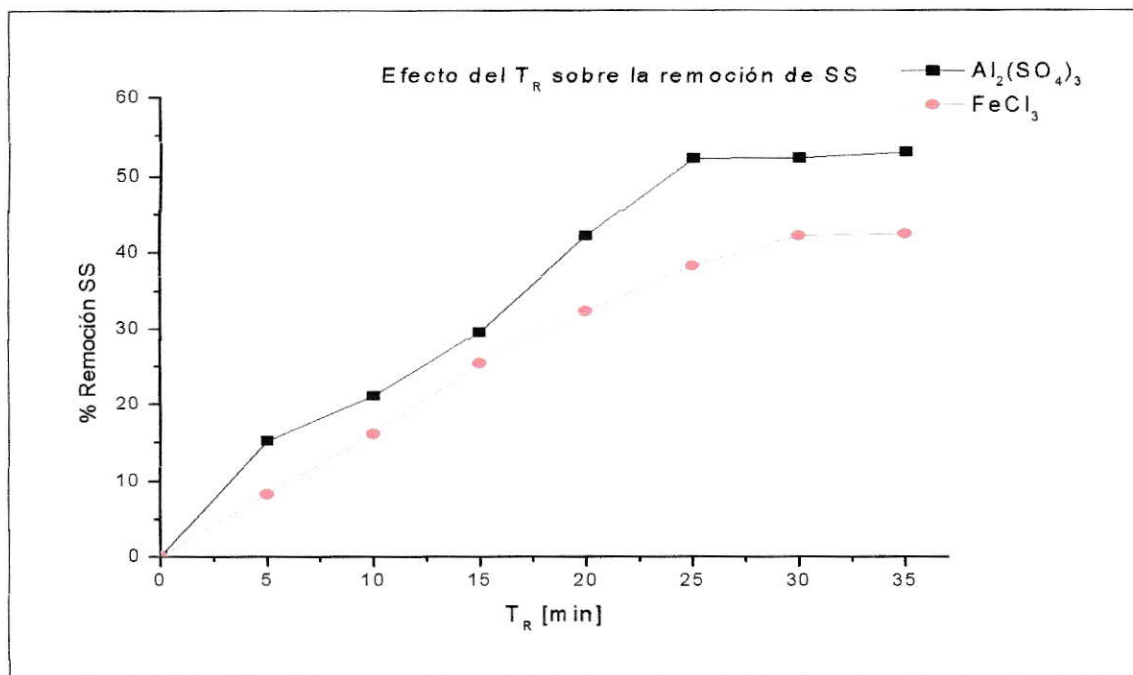


Figura 17. Efecto del t_R sobre la remoción de SS a pH 7, 636 mg/L sólidos suspendidos, concentraciones de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 de 200 ppm.

Los resultados de la remoción de DQO en función del tiempo de retención se muestran en la figura 18. De estos resultados se desprende que al aumentar el t_R aumenta también el abatimiento de la DQO.

Como se observa en la figura 18 la mayor remoción de DQO se produce al agregar $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante con un t_R de 30 min, alcanzando una remoción de 29,4%, la máxima remoción producida por el FeCl_3 , se produce transcurrido 30 min, alcanzando un porcentaje de remoción del 24,4%. Comparando estos resultados con los obtenidos en la Figura 17 se deduce que existe una relación entre la concentración de SS y la DQO.

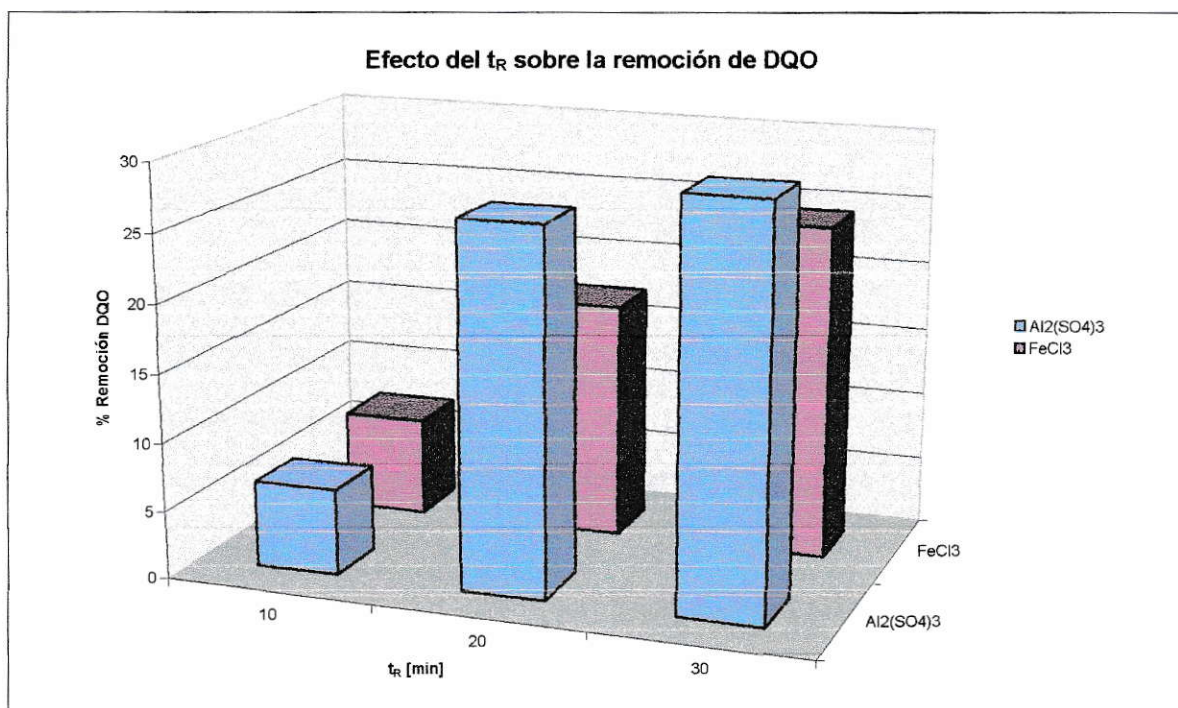


Figura 18. Efecto del t_R sobre la remoción de DQO a pH 7, 636 mg/L sólidos suspendidos, concentraciones de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 200 ppm.

8.3.2. Efecto de la concentración de sulfato de aluminio y cloruro férrico sobre la remoción de sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno.

Las experiencias se realizaron a pH 7, de acuerdo al procedimiento general, pero se variaron las concentraciones de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 0 a 320 ppm y 0 a 500 ppm de FeCl_3 . Los resultados de esta experiencia aportan información sobre la dosificación óptima para la remoción de los contaminantes antes mencionados. La figura 19 muestra los resultados del efecto de la concentración de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sobre la remoción de SS.

Los resultados mostrados en la figura 19 expresan que la remoción de SS aumenta con la concentración de coagulante hasta alcanzar un máximo a los 240 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

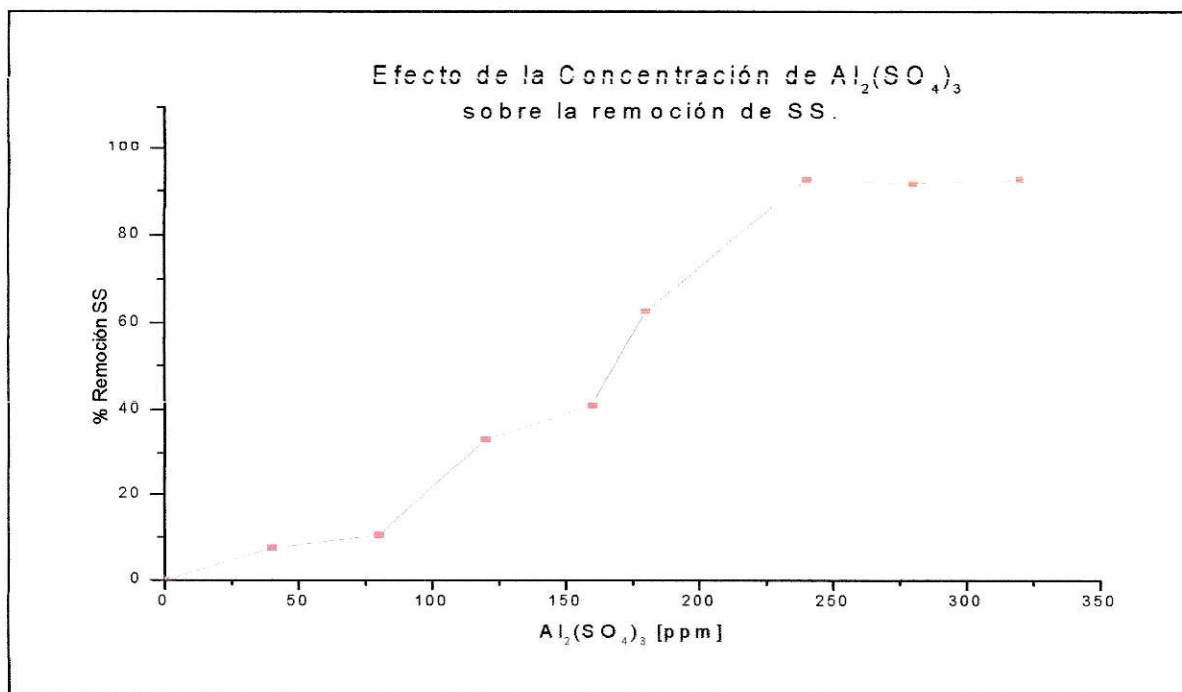


Figura 19. Efecto de la concentración de $Al_2(SO_4)_3$ sobre la remoción de SS. pH 7, concentración de SS 800 mg/L, $t_R = 25$ min.

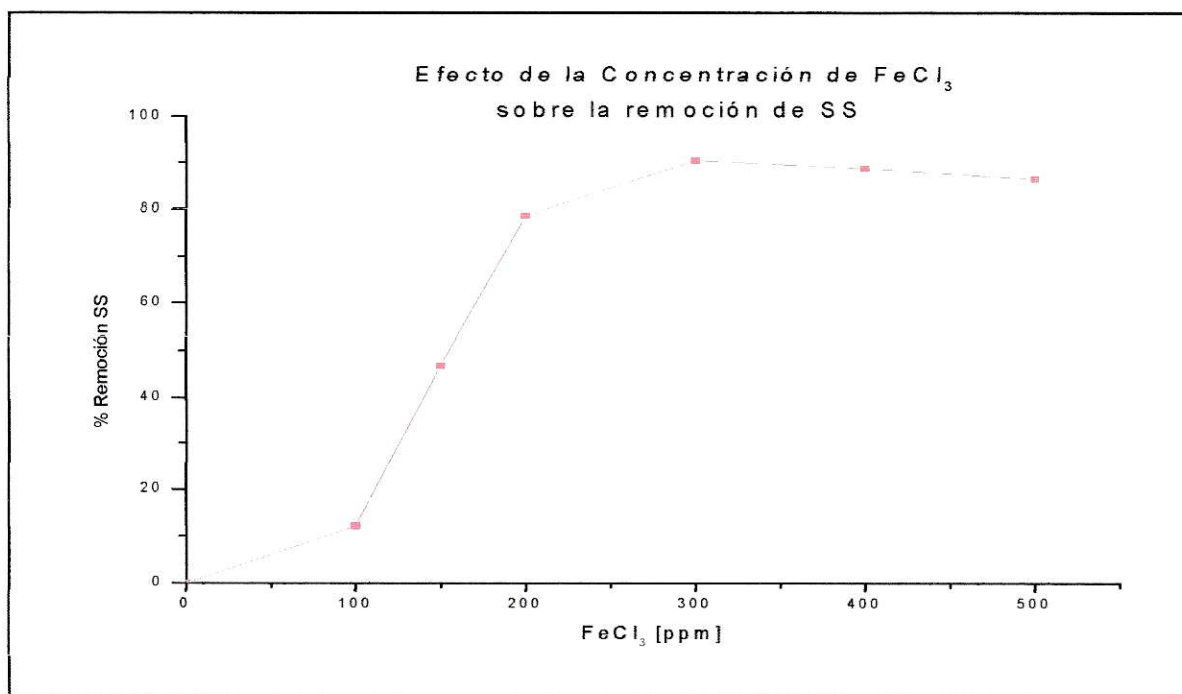


Figura 20. Efecto de la concentración de $FeCl_3$ sobre la remoción de SS. pH 7, concentración de SS 800 mg/L, $t_R = 30$ min.

Las figuras 19 y 20 muestran que las remociones máximas de SS se producen a concentraciones de 240 ppm y 300 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3 con valores de remoción de 92,5 y 90,4% respectivamente.

Una vez optimizado la concentración de coagulante y el t_R se observa que la máxima remoción de DQO de las aguas de proceso se alcanza mediante la adición de 240 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a un t_R de 25 min. Como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Remoción de DQO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 240 ppm, FeCl_3 300 ppm, pH 7, concentración de SS 800 mg/L, $t_R = 25$ [min] y 30 [min] respectivamente.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		FeCl_3	
ppm	%Remoción DQO	ppm	% Remoción DQO
240	63,6	300	55,9

8.4. RESULTADOS ELECTROCOAGULACIÓN

8.4.1. Estudio de la influencia de la concentración de sólidos suspendidos sobre la eficiencia de la remoción.

Al observar la figura 21 queda de manifiesto que hay una significativa relación final entre la concentración de SS en la celda electrolítica y el porcentaje de remoción. La linealidad encontrada puede ser atribuida a la interacción analito-sustrato. Cuando hay menor cantidad de SS (analito) la probabilidad de interacción con el sustrato es menor, ya que hay un menor número de analito por sección transversal de paso, en tanto que al aumentar la

concentración se incrementa la probabilidad de contacto, favoreciendo la remoción. La remoción máxima es cercana al 40% a una concentración de SS de 600 mg/L.

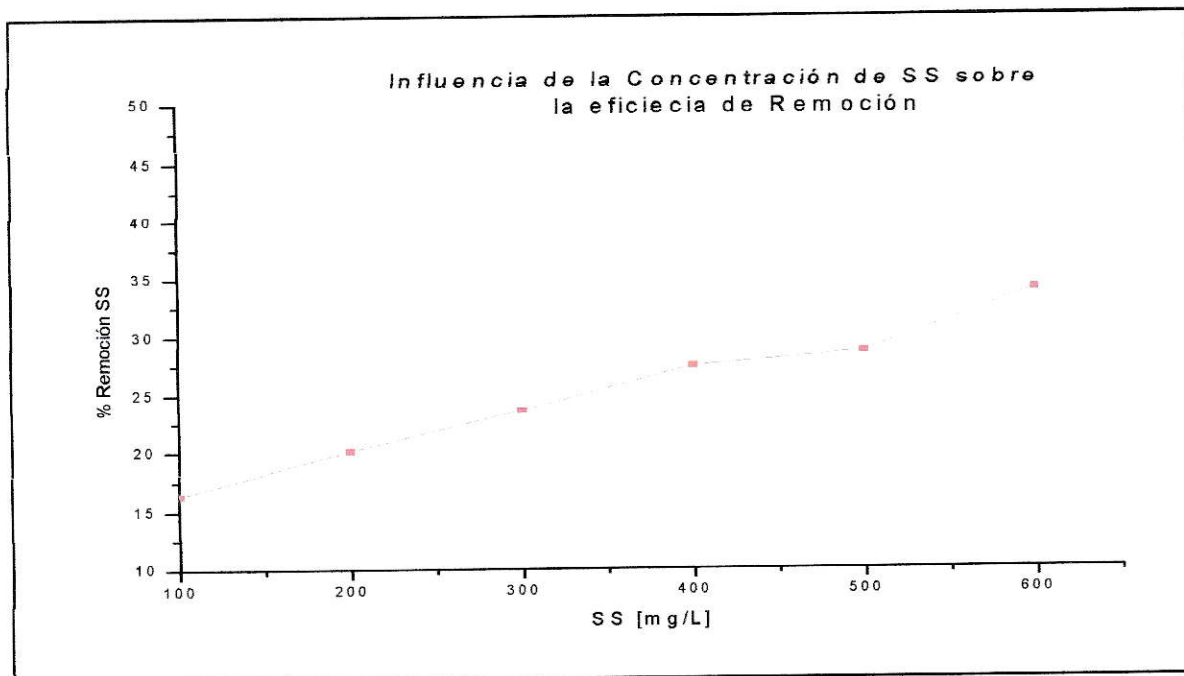


Figura 21. Estudio de la influencia de la concentración de sólidos suspendidos sobre la eficiencia de la remoción. pH = 7 voltaje = 4V, tiempo de electrolisis 10 min, distancia interelectródica = 1cm, superficie efectiva de electrodos 132 cm²

8.4.2. Estudio de la influencia de la dimensión de los electrodos sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.

La geometría de los electrodos juega un rol importante en la electroquímica, por lo que es necesario conocer el efecto de esta variable sobre el proceso electroquímico en estudio, para lo cual se varió la superficie efectiva de los electrodos.

Los resultados del efecto de la superficie efectiva de los electrodos sobre el porcentaje de remoción de SS se muestran en la figura 22.

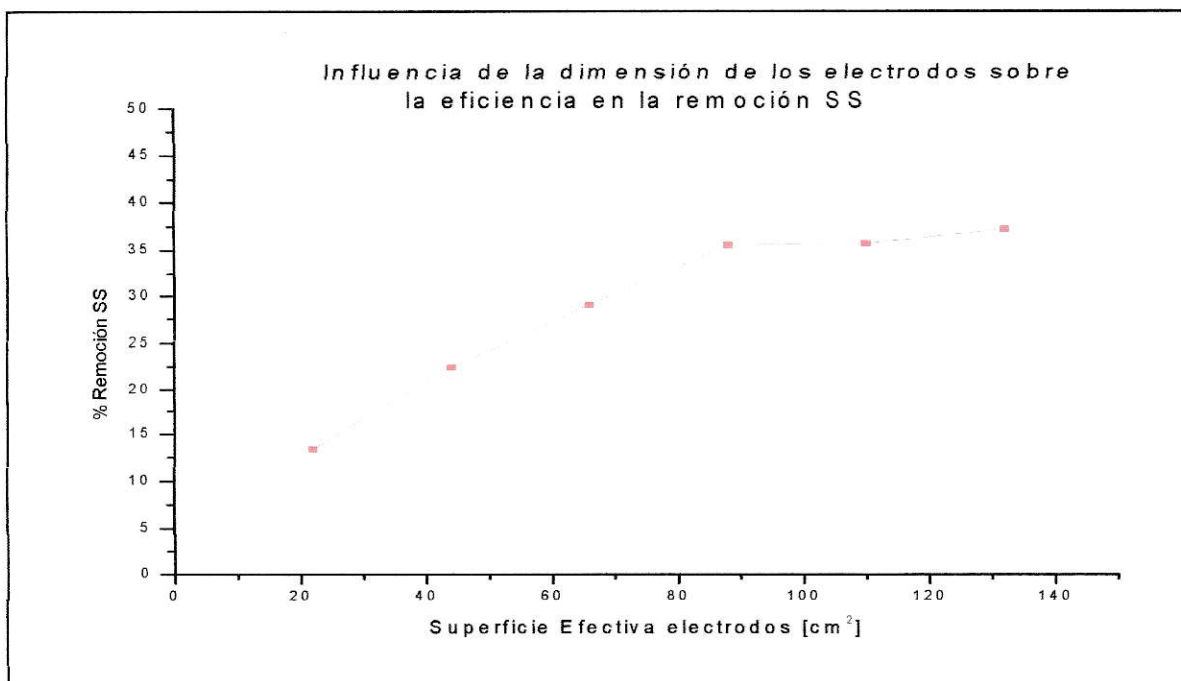


Figura 22. Estudio de la influencia de la dimensión de los electrodos sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos. SS = 686 mg/L, pH = 7, voltaje = 4V tiempo de electrólisis 10 min, distancia interelectródica 1 cm

De la figura 22 se aprecia que el porcentaje de remoción de SS y el área efectiva de electrodos están significativamente relacionados, es decir existe un aumento en la remoción al aumentar la superficie específica hasta llegar a alcanzar una remoción constante sobre los 88 cm² de superficie, con una asíntota cercana al 37% de remoción.

A medida que aumenta la superficie aumenta también la cantidad de Al³⁺ obtenido, ya que hay una mayor cantidad de sitios de electrogeneración, por lo tanto se espera una mayor remoción de SS.

8.4.3. Estudio de la influencia de la distancia interelectrónica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.

La distancia interelectrónica es una variable muy importante, ya que influye sobre el campo eléctrico y determina criterios de diseño de celdas.

Los resultados del efecto de la distancia interelectrónica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos se muestran en la figura 23.

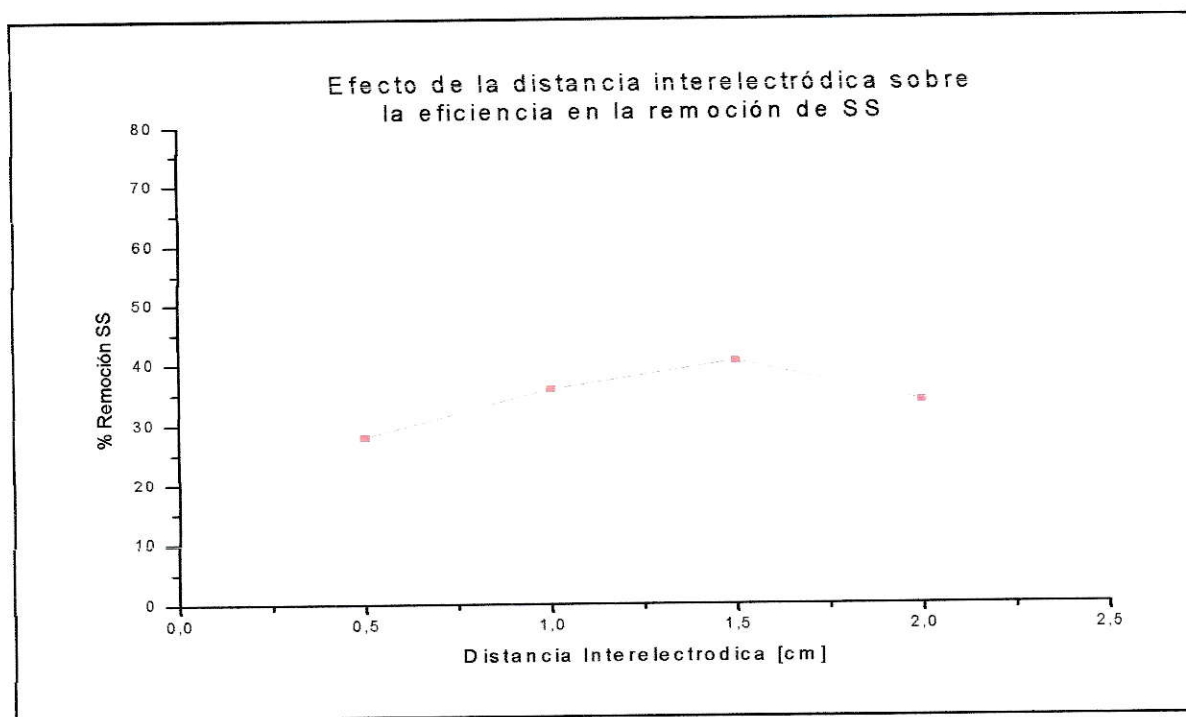


Figura 23. Efecto de la distancia interelectrónica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos. SS = 686 mg/L, pH = 7, tiempo de electrolisis = 10 min voltaje = 4V

De la figura 23 se deduce que al aumentar la distancia entre los electrodos hay un aumento gradual en la remoción de SS hasta alcanzar un máximo cercano al 40% de remoción.

Como el voltaje permanece constante, la intensidad del campo eléctrico disminuye al aumentar la distancia, por esto es posible constatar un aumento de la remoción al disminuir el campo eléctrico hasta alcanzar un máximo para luego decaer a intensidades aún más baja de campo eléctrico.

8.4.4. Estudio del efecto del tiempo de electrolisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos.

El tiempo de electrólisis es otra variable que influye directamente en cualquier proceso electroquímico.

Los resultados del efecto del tiempo de electrolisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos se presentan en la 24.

Los resultados obtenidos muestran que al aumentar el tiempo se obtuvo un aumento gradual del abatimiento de SS hasta alcanzar una remoción máxima del 43% a un tiempo de 8 min de electrolisis.

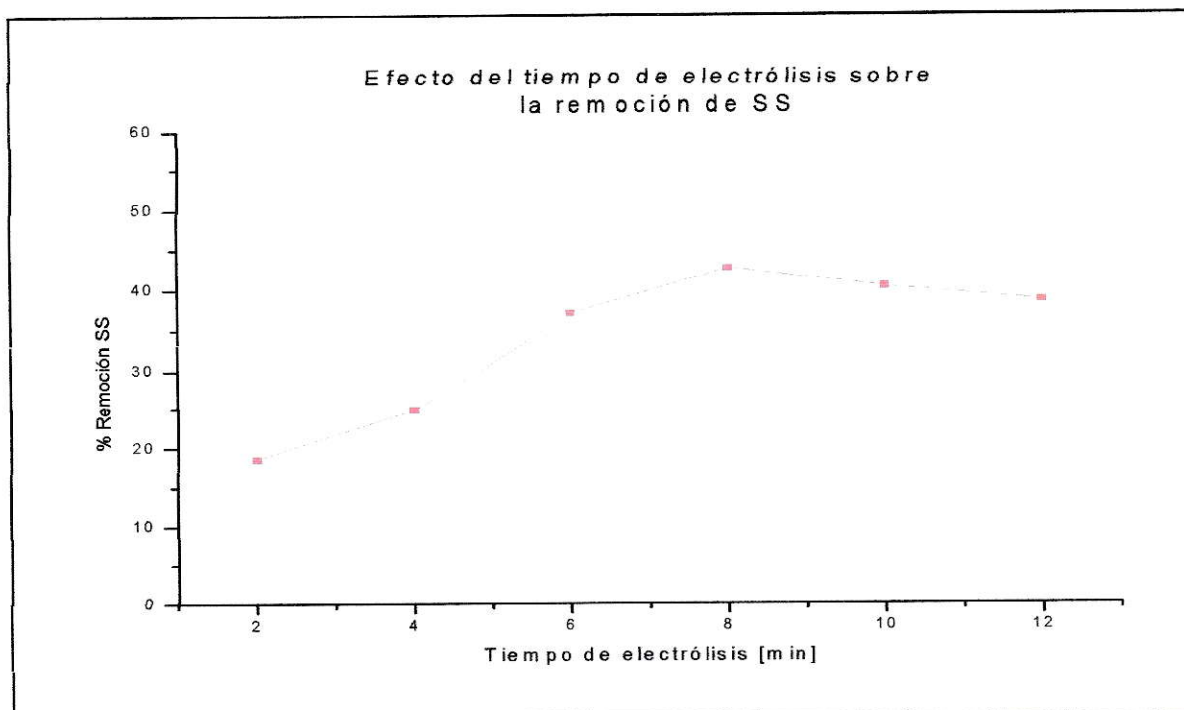


Figura 24. Efecto del tiempo de electrólisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos. SS = 686 mg/L, pH = 7, voltaje = 4V, distancia interelectródica = 1,5 cm.

8.4.5. Estudio del efecto del voltaje aplicado sobre la remoción de sólidos suspendidos.

Considerando las variables optimizadas en los puntos anteriores, se realizó un estudio del efecto del voltaje sobre la eficiencia en la remoción de SS. Los resultados se muestran en la figura 25.

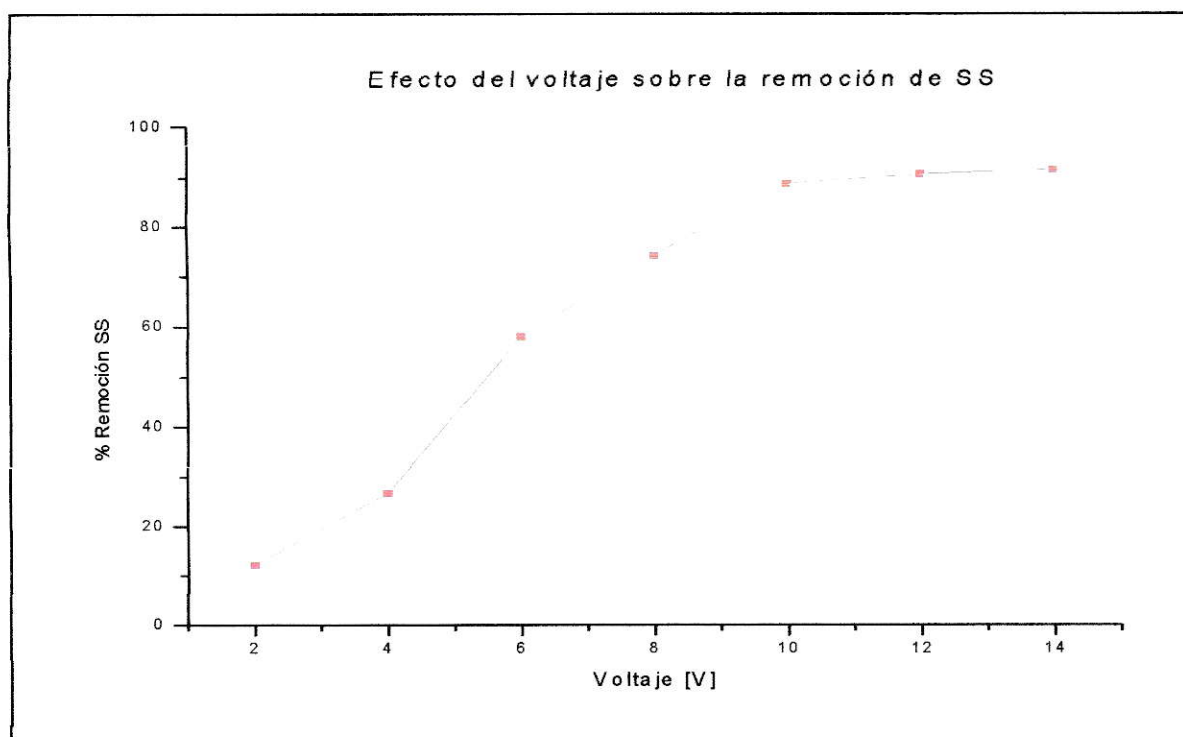


Figura 25. Estudio del efecto del voltaje aplicado sobre la remoción de sólidos suspendidos. SS = 686 mg/L, pH = 7, distancia interelectródica = 1,5 cm, tiempo de electrolisis 8 min.

Los resultados obtenidos muestran entre los 10 y 14 volts la remoción de SS es casi constante y cercana al 90% de abatimiento.

8.5. Estudio de la generación de lodos.

Tal como se mencionó en el punto 7.4.1.4. esta experiencia se realizó utilizando $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como agente coagulante ya que este aportó mayores remociones de SS y DQO en las aguas de proceso (ver 8.3.2.) y serán estos los parámetros que se utilizarán en el diseño de la planta.

Tabla 5. Estudio de la generación de lodos. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 240 ppm, pH 7, $t_R = 25$ min.

Volumen RIL [L]	Volumen Lodo [L]	Masa lodo (B.S.) [g]	Concentración [g lodo (B.S.) / L lodo (B.H.)]
10	1,38	0,80	8,0
10	1,40	0,83	8,3
10	1,37	0,81	8,1

Estos resultados serán útiles mas adelante para el cálculo de la producción diaria de lodos que obtendrá, como se muestra en el Anexo C.3.

8.6 Análisis de lixiviación de lodos generados

El DS N° 148/03: “Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos”, declara como no peligrosos los residuos que genera la industria recicladora de papel y cartón; tal afirmación se constata en su Artículo 90 Lista B, sobre Residuos No Peligrosos en la clasificación B3020: residuos de papel, cartón y productos del papel.

Independientemente de lo que indica la normativa y para reafirmar el carácter de no peligrosos se realizó análisis de metales pesados en los residuos en forma de lodos que genera el proceso de limpieza de las aguas de proceso. El resultado del análisis de lixiviación se observa en la tabla siguiente:

Tabla 6. Test de lixiviación de metales pesados a lodos según D.S. 148.

Parámetros	Nivel Regulatorio*	Unidades	Resultados
Arsénico TCLP	5	mg/L	<0.04
Bario TCLP	100	mg/L	0,5
Cadmio TCLP	1	mg/L	0,02
Cromo TCLP	5	mg/L	0,04
Mercurio TCLP	0,2	mg/L	<0.0005
Plata TCLP	5	mg/L	0,015
Plomo TCLP	5	mg/L	0,17
Selenio TCLP	1	mg/L	0,09

*Reglamento Sanitario sobre manejo de Residuos Peligrosos

8.7. Pruebas en columna de sedimentación

Para obtener una aproximación de las dimensiones que tendrá la unidad de sedimentación, se realizaron ensayos en columna de sedimentación, sin embargo, es necesario hacer notar que en la actualidad los diseños de las plantas se basan principalmente en la experiencia de aquellas que se encuentran en funcionamiento (Plaza, 2005), ya que la teoría aplicada a la sedimentación aun no cuenta con un mayor estudio.

La columna de sedimentación utilizada posee cuatro válvulas de muestreo a lo largo de la misma, con el fin de extrapolar el comportamiento de todo el sistema en el tiempo y con ello determinar la velocidad de sedimentación efectiva de las partículas coloidales, el factor de carga y el % total de SS removidos.

La figura 26 muestra la remoción de SS en función del t_R y la altura (H) de toma de muestra en la columna de sedimentación.

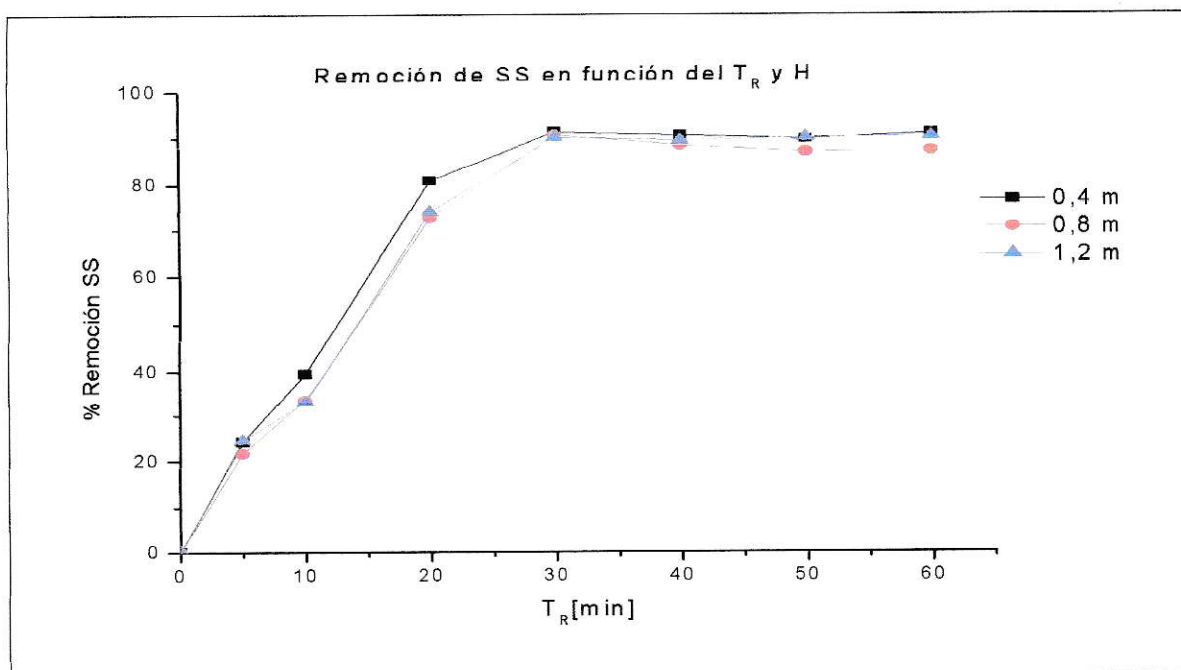


Figura 26. Remoción de SS en función del t_R y H.

Como se aprecia en la figura 26, la remoción de SS en cada punto de muestreo aumenta con el tiempo, sin embargo los resultados obtenidos a 0,8 y 1,2 m presentan valores similares de SS removidos en el tiempo, esto se puede deber a que la velocidad de sedimentación en ambos puntos de muestreo posee un valor similar.

A partir de la figura 26 se pueden obtener los llamados gráficos de sedimentación. Estos permiten determinar la velocidad de sedimentación efectiva (v_s) que se produce en un determinado tiempo de retención, así como también es posible determinar el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos para un tiempo de retención dado, y se estima como la razón entre la altura media y la altura efectiva de sedimentación, que en este caso corresponde a 1,2 m.

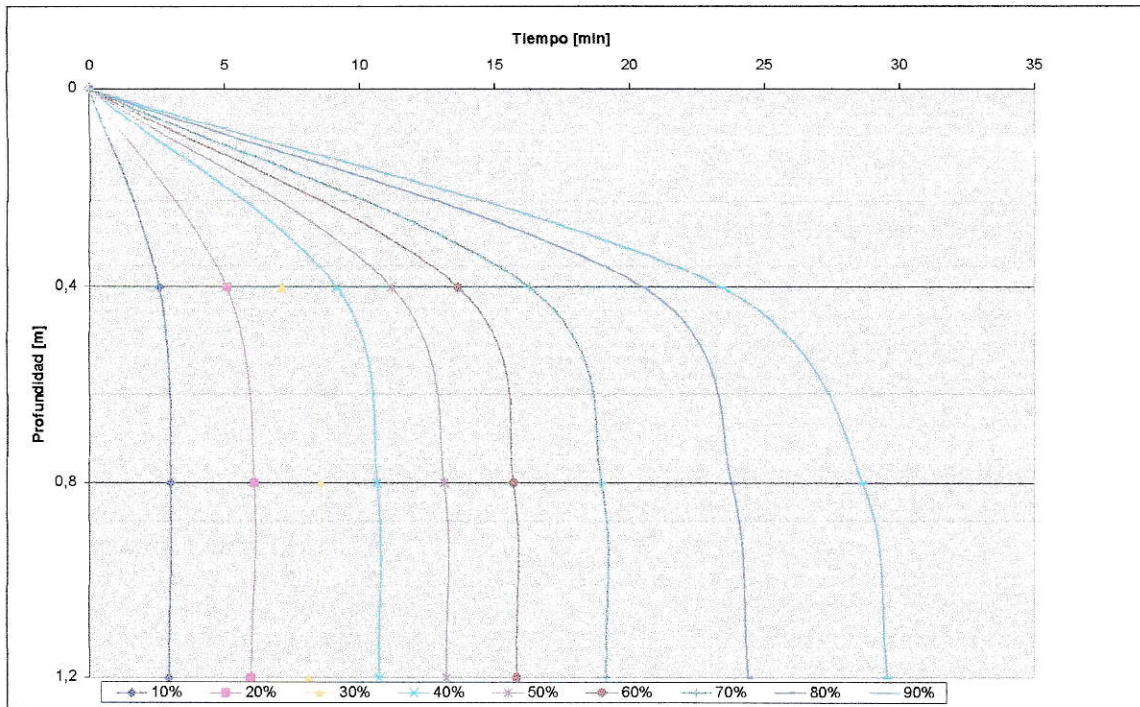


Figura 27. Grafico de sedimentación

Las curvas de isoporcentaje mostradas en la figura 27 son útiles para determinar el porcentaje total de SS removidos, la velocidad de sedimentación efectiva y con ello el factor de carga y su relación con el tiempo de retención, de esta se desprende una remoción de SS del 90% un t_R cercano a 30 min. La figura 28 muestra la v_s en función de % de remoción de SS, de esta se desprende que la v_s disminuye al aumentar la remoción de SS alcanzando un valor de 2,45 [m/h] a los 90% de SS removidos. La figura 29 muestra que para un 90% de remoción de SS el factor de carga para el RIL es de 58,9 [m³/m² día]

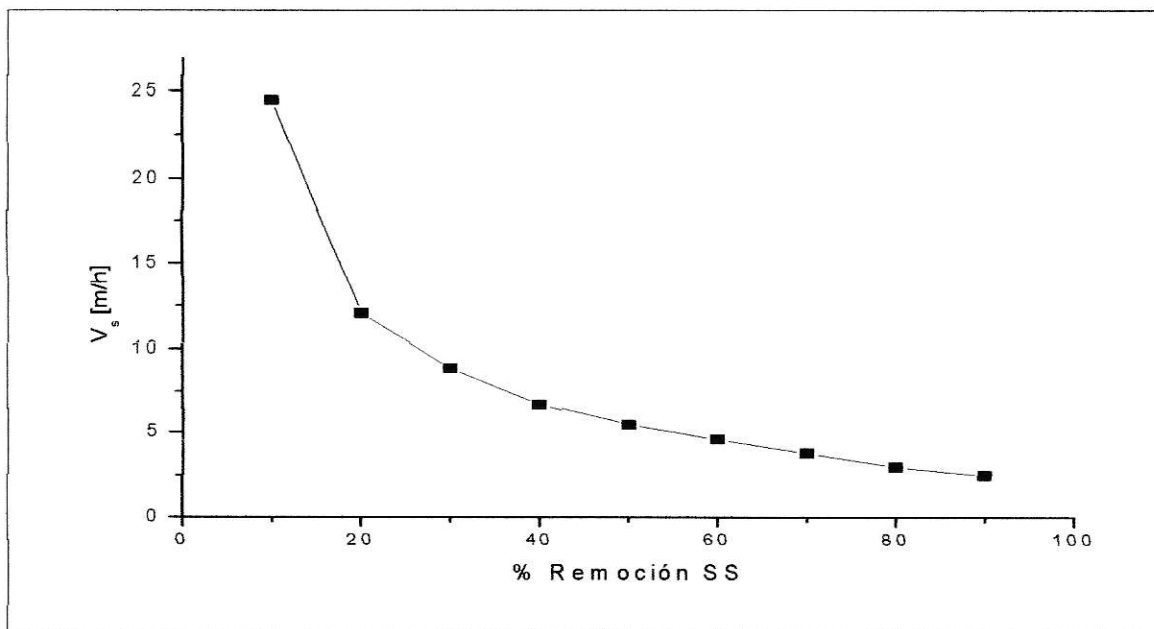


Figura 28. Velocidad de sedimentación efectiva en función del % de remoción de SS, para una altura efectiva de sedimentación = 1,2 m

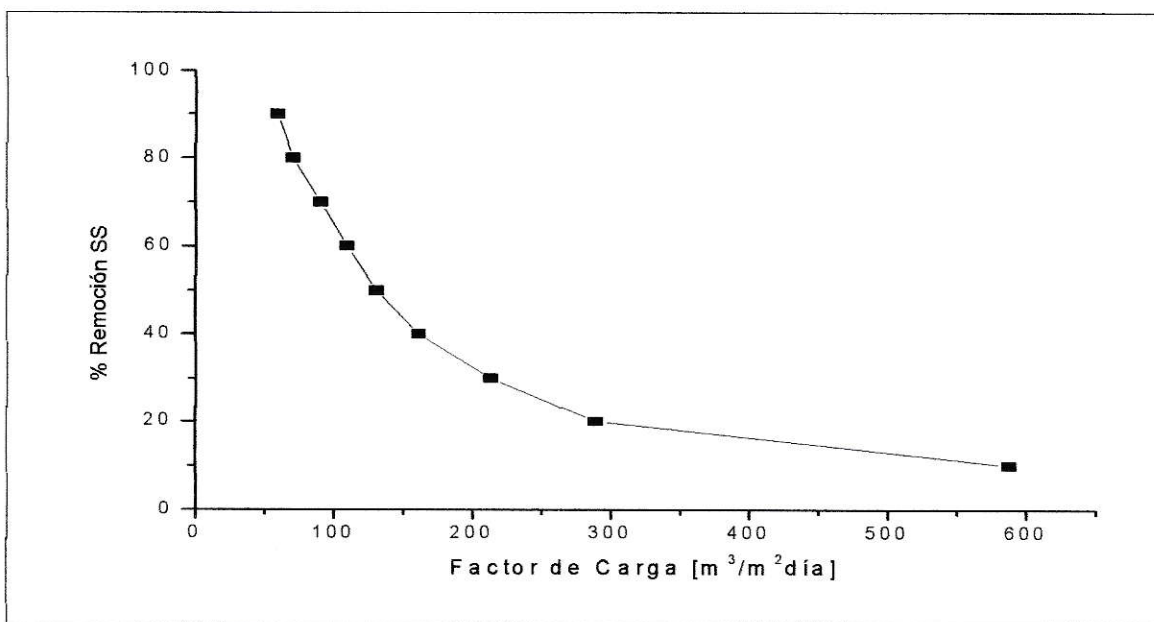


Figura 29. % de SS removidos en función de la carga superficial, para una altura efectiva de sedimentación = 1,2 m

8.8. DISEÑO PLANTA TRATAMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUAS DE PROCESO

Los parámetros de diseño de la planta de tratamiento de agua residuales para Schorr & Concha S.A. se basó en los parámetros analíticos optimizados en el punto 8.3 COAGULACIÓN QUÍMICA y 8.5 PRUEBAS EN COLUMNA DE SEDIMENTACION.

8.8.1. Bases de diseño

Para determinar los caudales de diseño se efectuó una campaña de mediciones de caudal durante cinco días de operación normal, cuyos resultados se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Resumen mediciones de caudal Schorr & Concha S.A.

Q	Unidad	Valor
medio	m ³ /día	708,7
máximo	m ³ /día	807,4
diseño	m ³ /día	900

El caudal de diseño se calculó aplicando un Factor de Seguridad de 1,115 al caudal máximo obtenido

El t_R utilizado en el diseño de la planta de tratamiento aguas de proceso fue determinado en el punto 8.5. De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó un tiempo de residencia de 29,3 [min] para una dosificación de 240 ppm de Sulfato de Aluminio y para un abatimiento de SS del 90%, el t_R de diseño se calculó aplicando un factor de seguridad de 1,35 al t_R

experimental calculado en la columna de sedimentación. Estos resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. t_R de diseño.

t_R	Unidad	Valor
Test de jarras	min	25
Columna de sedimentación	min	29,3
Diseño	min	40

Diseño de sedimentador

Tabla 9. Dimensiones de la unidad de sedimentación.

parámetro	unidad	sedimentador	
		rectangular	circular
t_R	min	40	40
Factor de carga	m^3/m^2 día	43,6	43,6
Q	$m^3/día$	900	900
As	m^2	20,6	20,6
V	m^3	25	25
L	m	6,4	---
A	m	3,2	---
H	m	1,2	1,2
D	m	---	5,1

Estanques de almacenamiento.

Para dimensionar los estanques de almacenamiento de las aguas de proceso y del coagulante, se consideró que las unidades generadoras de aguas de proceso funcionan las 24 h del día y que el caudal de aguas de proceso generada se mantiene constante a través de

este periodo de tiempo. Para el dimensionamiento de los estanques se consideró un caudal de diseño de $37,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

El diseño del estanque de almacenamiento de aguas de proceso se sobredimensiona con la finalidad de asegurar el funcionamiento de la unidad de tratamiento de aguas de proceso por dos horas y con un volumen de almacenamiento que triplica el volumen del sedimentador.

Para efectos prácticos en el diseño del estanque de almacenamiento de coagulante se considera que este debe mantener funcionando de forma autónoma la planta de tratamiento y recirculación de aguas de proceso por 24 h. Además se considera una solución madre de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 20000 ppm y una concentración óptima requerida en el estanque de coagulación para la remoción del 90% de SS de 240 ppm. Para dimensionar el estanque de mezcla rápida se considera un tiempo de mezcla de 30 s.

La siguiente tabla muestra el resumen de los volúmenes de los estanques de almacenamiento.

Tabla 10. Resumen de los volúmenes de los estanques de almacenamiento.

Estanque	Designación	Volumen [m^3]
Agua de proceso	E-1	75,0
Coagulante	E-2	10,8
Mezcla rápida	E-3	0,5

En la figura 30 se muestra el diagrama del sistema de control automático diseñado para dosificar el caudal en el estanque de almacenamiento de coagulante y el valor de pH en el estanque de almacenamiento de aguas de proceso. El sistema esta constituido por un sensor de pH y un caudalímetro conectado a un analizador interpretador transmisor (AIT), el que transfiere la información a un controlador lógico programable (PLC) (Perry, 1994), el que envía la señal al actuador final que corresponden a dos electro-válvulas, dos tienen la función de regular el suministro de NaOH o H₂SO₄ según fuese necesario en el estanque de almacenamiento de aguas de proceso (E-1), con el propósito de modificar el valor de pH y una tercera electro-válvula tiene como función la dosificación del coagulante en el estanque de mezcla rápida.

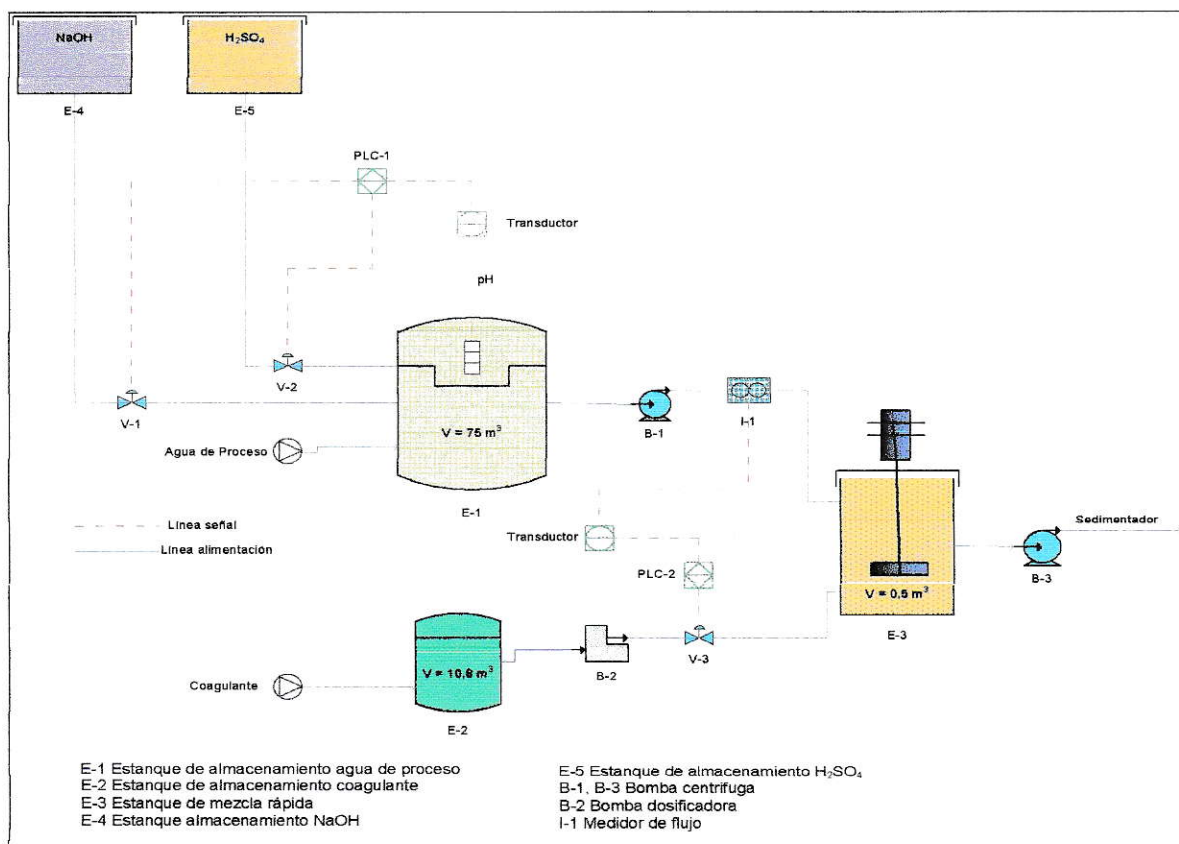


Figura 30. Diagrama control automático: ajuste de pH y dosificación coagulante

El valor de “Set-point”, fue establecido a $\text{pH} = 7$, ya que a este valor de pH se consigue la remoción del 90% de los SS presentes en las aguas de proceso.

Cabe destacar que el caudal que debe generar el estanque de almacenamiento de coagulante es función del caudal de las aguas de proceso a tratar, este caudal esta dado por la siguiente relación:

$$Q_C = 0,012 * Q_R \frac{L}{\text{min}}$$

Generación de lodos

La generación de lodos se determinó en forma experimental en el punto 8.3.3, siendo los valores máximos los asumidos para fines de diseño los que se muestran en la tabla 11. En base a estos resultados se obtiene la producción de lodos en base húmeda (B.H) y seca (B.S), suponiendo el caudal de diseño de $900 \text{ m}^3/\text{día}$.

Tabla 11. Generación de lodo.

Q [$\text{m}^3/\text{día}$]	Lodo B.H [$\text{m}^3/\text{día}$]	Lodo B.S. [$\text{kg}/\text{día}$]
900	126	1045,8

Dimensiones espesador de lodo

Se crea para cubrir la necesidad de reducir la cantidad de lodos, con el fin de eliminar los inconvenientes de transporte y disposición final. El proceso se lleva a cabo por gravedad específica y a muy bajo costo. Los parámetros de diseño se muestran en la tabla 12, las dimensiones de la unidad espesadora se muestra en la tabla 13.

Tabla 12. Parámetros de diseño unidad espesadora de lodo.

Parámetro	valor	unidad
Q	126	m ³ /día
t _R	5,0	hr
Concentración SS entrada	0,83	Kg/m ³
Concentración SS salida	3,00	Kg/m ³

Tabla 13. Dimensiones de la unidad espesadora de lodo.

Parámetro	Valor	Unidad
Ae	7	m
D	3	m
H	6	m
Vel	26,25	m ³
Val	7,26	m ³
Vu	33,51	m ³

Filtro de Banda

Para efectos de diseño se ha considerado la utilización de un filtro de banda con capacidad para deshidratar 34,86 m³/día de lodo con una concentración de sólidos del 3%. El filtro de banda requerido permitirá obtener un lodo con un contenido de sólidos del orden del 20%, lo que implica una generación de lodos del orden de las 5,23 ton/día.

Diagrama de flujo del sistema de tratamiento

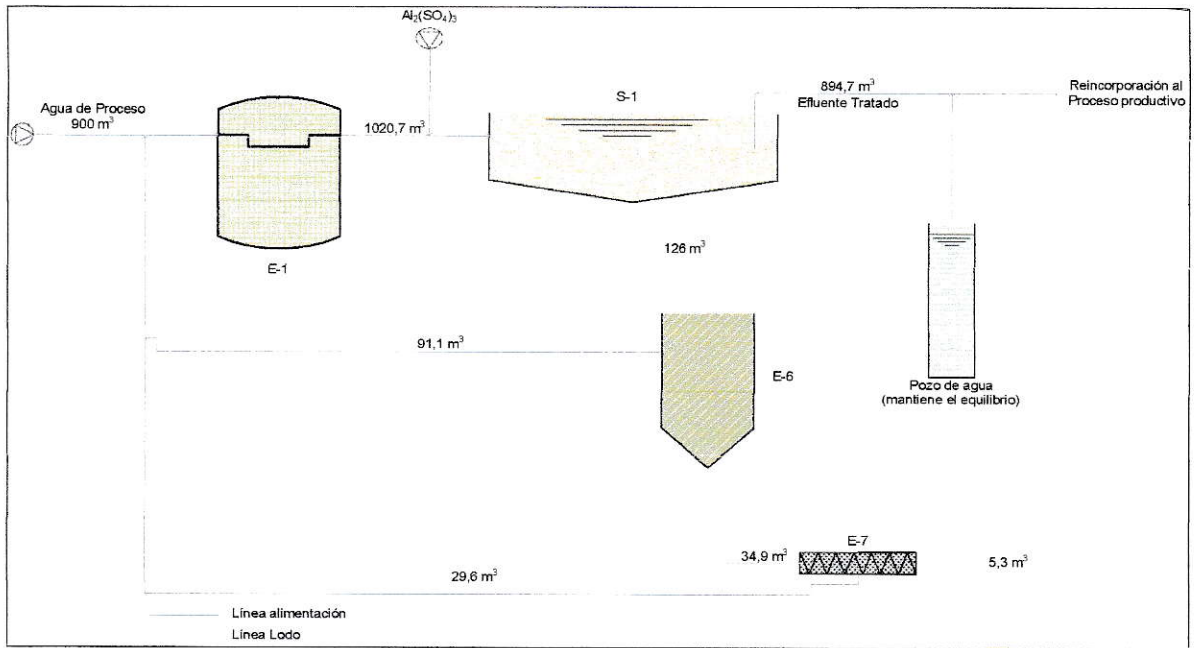


Figura 31. Diagrama del sistema de tratamiento

Diagrama de flujo del sistema de recirculación adoptado

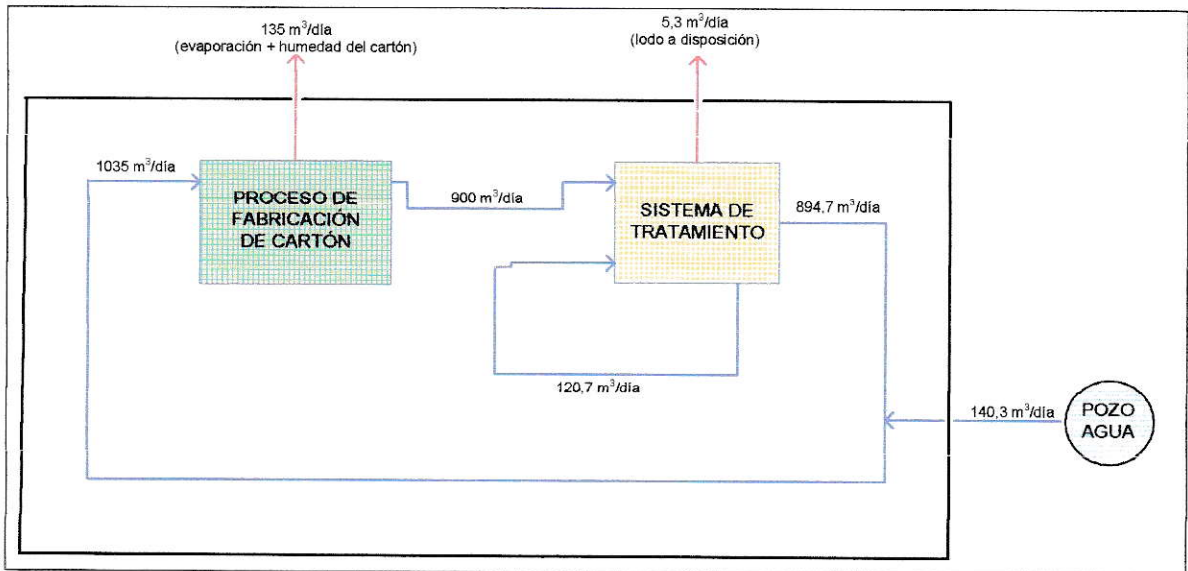


Figura 32. Diagrama del sistema de recirculación

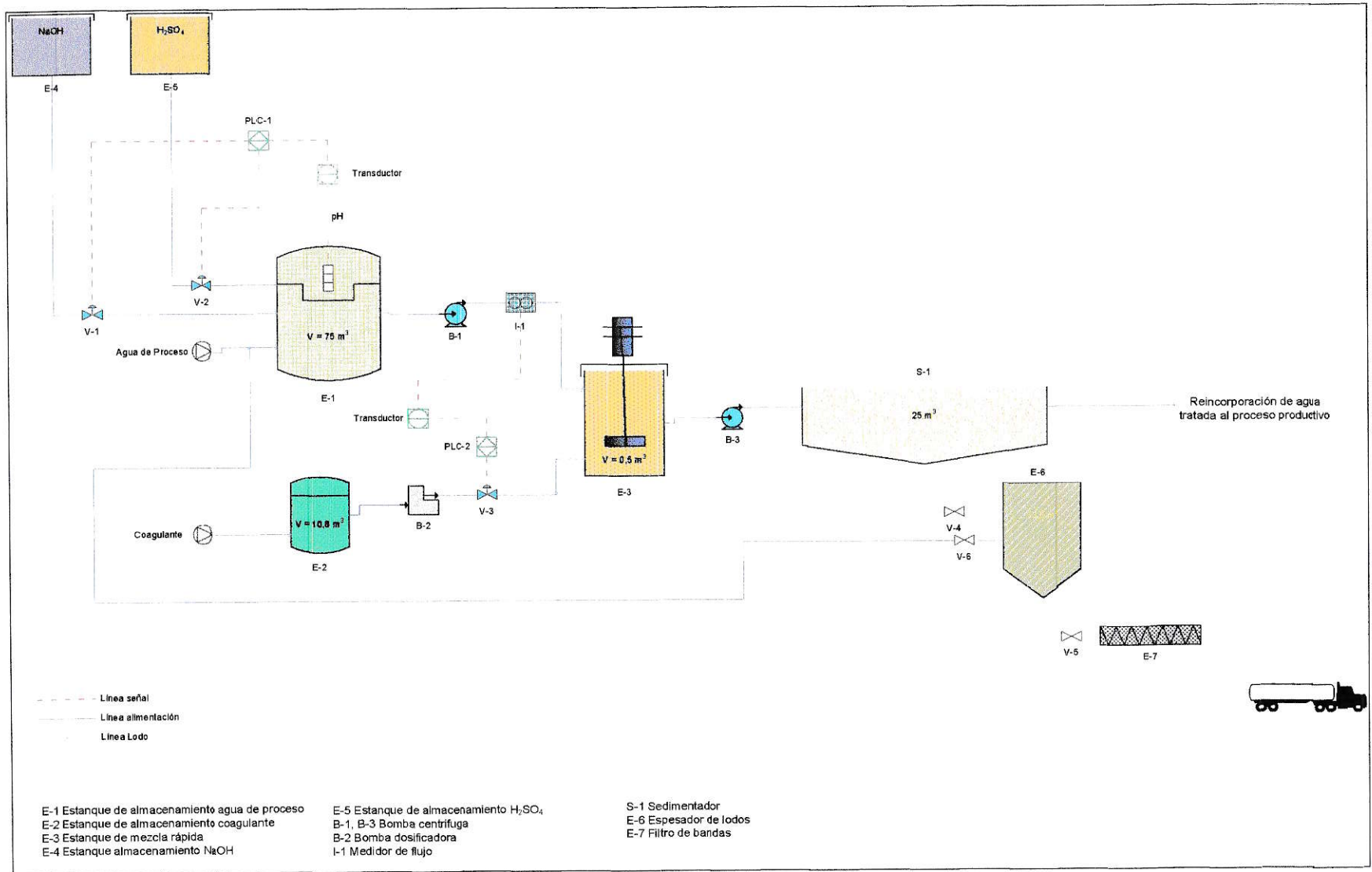


Figura 33. Diagrama general del sistema de limpieza y recirculación adoptado.

8.9 PLAN DE EMERGENCIAS

Frente a un terremoto y en caso de colapsar las estructuras de la planta, las aguas de proceso se escurrirán superficialmente de acuerdo a la pendiente natural que las conducirá hacia la quebrada existente en el costado poniente del límite de las instalaciones fabriles. Por tratarse de aguas en proceso de limpieza y por no contener elementos peligrosos, su efecto sobre el medio ambiente no difiere significativamente de las restantes actividades fabriles que también se verán involucradas por la catástrofe natural.

Frente a un caso de fuerza mayor o una anomalía no prevista se diseñó, como medida de protección pasiva, un “by pass” que recolecta las aguas por rebalse y las evacúan al exterior a través del canal de regadío y de allí a la quebrada existente en costado poniente de las instalaciones. Junto a lo anterior el Encargado dará aviso inmediato al representante legal de la empresa a objeto que éste requiera a los asesores técnicos de la empresa el diseño de una solución apropiada para el problema presentado.

Frente a un riesgo para las personas, es posible la caída accidental a alguno de los estanques, lo cual es poco probable porque estarán dotados de una valla de protección de 1,5 m de alto, cuya adecuada condición de mantención será verificada diariamente.

CAPITULO IX: CONCLUSIONES

9.1 PRODUCCION LIMPIA

Las propuestas efectuadas a Schorr & Concha S.A. en lo que respecta a Producción Limpia como el *Programa de minimización de Desechos y Emisiones, Programa de Reutilización y Reciclaje, Manejo de Sustancias peligrosas , Reducción de la Perdida de Fibra , Seguridad y Salud Ocupacional, Uso Eficiente de la Energía, Uso Eficiente del Recurso agua*, son sencillas y económicamente viables ya que los costos asociados a este tipo de estrategia son despreciables comparado con los beneficios externos en cuanto ahorro de capital a largo plazo, tomando en cuenta que para su ejecución solo se requiere de la buena voluntad del empresario.

Debido a que la industria papelera tiene un consumo específico de agua elevado, es fundamental tomar medidas respecto al uso eficiente del recurso agua, por ello es que se propone diseñar un sistema de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso, con la finalidad de limpiar estas aguas reincorporándolas al proceso productivo, disminuyendo considerablemente el consumo de agua, aumentando a la vez la eficiencia del proceso y cumpliendo a la vez con la legislación ambiental vigente. La propuesta corresponde a un proyecto ecoeficiente ya que se requiere poca inversión de capital para su ejecución con un rápido retorno, solucionando así un problema ambiental como lo es la disposición final de los residuos industriales líquidos.

9.2 DISEÑO PLANTA TRATAMIENTO Y RECIRCULACIÓN DE AGUAS DE PROCESO

Para efectos del diseño de la planta de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso, fue necesario buscar una alternativa eficiente para la remoción de SS, para esto las técnicas utilizadas fueron la coagulación química y la electrocoagulación.

Una vez optimizado los parámetros los resultados obtenidos mediante coagulación química, para una concentración de 800 mg/L de SS las remociones mas altas se obtuvieron con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como agente coagulante, el test de jarras arrojó una remoción del 92,5% de SS a una concentración de 240 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y un t_R de 25 min., en estas condiciones la remoción de DQO fue de 63,6%. En cuanto a la remoción máxima alcanzada mediante electrocoagulación, los resultados muestran que a una concentración de 686 mg/L de SS la remoción cercana al 90%, a una distancia interelectródica de 1,5 cm, tiempo de electrólisis de 8 min y 14 volts. Por lo tanto la técnica de abatimiento utilizada para el diseño de la planta de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso es la coagulación química mediante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Mediante pruebas en columna de sedimentación se determinó un t_R 29,3 [min] para una dosificación de 240 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y un abatimiento de SS del 90%. El t_R de diseño se calculó aplicando un factor de seguridad de 1,35 al t_R experimental alcanzando un valor de 40 min.

El diseño de la planta de tratamiento y recirculación de las aguas de proceso consta de un estanque de almacenamiento de aguas de proceso de 75 m³, una unidad de almacenamiento

de coagulante de $10,8 \text{ m}^3$, un estanque de mezcla rápida de $0,5 \text{ m}^3$, un estanques de almacenamiento de NaOH y H_2SO_4 , sedimentador de 25 m^3 , espesador de lodos de $33,5 \text{ m}^3$ y filtro de bandas. Los equipos adicionales son bomba centrífuga, bomba dosificadora, medidor de flujo y un motorreductor para la unidad de agitación en el estanque de mezcla rápida.

La generación de lodo máxima estimada alcanza los $126 \text{ m}^3/\text{día}$ de lodo B.H. y cerca de 1000 kg/día de lodo B.S. El filtro de bandas requerido permitirá obtener un lodo con un contenido de sólidos del orden del 20% lo que implica una generación de lodos del orden de las $5,2 \text{ ton/día}$.

Aunque el DS N° 148/03 considera como no peligrosos los residuos generados por la industria recicladora de papel y cartón, se realizaron análisis de lixiviación de metales pesados a los lodos generados, estos resultados muestran que los lodos generados tiene una concentración de metales pesados por debajo de la norma, por lo tanto estos pueden ser dispuestos como fertilizante en suelos agrícolas.

CAPITULO IX: BIBLIOGRAFIA

Acevedo, R. 2001. "Coagulación de Contaminantes del agua". Cabierta.uchile.cl/revista/15/articulos/pdf/edu4.pdf. Pp 2

Chamy, R. 2003. Avances em biotecnologia ambiental: tratamiento de residuos líquidos y sólidos. Volumen II. Ed. Universitarias de Valparaiso.

Decreto Supremo Número 90.- Santiago, 30 de Mayo de 2000. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Norma la emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

Decreto Supremo Número 609.- Santiago, 7 de Mayo de 1998. Ministerio de Obras Públicas. Norma la emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.

Escobar, C. 2002. Optimización del proceso de electrocoagulación para la remoción de cobre, plomo, cadmio en aguas naturales y residuos industriales líquidos; Memoria para optar al Título de Químico Ambiental; Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Galeno, M. 2003. Análisis de factibilidad de implementación de medidas de producción limpia y propuesta de diseño de una planta de tratamiento de riles en Viña Chateau Los Boldos. Memoria para optar al Título de Químico Ambiental; Universidad de Chile, Santiago, Chile. pp15-18

Gaspar, I & Col. 2002. Principios & Herramientas de Producción Limpia. Consejo Nacional de Producción Limpia, Santiago, Chile.

Gaspar R, Maria I. 1999. Estudio de Instrumentos de Fomento CORFO para el fortalecimiento de Producción Limpia en ciertos Sectores Industriales de la PyME. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial; Universidad de Chile. Santiago, Chile. Pp

Guerrero, L. 2004. Coagulación – Floculación, UTFSM, DEPARTAMENTO DE Procesos Químicos. Valparaíso, Chile.

Hernandez, A. 1992, Depuración de aguas residuales, 2ª ed, Editorial Paraninfo, Madrid, España, pp55 – 56

J. O'M. Bockris; A. K. N. Reddy; Modern Electroquemistry, Phenum / Rosetta Editions, Nueva York, 1973.

Khemis, M. & Col. (2006). Chem. Eng. Sci., 61, pp 3602-3609.

Ley Número 19300.- Santiago, 10 de Marzo 1994. Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Marambio, S & Lillo, L. (2006). Gestión Ambiental en la Fabricación de Cartón Corrugado. Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Ambiente. Universidad de Santiago de Chile. Pp.-10

Morante, G. 2002. Electrocoagulación de Aguas Residuales. Revista Colombiana de Física, Vol 34. pp 485

Odriozola, V. (1997). Impactos de la Producción de Papel. Informe campaña de Tóxicos, Greenpeace Argentina.

Plaza, M. 2005, Diseño de una planta de tratamiento fisicoquímico de RILes a escala de laboratorio para uso docente. Tesis para optar al título de ingeniero de ejecución químico, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile, pp 64-72

Perry, J. 1994. Manual del Ingeniero Químico. Mc. Graw-Hill. Cap 8: Pp 1- 84.

Pinto, N. 2005. Mejoramiento del proceso de separación fisicoquímico de la planta de tratamiento de riles proveniente de la producción de papel tissue. Tesis para optar al título de ingeniero de ejecución químico, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.

Política de Fomento para la Producción Limpia.- Santiago, Marzo 1998. Comité Interministerial de Desarrollo Productivo. Ministerio de Economía. Pp 7

Ramalho, R. S., 1993 "tratamiento de aguas residuales", 3ª ed., Editorial Reverte, España pp. 70

Rios, G. & Col. 2005 Electrode Passivation in the Electrocoagulation Process, Portugaliae Electrochimica Acta, Nº 23. pp 17-18

Rodríguez A. & Col. (2006) Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales Industriales. Universidad de Alcalá. España. Pp 17-22

Romero A, Claudia A. 2001. Elementos de Diseño para el Abatimiento de Riles. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Químico; Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Seoáñez Calvo, M. 1997. Ingeniería Medioambiental Aplicada: Casos Prácticos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

ANEXO A
Caracterización RIL Schorr & Concha según D.S. 90/00



Superintendencia de
Servicios Sanitarios
División de Fiscalización

FORMATO N°2
D.S. SEGPRES N°90/2000
"CARACTERIZACIÓN DE RILES"

INAM

Tabla N°1

Datos del Establecimiento Industrial		Datos de la Descarga. (Molina Papelera)	
Rezón Social:	SCHORR & COCHA S.A.	Nombre Cuerpo receptor:	Afluente de:
RUT E.I.:	90.086.000-5	N° de descargas de Riles:	
Representante Legal:	CARLOS SCHORR CONCHA	Ubicación descarga en U.T.M.:	Datum: PSAD 56 () PSAD 69 ()
Fono: 226406	Fax: 225739	Forma de Disposición:	
e-mail:	SCHORR @ SCHORR.CL	Caudal disponible del Cuerpo receptor (m³/s)	
Dirección:	AVDA. CARLOS SCHORR N°433	Resolución DGA N°:	Fecha:
Sector, Localidad:	TALCA	VDM (m³/mes):	12523,68
Comuna:	TALCA	Mes de máxima generación Riles:	
Provincia:	TALCA	Región	VII
Ciudad Industrial:	Papelera	Vmáx (m³/mes):	12523,68
C.I.U.:	34112	Consumo de agua más fuentes propias () Equipo portátil (X) Caudalímetro con Registro ()	
Resolución Sanitaria N°:	Fecha	La medición del caudal la realizó:	Industrial () Laboratorio externo (X)
Patente Municipal N°: 1-297	Fecha	Duración de la descarga (h):	24
Producción año 2003: 5.112 TON.	31-01-05	Tipo de Descarga:	Continua (X) Discontinua () Batch ()
Facturación año 2003: 4.341 TON.		Datos Análisis Físico Químico.	
N° de empleados: 168	Turnos de Trabajo: 4	Toma de muestra realizada por:	Industria () Laboratorio externo (X)
Tamaño empresa: Grande () Mediana (X) Pequeña ()		Nombre laboratorio externo utilizado: ANAM S.A.	
		Nombre del responsable de esta información:	
		Cargo en la industria:	e-mail:

Tabla N°2

Datos del Muestreo.				
Mes controlado mes/año.	Días de control día	N°MP por día de control	Duración descarga (h)	VDD (m³/d)
	1	24	24	521,82
	2			
	3			
	4			

Firma Responsable de la Industria.

Fecha envío a la SISS:



D.S. SEGPRES N°90/2000
CARACTERIZACIÓN DE RILES

Tabla N°3

Resultados del monitoreo para Descargas a Cuerpos de Aguas Fluviales. (Descarga N° -----)

Parámetros	Unidades	Expresión	Carga Contaminante Media Diaria en Aguas Servidas CCMDas (equiv. a 100hab./d)(g/d)	Concentraciones de parámetros controlados (mg/L)			Carga Contaminante Diaria ccd (g/d)			Carga Contaminante Diaria del Mes controlado ccdm (g/d)	Carga Contaminante Media Diaria CCMDInd. (g/d)	SI CCMDInd > CCMDas indicar con el N°1
				C1	C2	Cn	ccd1 = (C1*VDD1)	ccd2 = (C2*VDD2)	ccdn = (Cn*VDDn)	ccdm = (ccd1+ccd2+ccdn)/n	CCMDInd. = ccdm*Vmax/VDM	
Acidos y Grasas	mg/l	A y G	960	32			20.350.98			20.350.98	20.350.98	1
Aluminio	mg/l	Al	16	4.3			2.243.83			2.243.83	2.243.83	1
Arsénico	mg/l	As	0.8	<0.010								
Boro	mg/l	B	12.8	1.4			730.55			730.55	730.55	1
Cadmio	mg/l	Cd	0.16	<0.01								
Cianuro	mg/l	CN	3.2	<0.06								
Ciencos	mg/l	Cl	6400	50			26.091.00			26.091.00	26.091.00	1
Cobre Total	mg/l	Cu	16	9.04			20.87			21	21	
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1.60E+12	4.60E+03			2.40E+10			2.40E+10	2.40E+10	
Índice de Fiebre	mg/l	Fiebras	0.8	0.008			4.17			4	4	1
Cromo Hexavalente	mg/l	Cr ⁶⁺	0.8	<0.24								
DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO ₅	4000	687			355.359.42			355.359.42	355.359.42	1
Fluoruro	mg/l	F	24	0.13			67.84			67.84	67.84	1
Fósforo	mg/l	P	80	17.9			9.340.58			9.340.58	9.340.58	1
Hidrocarburos Flujo	mg/l	HF	160	8			4.174.56			4.175	4.175	1
Hierro Disuelto	mg/l	Fe	16	<1.4								
Manganeso	mg/l	Mn	4.8	0.21			109.58			110	110	1
Mercurio	mg/l	Hg	0.22	<0.001								
Molibdeno	mg/l	Mo	1.12	<0.10								
Níquel	mg/l	Ni	1.6	<0.16								
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	NKT	800	59.88			31.246.58			31.246.58	31.246.58	1
Pentaclorofenol	mg/l	C ₅ O ₄ Cl ₅	0.144	ND								
pH	Unidad	pH	6.0-8.0	6.90 - 7.30			6.90 - 7.30			6.90 - 7.30	6.90 - 7.30	
Piomo	mg/l	Pb	3.2	<0.05								
Poder Espumoso	mm	PE	5	<2.5			<2.5			<2.5	<2.5	
Selenio	mg/l	Se	0.16	<0.007								
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	SS	3520	936			488.423.52			488.423.52	488.423.52	1
Sulfatos	mg/l	SO ₄ ²⁻	4800	26			13.567.32			13.567.32	13.567.32	1
Sulfuros	mg/l	S ²⁻	48	<0.03								
Temperatura	°C	T	20	19.4 - 24.6			19.4 - 24.6			19.4 - 24.6	19.4 - 24.6	
Tetracloroetano	mg/l	C ₂ Cl ₄	3.64	ND								
Tolueno	mg/l	C ₆ H ₅ CH ₃	11.2	ND								
Triclorometano	mg/l	CHCl ₃	3.2	ND								
Xileno	mg/l	C ₆ H ₄ C ₂ H ₄	8	ND								
Zinc	mg/l	Zn	16	0.33			172.20			172	172	1
Total de parámetros donde el CCMDInd > CCMDas											14	

NOTA.

Las muestras deben ser compuestas por cada descarga de riles que tenga la industria.
Las muestras compuestas estarán constituidas por muestras puntuales tomadas en el tiempo de duración de la descarga.
Los valores de Temperatura a informar deben corresponder al valor máximo medido en el día de control.
El valor del pH debe corresponder al valor mínimo y al valor máximo obtenido en el día de control.

En el caso que la industria cuente con más de una descarga de Riles, deberá completar una planilla de Resultados de monitoreo por cada descarga existente.
Deberá insertar las columnas necesarias por cada día de control para informar los resultados de los análisis.

Fecha envío a la SISS:

Firma Responsable de la Industria

ANEXO B
DATOS OBTENIDOS

Tabla B.1. Valores de caudales medidos durante una campaña de cinco días.

Fecha campaña	caudal [m ³ /día]
13-ago-2006	807,48
14-ago-2006	771,48
15-ago-2006	604,08
16-ago-2006	602,28
17-ago-2006	758,16
Promedio	708,70

Tabla B.2. Resultados del monitoreo de variables realizado durante dos semanas entre los días 07 al 21 de agosto del 2006

Día	pH	T [°C]	SS [mg/L]
07-ago	6,61	22,3	543
08-ago	6,82	20,4	382
09-ago	6,7	20,5	455
10-ago	7,2	19,1	636
11-ago	6,95	22,6	523
12-ago	7,39	21,8	482
14-ago	6,54	21,3	528
15-ago	7,18	24,5	359
16-ago	7,25	22,6	543
17-ago	6,77	23,0	357
18-ago	6,96	19,2	482
19-ago	7,23	19,7	798
21-ago	6,57	21,9	515
Promedios	6,94	21,5	507,9

Tabla B.3. Efecto del t_R sobre la remoción de SS a pH 7, 636 mg/L sólidos suspendidos, $Al_2(SO_4)_3$ 200 ppm .

T_R [min]	SS _i [mg/L]	% Remoción
0	636,0	0
5	539,3	15,2
10	502,0	21,1
15	448,1	29,5
20	367,3	42,3
25	303,4	52,3
30	305,8	52,2
35	308,1	51,6

Tabla B.4. Efecto del t_R sobre la remoción de SS a pH 7, 636 mg/L sólidos suspendidos, concentraciones de $FeCl_3$ 200 ppm.

t_R [min]	SS _i [mg/L]	% Remoción
0	636	0
5	583,2	8,3
10	533,8	16,1
15	474,7	25,4
20	430,4	32,3
25	392,7	38,3
30	367,3	42,2
35	370,8	41,7

Tabla B.5. Efecto del t_R sobre la remoción de DQO a pH 7, 636 mg/L sólidos suspendidos, $Al_2(SO_4)_3$ 200 ppm .

t_R	DQO [mg/L]	% remoción
0	1248	0
10	1168,2	6,4
20	916,4	26,6
30	881,7	29,4

Tabla B.6. Efecto del t_R sobre la remoción DQO a pH 7, 636 mg/L sólidos suspendidos, concentraciones de $FeCl_3$ 200 ppm

t_R [min]	DQO [mg/L]	% Remoción
0	1248	0
10	1157	7,3
20	1031	17,4
30	943,5	24,4

Tabla B.7. Efecto de la concentración de $Al_2(SO_4)_3$ sobre la remoción de SS. pH 7, concentración de SS 800 mg/L, $t_R = 25$ min.

Concentración $Al_2(SO_4)_3$	Unidad	SS _i [mg/L]	% Remoción SS
0	ppm	800	0
40	ppm	740	7,5
80	ppm	716,8	10,4
120	ppm	535,2	33,1
160	ppm	472	41
180	ppm	300	62,5
240	ppm	60	92,5
280	ppm	67,2	91,6
320	ppm	65,4	91,8

Tabla B.8. Efecto de la concentración de FeCl_3 sobre la remoción de SS. pH 7, concentración de SS 800 mg/L, $t_R = 30$ min.

Concentración FeCl_3	Unidad	SS _i [mg/L]	% Remoción SS
0	ppm	800	0
100	ppm	702,4	12,2
150	ppm	425,6	46,8
200	ppm	171,2	78,6
300	ppm	76,8	90,4
400	ppm	90,4	88,7
500	ppm	109,6	86,3

Tabla B.9. Estudio de la influencia de la concentración de sólidos suspendidos sobre la eficiencia de la remoción. pH = 7 voltaje = 4V, tiempo de electrolisis 10 min, distancia interelectródica = 1cm, superficie efectiva de electrodos 132 cm²

SS ₀ [mg/L]	SS _i [mg/L]	% remoción
100	83,6	16,4
200	159,8	20,1
300	229,2	23,6
400	290,4	27,4
500	357	28,6
600	396,6	33,9

Tabla B.10. Estudio de la influencia de la dimensión de los electrodos sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos. SST = 686 mg/L, pH = 7, voltaje = 4V tiempo de electrolisis 10 min, distancia interelectródica 1 cm

Alto [cm]	Ancho [cm]	A efectiva [cm ²]	SS _i [mg/L]	% remoción
11	12	132	430,808	37,2
11	10	110	441,098	35,7
11	8	88	441,784	35,6
11	6	66	486,374	29,1
11	4	44	532,336	22,4
11	2	22	594,076	13,4

Tabla B.11. Efecto de la distancia interelectródica sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos. SS₀ = 686 mg/L, pH = 7, tiempo de electrolisis = 10 min voltaje = 4V

distancia [cm]	SS _i [mg/L]	% remoción
0,5	493,92	28
1	440,412	35,8
1,5	408,17	40,5
2	454,132	33,8

Tabla B.12. Efecto del tiempo de electrolisis sobre la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos. $SS_0 = 686$ mg/L, pH = 7, voltaje = 4V, distancia interelectrónica = 1,5 cm.

tiempo [min]	SS_t [mg/L]	% remoción
2	558,404	18,6
4	515,186	24,9
6	432,18	37
8	393,764	42,6
10	409,542	40,3
12	421,89	38,5

Tabla B.13. Estudio del efecto del voltaje aplicado sobre la remoción de sólidos suspendidos. $SS_0 = 686$ mg/L, pH = 7, distancia interelectrónica = 1,5 cm, tiempo de electrolisis 8 min.

voltaje [V]	SS_t [mg/L]	% remoción
2	602,308	12,2
4	502,152	26,8
6	288,12	58
8	176,302	74,3
10	78,204	88,6
12	65,856	90,4
14	60,368	91,2

DIMENCIONES SEDIMENTADOR

Tabla B.14. Remoción de SS en función de H y t_R en columna de sedimentación

t_R [min]	% Remoción SS		
	V-1 [40 cm]	V-2 [80 cm]	V-3 [120 cm]
0	0	0	0
5	24,2	21,6	24,5
10	39,4	33,5	33,1
20	80,9	72,6	74
30	91,2	90,5	90,1
40	90,4	88,4	89,4
50	89,6	86,9	89,9
60	90,8	87,1	90,2

Tabla B.15. Tabla de isoporcentaje de remoción de SS

% Remoción SS	Tiempo [min]		
	V-1 [40 cm]	V-2 [80 cm]	V-3 [120 cm]
10	2,51	3,02	2,68
20	5,08	6,08	5,97
30	7,19	8,57	8,11
40	9,16	10,65	10,72
50	11,19	13,14	13,22
60	13,64	15,61	15,82
70	16,28	18,74	19,14
80	20,51	24,21	24,4
90	23,42	28,86	29,32

Tabla B.16. Velocidad de sedimentación efectiva para una altura de 1,2 m

% Remoción SS	tiempo [min]	Vs [m/h]
10	2,94	24,4897959
20	5,97	12,0603015
30	8,11	8,87792848
40	10,72	6,71641791
50	13,22	5,44629349
60	15,82	4,55120101
70	19,14	3,76175549
80	24,4	2,95081967
90	29,32	2,45566166

Tala B.17. Factor de carga en función del t_R para una altura de columna de 1,2 m

t_R [min]	% Remoción SS	Factor de carga [m^3/m^2 dia]
2,94	10	587,755102
5,97	20	289,4472362
8,11	30	213,0702836
10,72	40	161,1940299
13,22	50	130,7110439
15,82	60	109,2288243
19,14	70	90,28213166
24,4	80	70,81967213
29,32	90	58,93587995

ANEXO C
EJEMPLOS DE CÁLCULO

C.1. Calculo del % de remoción de SS.

Para establecer la cantidad de sólidos suspendidos removidos se tiene que:

$$\% \text{ Remoción SS} = 100 - \frac{\text{SS}}{\text{SS}_0} * 100$$

Ejemplo de la Tabla B.1. para un t_R de 25 [min]

Si:

$$\text{SS} = 373,3 \text{ [mg/L]}$$

$$\text{SS}_0 = 636 \text{ [mg/L]}$$

$$\% \text{ Remoción SS} = 100 - \frac{373,3}{636} * 100$$

$$\% \text{ Remoción SS} = 41,3\%$$

C.2. Calculo del % de remoción de DQO.

Para establecer la cantidad DQO removidos se tiene que:

$$\% \text{ Remoción DQO} = 100 - \frac{\text{DQO}}{\text{DQO}_0} * 100$$

Ejemplo de la Tabla B.3. para un t_R de 30 [min]

Si:

$$\text{DQO} = 944 \text{ [mg/L]}$$

$$\text{DQO}_0 = 1248 \text{ [mg/L]}$$

$$\% \text{ Remoción DQO} = 100 - \frac{944}{1248} * 100$$

$$\% \text{ Remoción DQO} = 24,4\%$$

C.3. Calculo de generación de lodos

En base a los datos obtenidos en el punto 7.3.3. se obtiene la producción de lodos en base húmeda (B.H) y seca (B.S), asumiendo los valores máximos para fines de diseño y suponiendo el caudal de diseño de $900 \text{ m}^3/\text{día}$.

$$\text{Lodo}(B.H.) = \frac{1,4[L](B.H.) * 900[\text{m}^3]RIL}{10[L]RIL} \cdot \frac{1}{\text{día}}$$

$$\text{Lodo}(B.H.) = 126,0 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Lodo}(B.S.) = \frac{8,3[\text{g}]\text{lodo}(B.S.)}{1[L]\text{lodo}(B.H.)} * \frac{126,0[\text{m}^3]\text{lodo}(B.H.)}{\text{día}} * 1000 \frac{L}{\text{m}^3} * \frac{1[\text{kg}]}{1000[\text{g}]}$$

$$\text{Lodo}(B.S.) = 1045,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

C.4. Calculo de la velocidad de sedimentación efectiva.

Para determinar la velocidad de sedimentación efectiva presentada en la B.3, es necesario utilizar la expresión:

$$v_s = \frac{H}{t_R}$$

$$v_s = \frac{1,2\text{m}}{2,94 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1\text{h}}$$

$$v_s = 24,5 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

C.5. Cálculo de la carga superficial

Para determinar el valor de la carga superficial, mostrado en la tabla B.4. dado un tiempo de retención es necesario multiplicar el valor de la velocidad de sedimentación por las 24 [h] del día.

$$\text{FactordeC arg a} = v_s * 24 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

$$\text{FactordeC arg a} = 24,5 \frac{\text{m}}{\text{h}} * 24 \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

$$\text{Factor de Carga} = 588 \frac{m^3}{m^2 \text{ día}}$$

C.6. Cálculo de diseño para un sedimentador rectangular.

Para remover un 90% de SS de las aguas de proceso, se tiene que:

$$t_R = 29,3 \text{ [min]}$$

$$\text{Factor de Carga} = 58,9 \text{ [m}^3/\text{m}^2\text{día]}$$

Utilizando un factor de seguridad de 1,35 se tiene que:

$$t_R = 29,6 \text{ min} * 1,35 = 40 \text{ min}$$

$$\text{Factor de Carga} = \frac{58,9 \text{ (m}^3 / \text{m}^2 \text{ día)}}{1,35} = 43,6 \left[\frac{m^3}{m^2 \text{ día}} \right]$$

Con ello:

$$A_s = \frac{Q_{\text{diseño}}}{\text{Factor de Carga}}$$

$$A_s = \frac{900 \text{ [m}^3 \text{ día}^{-1}]}{43,6 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}]} \cong 20,6 \text{ m}^2$$

$$V = Q_{\text{diseño}} * t_R$$

$$V = 900 \frac{m^3}{\text{día}} * 40 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ día}}{24h} \cong 25 \text{ m}^3$$

Considerando que clarea de un sedimentador rectangular esta dada por:

$$A_s = A * L$$

$$\text{y } 2A = L$$

$$A = \sqrt{\frac{A_s}{2}} = \sqrt{\frac{20,6 \text{ m}^2}{2}} \cong 3,2 \text{ m}$$

$$L = 2 * A = 2 * 3,2 \text{ m} \cong 6,4 \text{ m}$$

Con respecto a la altura, se tiene que:

$$V = A_s * H$$

$$H = \frac{V}{A_s}$$

$$H = \frac{25m^3}{20,6m^2} \cong 1,2m$$

C.7. cálculos de diseño de un sedimentador circular.

Para remover un 90% de SS de las aguas de proceso, se tiene que.

$$t_R = 29,3 \text{ [min]}$$

$$\text{Factor de Carga} = 58,9 \text{ [m}^3/\text{m}^2\text{día]}$$

Utilizando un factor de seguridad de 1,35 se tiene que:

$$t_R = 29,6 \text{ min} * 1,35 = 40 \text{ min}$$

$$\text{Factor de Carga} = \frac{58,9 \text{ (m}^3 / \text{m}^2 \text{ día)}}{1,35} = 43,6 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}} \right]$$

Con ello:

$$A_s = \frac{Q_{op}}{\text{Factor de Carga}}$$

$$A_s = \frac{900 \text{ [m}^3 \text{ día}^{-1}]}{43,6 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}]} \cong 20,6 \text{ m}^2$$

$$V = Q_{op} * T_R$$

$$V = 900 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 40 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ día}}{24h} \cong 25 \text{ m}^3$$

Considerando que clarea de un sedimentador cilíndrico esta dado por:

$$A_s = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 20,6m^2}{\pi}} \cong 5,1m$$

$$H = \frac{V}{A_s} = \frac{25m^3}{20,6m^2} \cong 1,2m$$

C.8. calculo dimesionamiento del estanque de acumulación de las aguas de proceso

Cabe recordar que la planta mantiene un proceso continuo, es decir, las unidades generadoras de aguas de proceso trabajan las 24 [h] del día, considerando esto para el diseño del estanque de almacenamiento de las aguas de proceso, se considero un flujo de operación de:

$$Q_{diseño} = 900 \frac{m^3}{día} * \frac{1día}{24h}$$

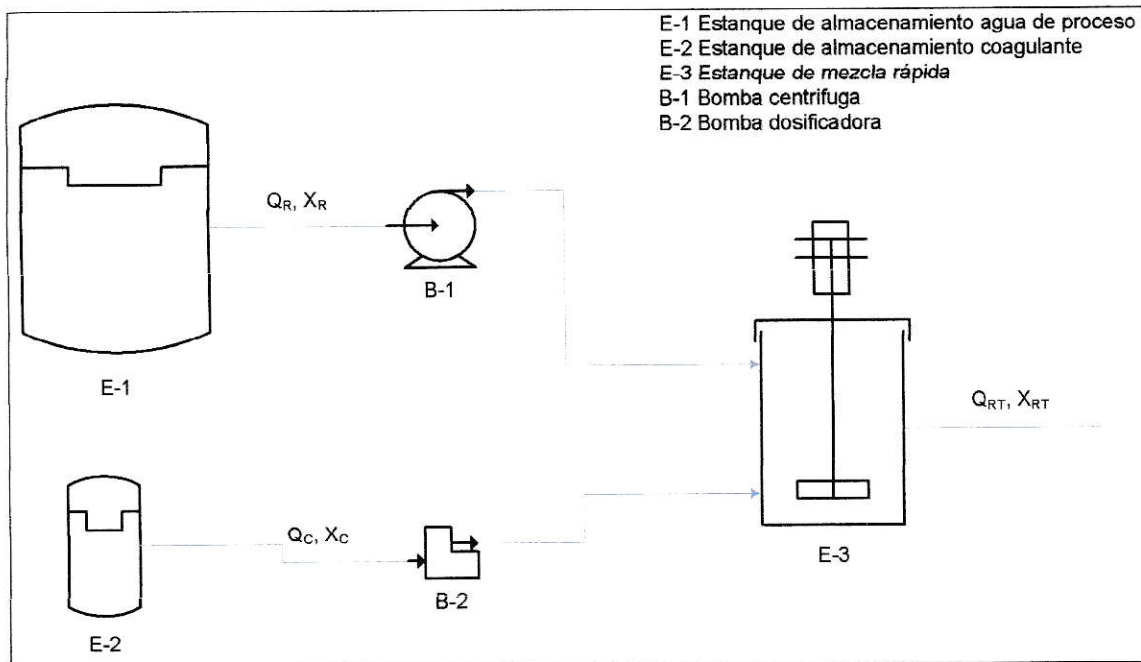
$$Q_{diseño} = 37,5 \frac{m^3}{h}$$

Dado que el t_R adoptado para la unidad de sedimentación es de 40[*min*], con un volumen del estanque de sedimentación de 25[m³], el diseño del estanque de almacenamiento se sobredimensiona con la finalidad de asegurar el funcionamiento del la unidad de tratamiento de aguas de proceso por dos horas y con un volumen de almacenamiento que triplica el volumen del sedimentador.

$$V_R = 37,5 \frac{m^3}{h} * 2h = 75m^3$$

C.9. Calculo del estanque de almacenamiento de coagulante.

Para determinar el volumen requerido por el estanque de almacenamiento de coagulante, es necesario determinar el flujo de alimentación requerido, para lo cual es necesario realizar un balance de masa por componente como se indica a continuación.



Balance de masa:

$$Q_R * X_R + Q_C * X_C = Q_{RT} * X_{RT}$$

Si consideramos una solución madre de $Al_2(SO_4)_3$ de 20000 ppm y dado que la concentración requerida en el estanque de coagulación para la remoción del 90% de SS es de 240 ppm, el caudal de coagulante será:

$$Q_C * X_C = Q_R * X_R$$

$$Q_C = \frac{Q_R * X_R}{X_C}$$

$$Q_C = \frac{Q_R * 240 \text{ ppm}}{20.000 \text{ ppm}}$$

$$Q_C = 0,012 * Q_R \frac{L}{\text{min}}$$

Para efectos prácticos en el diseño del estanque de almacenamiento de coagulante se considera que este debe mantener funcionando de forma autónoma la planta de tratamiento y recirculación de aguas de proceso por 24 [h].

$$V_C = 0,012 * 37,5 \frac{m^3}{h} * 24h$$

$$V_C = 10,8m^3$$

C.10. Calculo dimensionamiento del estanque de mezcla rápida.

Para dimensionar el estanque de mezcla rápida, se considera un tiempo de mezcla de 30 [s], y un caudal igual al caudal de diseño. De esto se desprende que:

$$V_{MR} = Q_{diseño} * t_{op}$$

$$V_{MR} = 37,5 \frac{m^3}{h} * 30seg * \frac{1h}{60min} * \frac{1min}{60seg}$$

$$V_{MR} = 0,3125m^3$$

El volumen útil requerido es de $0,3135m^3$, y para efectos de diseño se sobredimensiona a un volumen de $0,5 m^3$.

ANEXO D
LEGALIDAD APLICABLE AL PROYECTO

El artículo 10 de la Ley de Bases del Medio Ambiente señala: "Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, son los siguientes:

“o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos; ...”

El Proyecto en revisión constituye una actividad de limpieza de aguas de proceso y por lo tanto; de saneamiento ambiental, por cuanto se trata del tratamiento y eliminación de residuos de fibras de celulosa, de carácter orgánicos y de origen industrial. Bajo el concepto integral de Producción Limpia, en este caso particular se pueden convertir en un material utilizable, con valor comercial y beneficioso para el medio ambiente, por cuanto se pueden destinar para la formación de compostaje o directamente aplicados en suelos deteriorados.

D.1 Riesgo para la salud de la población por la cantidad y calidad de las emisiones, efluentes y residuos.

Frente a estos aspectos, a continuación se presenta un análisis que se ordena por las etapas del proyecto y considera los efectos de emisiones a la atmósfera, residuos líquidos, residuos sólidos y ruido en cada etapa.

Etapa de Construcción

- Calidad del aire y emisiones

En términos de alteraciones sobre la calidad del aire, se estima que la habilitación del sitio destinado a la actividad de limpieza de las aguas no generará efectos significativos sobre su entorno, ya que en el galpón no es necesario realizar movimientos de tierra, no se realizará demolición de estructuras. Para la construcción de los estanques se estima que la emisión de material particulado será la mínima; por las características propias del Proyecto.

- Residuos líquidos

No se generarán residuos líquidos a partir de las acciones de construcción de los estanques.

- Residuos sólidos

Los residuos sólidos que se generen a partir de las actividades de construcción, serán residuos no peligrosos y de carácter inerte, como resultan ser los escombros de construcción.

- Emisión de ruido

En lo que se refiere a las emisiones de ruido, no se realizarán actividades que los generen, salvo el uso de maquinarias de utilización habitual en la industria de la construcción: el trompo, la sierra y el martilleo.

Etapa de Operación

- Emisiones atmosféricas

El proceso de limpieza de las aguas de proceso no generará emisiones a la atmósfera; salvo el caso eventual y con una mínima generación de olor al almacenar en un contenedor por dos días el lodo producido. Si se generara alguna emanación de olor; éste será eliminado mediante la estabilización con cal del lodo producido.

- Residuos sólidos

Los residuos sólidos que se generarán a partir de la operación de la planta serán los lodos del Filtro de Banda, los cuales serán almacenados en un contenedor y retirados del recinto dos veces a la semana.

- Residuos líquidos

No se generarán residuos líquidos en la etapa de operación del Proyecto.

- Ruido

Los ruidos que se generen durante la operación de la planta de limpieza de aguas de proceso, corresponderán a aquellos que sean emitidos por el Filtro de Banda y dos veces a la semana por el camión recolector de los lodos. Se estiman que estarán bajo los 70 dB que permite la zonificación aplicable al Proyecto

a) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO considera la remoción, destrucción, excavación, traslado, deterioro o modificación de algún Monumento Nacional de aquellos definidos por la Ley 17.288; Ni la modificación o deterioro en construcciones, lugares o sitios que por sus características constructivas, por su antigüedad, por su valor científico, por su contexto histórico o por su singularidad, pertenecen al patrimonio cultural.

b) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO considera la extracción, explotación, alteración o manejo de especies de flora y fauna que se encuentren en alguna de las siguientes categorías de conservación: en peligro de extinción, vulnerables, e insuficientemente conocidas.

c) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO hay programa de desplazamiento, Ni la reubicación de personas que habitan en el lugar de emplazamiento. No aplica en este proyecto.

d) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO considera afectar la realización de ceremonias religiosas u otras manifestaciones propia de la cultura o del folklore del pueblo, comunidad o grupo humano.

e) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO considera afectar negativamente la presencia de formas asociativas en el sistema productivo, Ni el acceso de la población, comunidades o grupos humanos a recursos naturales.

f) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO considera afectar negativamente el acceso de la población, comunidades o grupos humanos a los servicios y equipamientos básicos.

g) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO considera afectar la presencia de población, comunidades o grupos humanos protegidos por leyes especiales.

h) El proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas:

NO considera intervención de zonas con valor paisajístico y/o turístico, y/o una área declarada zona o centro de interés turístico nacional, según lo dispuesto en el decreto ley N° 1.224 de 1975.

i) A través del proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas

NO se generarán efectos adversos significativos debido a la relación entre las emisiones de los contaminantes generados y la calidad ambiental de los recursos naturales renovables.

El Proyecto no utiliza Fuentes Fijas de Combustión, ni sus procesos generan emisiones de ningún tipo. Los residuos sólidos que se generen serán manejados en forma adecuada.

j) A través del proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas

NO se generarán efectos adversos sobre la calidad de los recursos naturales renovables, considerando para efectos de la evaluación su capacidad de dilución, dispersión, autodepuración, asimilación y regeneración.

Considerando el numeral i) y los antecedentes aportados, el proyecto no contempla producir efectos adversos en la calidad de los recursos naturales renovables.

k) A través del proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas

NO se intervendrá o explotará vegetación nativa. No aplica en este caso.

l) A través del proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas

NO se intervendrá o explotarán recursos hídricos en áreas, Ni zonas de humedales que pudieren ser afectados por el ascenso o descenso de los niveles de aguas subterráneas que contienen aguas milenarias y/o fósiles; Ni lagos o lagunas en que se generen fluctuaciones de niveles.

m) A través del proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas

NO se explotarán, Ni intervendrán recursos hídricos de una cuenca o subcuenca hidrográfica transvasada a otra.

n) A través del proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas

NO se introducirán al territorio nacional especies de flora o fauna, u organismos modificados genéticamente o mediante otras técnicas similares.

o) A través del proyecto, incluidas sus obras y/o acciones asociadas

NO se generarán aumentos o cambio significativos de los índices de población total; de la distribución urbano rural; de la población económicamente activa; y/o distribución por edades y sexo.

p) A través del proyecto:

NO se producirá obstrucción de la visibilidad a zonas con valor paisajístico.

q) A través del proyecto:

NO se alterarán recursos o elementos del medio ambiente de zonas con valor paisajístico o turístico.

r) A través del proyecto:

NO se generará una obstrucción del acceso a los recursos o elementos del medio ambiente de zonas con valor paisajístico o turístico

D.2 PLAN DE CUMPLIMIENTO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE

El análisis y revisión del cumplimiento de la legislación ambiental aplicable al presente proyecto, constituye un estudio de las disposiciones ambientales que obligan de una u otra forma al titular de un proyecto y, por sobre todo, informar a la autoridad las medidas que el

responsable adoptará para satisfacer los requerimientos y exigencias impuestas por la legislación vigente.

7.9.1 Legislación ambiental de carácter general aplicable a la actividad

- a) Ley N° 19.300, Ley de Bases del Medio Ambiente. Publicada en el Diario Oficial el 09 de Marzo de 1994.**

Materia

La Ley de Bases, como su nombre lo indica, define los aspectos básicos relativos al medio ambiente y a su protección y preservación.

Para estos fines, establece los instrumentos que dispondrá la autoridad. Entre ellos, la Ley de Bases crea el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), a cuyo régimen se somete la presente Declaración. Además, se refiere a la fiscalización, sanción y a la responsabilidad legal que, para el autor de un daño ambiental, ésta envuelve.

Relación con la Actividad.

Las disposiciones referidas son aplicables a cualquier proyecto o modificación de una actividad existente, que se desarrolle dentro del territorio de la República.

Forma de Cumplimiento

Schorr & Concha S.A. dará cumplimiento oportuno a las obligaciones legales y a las que emanen del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental establecido en el D.S. 95 /01, y sus modificaciones posteriores, que detalla el Reglamento del SEIA.

D.2.1 Legislación ambiental específica aplicable a la actividad.

- a) Resolución N° 1215, Normas Sanitarias Mínimas Destinadas a Prevenir y Controlar la Contaminación Atmosférica, de fecha 22 de Junio de 1978, del Ministerio de Salud (No publicada en el Diario Oficial)**

Materia

Las disposiciones de esta resolución se aplican a todo el territorio del país y tienen por objeto proveer a los diversos niveles de salud, los fundamentos técnicos y administrativos del sistema de prevención y control de la contaminación atmosférica.

Señala normas de calidad del aire para todo el territorio del país, fijando las concentraciones máximas para partículas en suspensión (PTS), anhídrido sulfuroso (SO₂), monóxido de carbono (CO), oxidantes fotoquímicos (O₃) y dióxido de nitrógeno (NO₂). A continuación agrega que, aquellas fuentes de contaminación atmosférica que emitan sustancias para las cuales no hay normas de emisión, deberán adoptar sistemas de control del o los contaminantes basados en la mejor tecnología disponible.

Contiene también prohibiciones y exigencias generales. Establece que la autoridad sanitaria podrá exigir al responsable de una fuente emisora, la instalación y operación de equipos automáticos de medición y registro, para verificar las cantidades de contaminantes emitidos. Por otra parte, obliga a los titulares de las fuentes emisoras a controlar y comprobar la cantidad y calidad de contaminantes atmosféricos que emiten por chimenea.

Aplicabilidad

Tal como fuera indicado al inicio de esta sección, esta Resolución no ha sido publicada en el Diario Oficial, cuestión que le resta eficacia jurídica a la norma. Por lo tanto, la fuerza que ella pueda adquirir para el titular de un proyecto arranca exclusivamente de la circunstancia que, entera o parcialmente, las obligaciones que ella impone sean asumidas como un compromiso voluntario en la forma que lo establece el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Relación con la actividad

La actividad no generará emisiones atmosféricas a las que se refiere la resolución en comentario.

- b) Decreto Supremo N° 144: Establece Normas para Evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos de Cualquier Naturaleza, de fecha 02 de Mayo de 1961, del Ministerio de Salud, publicada en el Diario Oficial el 18 de Mayo de 1961.**

Materia

Este Decreto regula las emisiones de gases, vapores, humos, polvo, emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza, producidos en cualquier establecimiento fabril o lugar de trabajo. Dispone que éstos deberán captarse o eliminarse en forma tal que no causen daños o molestias al vecindario.

Relación con la Actividad

La actividad no generará emisiones atmosféricas a las que se refiere este Decreto, salvo el eventual y mínima generación de olor al almacenar en un contenedor por dos días el lodo producido.

Forma de Cumplimiento

Si se produjera alguna emanación de olor; éste será eliminado mediante la estabilización con cal del lodo generado.

c) Decreto Supremo N° 594/99, del Ministerio de Salud, Reglamento sobre Condiciones Sanitarias Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.

Materia

En virtud de las disposiciones que establece el Código Sanitario, este reglamento se refiere a las condiciones sanitarias y ambientales que debe reunir un lugar de trabajo. En dicho contexto, el reglamento también se refiere al manejo de los residuos sólidos y líquidos que

resulten de la actividad, desde el momento de su generación, hasta su eliminación o disposición final, sea ésta dentro o fuera del recinto de la Planta.

Relación con la actividad y Forma de Cumplimiento

Se generarán residuos sólidos en forma de lodos a partir del proyecto. Este será dispuesto en conformidad con la autoridad ambiental y sanitaria, en un relleno sanitario autorizado. Por otra parte, puede ser comercializado para la producción de compostaje o bien, como mejorador de suelos deteriorados.

En lo que se refiere a las condiciones mínimas que debe reunir toda faena, en su calidad de lugar de trabajo, ya existen las instalaciones básicas exigidas, dado que la actividad se inserta en un proyecto y una empresa donde se da cabal cumplimiento a la legislación vigente en materia laboral.

- d) Decreto Supremo N° 146, Establece Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas, elaborada a partir de la Revisión de la Norma de Emisión Contenida en el Decreto N° 286, de 1984, del Ministerio de Salud Pública, publicado en el Diario Oficial el 14 de Diciembre de 1984**

Materia

Establece los niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos generados por fuentes fijas. Adicionalmente, establece los criterios técnicos que permitirán la evaluación y calificación de los ruidos generados por fuentes fijas.

Relación con la actividad

Los ruidos que se generen durante la operación de la planta de limpieza de aguas de proceso, corresponderán a aquellos que sean emitidos por el Filtro de Banda y dos veces a la semana por el camión recolector de los lodos.

Forma de Cumplimiento

El Proyecto está emplazado al interior de un galpón en una Zona Tipo IV; donde se permite hasta un máximo de 70 dB las 24 horas del día. Sin embargo; el sistema de tratamiento no generará ruidos molestos.

- e) DS N° 148/03, establece condiciones sanitarias y de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reuso, reciclaje, disposición final y otra forma de eliminación de residuos peligrosos, MINSAL, publicado en el diario oficial el 16 de junio de 2004.**

No aplica al proyecto ya que declara como no peligrosos los residuos que genera la industria recicladora de papel y cartón; tal afirmación se constata en su Artículo 90 Lista B, sobre Residuos No Peligrosos en la clasificación B3020: residuos de papel, cartón y productos del papel.

D.3 PERMISOS AMBIENTALES SECTORIALES

Para efectos de los proyectos que se someten al SEIA, el legislador ha establecido que los permisos ambientales sectoriales son aquellos que están contenidos en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, en su Título VII.

Permiso para tratar y disponer residuos o basuras de cualquier clase, descrito en el Artículo 93 letras a) y c) del Reglamento del SEIA

Conforme lo dispone el artículo 93 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, es permiso ambiental el contenido en el artículo 79 y 80 del Código Sanitario, el que señala que la instalación de cualquier planta de tratamiento y disposición final de residuos requiere la aprobación previa del proyecto de instalación de la misma.

Schorr & Concha S.A. tramitará ante la CONAMA de la Región del Maule la solicitud para obtener la autorización que le permita disponer de los lodos de carácter no peligroso, que se generarán producto de la limpieza de las aguas de proceso para su recirculación y ser utilizadas nuevamente en la fabricación de papel y cartón corrugado.

La empresa tramitará posteriormente ante la SEREMI de Salud la fracción sectorial del permiso para disposición final de los lodos y su transporte.

ANEXO E
FICHA DE SEGURIDAD COAGULANTES

08/24/2006 10:05 0255674E7

DROG. MICHELSON S.A.

PAG. 01

Se. UCTOC CASICA

Fax. 200 90 13 11

DROGUERÍA MICHELSON S.A.
 ANTONIO SECCHI # 037
 FONOS: 5566098 - 5566205
 FAX: 5567457
 ÑUÑO A - SANTIAGO

CERTIFICADO DE ANALISIS SULFATO DE ALUMINIO REFINADO

Lote 20126256

Análisis:

• % Material Insoluble en agua	0.01
• Alúmina soluble total (Al ₂ O ₃)	17.0
• Hierro total soluble en agua (Fe ₂ O ₃)	< 0.1
• Acidez libre (% H ₂ SO ₄)	< 0.1
• % que pasa tamiz 10	> 90

Nota: el presente certificado es una copia fiel del original aportado por nuestro proveedor.



vºbº Droguería Michelson S.A.

08/24/2006 10:05 025567457

DROG. MICHELSON S.A.

PAG. 02

C.A. Victor Estay

Fax: 5567457

DROGUERÍA MICHELSON S.A.
 ANTONIO SECCHI # 037
 FONOS: 5566098 - 5566205
 FAX: 5567457
 ÑUÑO A - SANTIAGO

CERTIFICADO DE ANALISIS
CLORURO FERRICO AL 39 - 45 %

Lote 20360316

Análisis:

Cloruro Ferrico	40,3 %
Fierro (2)	0,86 %
Acidez (HCl)	0,11 %
Densidad a 20 °C	1,423 gr/cc

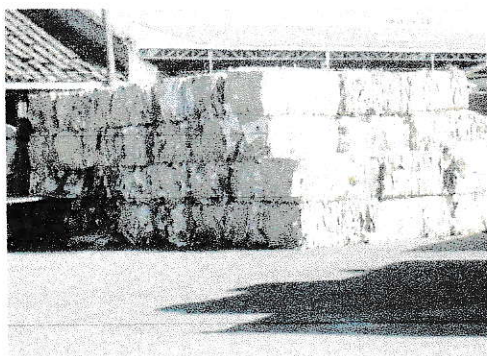
Nota: el presente certificado es una copia fiel del original aportado por nuestro proveedor.



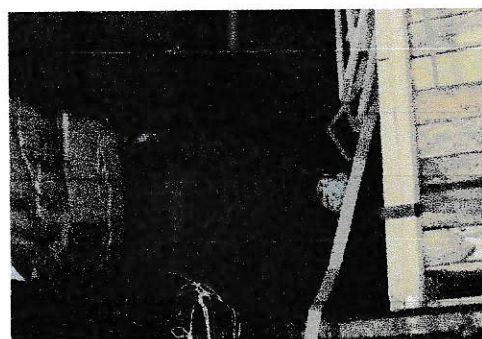
15/08/2006
 Droguería Michelson S.A.

Anexo F

IMÁGENES



Fardos de papel reciclado
(materia prima)



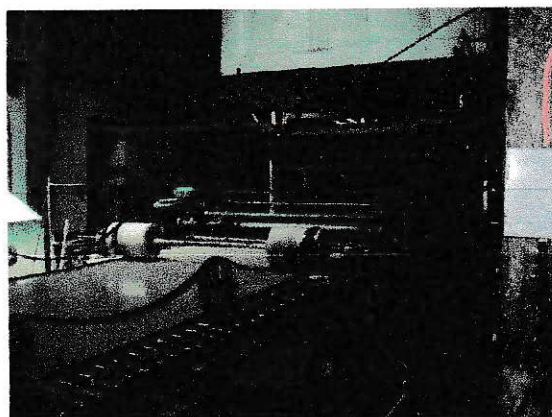
Hidropulper



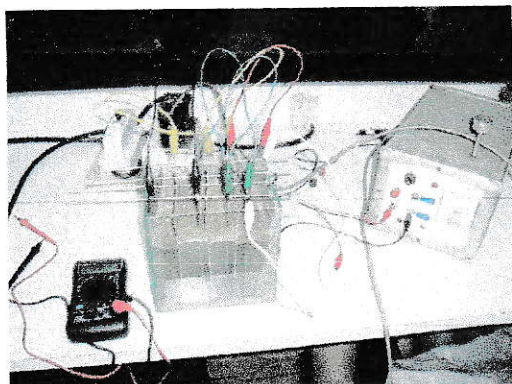
Descarga Hidropulper



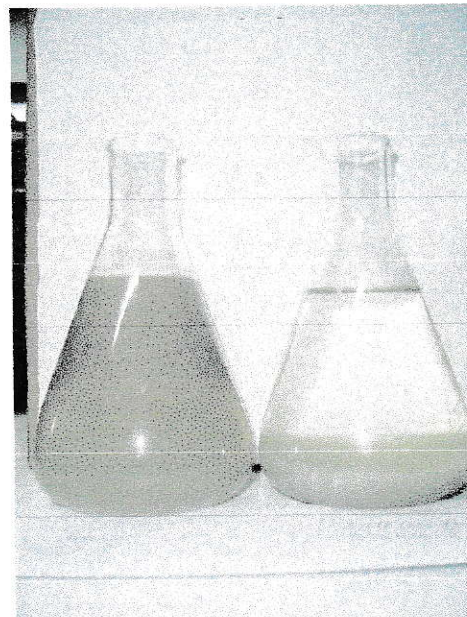
Residuos Hidropulper



Máquina Papelera



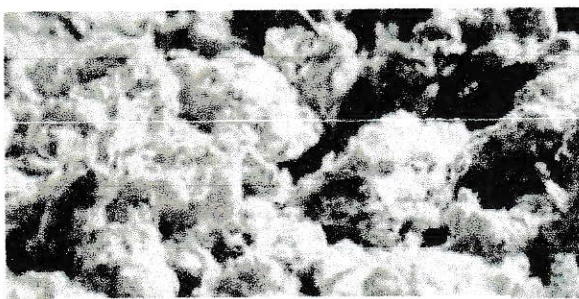
Configuración ensayos electrocoagulación



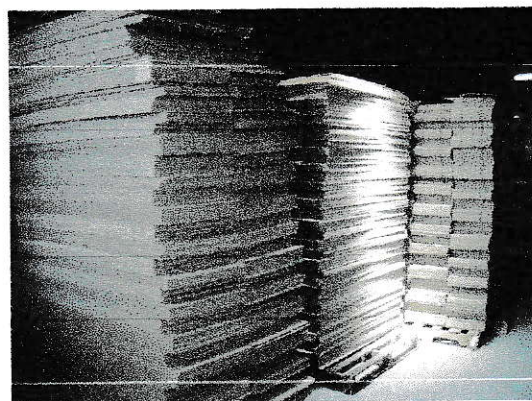
Remoción de SS con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



Remoción de SS mediante electrocoagulación



Fibra celulósica



Bodega de productos terminados