

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA
DE CURTIEMBRE MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS
ACTIVADOS A ESCALA PILOTO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO**

PRESENTADO POR:

**ALFREDO MARIANO VILLEGAS ORIHUELA
CARLOS ROBERTO ALVAREZ JARA**

LIMA - PERU

2008

DEDICATORIA

A mis Padres y a mis hermanos por el apoyo
Empeño y Comprensión.

CARLOS ALVAREZ JARA.

A mis padres por su amor y apoyo incondicionales
Y a mis hermanas por su empeño, paciencia y ejemplo.

ALFREDO VILLEGAS ORIHUELA

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a muchas personas que contribuyeron de una u otra manera en la realización de esta tesis. Dentro de ellas a nuestras familias, Familia Alvarez Jara y Villegas Orihuela, y hermanos.

Agradezco a mis amigos Manuel Percca, José Erazo, Pedro Navarro, Jorge Moscozo y Mario Aguilar por el apoyo en la tesis durante los meses de trabajo.

Del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, muy especialmente al Sr. Ricardo Jara por su cooperación y apoyo durante toda la tesis.

De la curtiembre muy especialmente a la Familia Macchiavello por su amabilidad, apoyo y cooperación.

RESUMEN

El agua residual industrial de curtiembre, se caracterizan por presentar alta contaminación orgánica y tóxica asociada a sales, sulfuro y cromo. Ello constituye un problema desde el punto de vista ambiental y para la sobrevivencia de las curtiembres que no cumplen con las exigencias de descarga de sus aguas industriales.

El objetivo de este estudio fue determinar experimentalmente el tratamiento Biológico directo del efluente de una Curtiembre mediante el proceso de Lodos Activados para determinar cuan efectivo es la remoción de carga orgánica contaminante y reducción de cromo, así como establecer los parámetros de operación de una planta de tratamiento biológico para las aguas industriales generados en una industria de curtiembre que descarga a sistemas de alcantarillado público.

Se utilizó agua residual industrial global de una curtiembre local, sometido a una separación de sólidos en unidades de sedimentación existentes y una sedimentación preliminar. El procedimiento consistió en realizar una operación batch de un sistema a escala piloto instalada en la curtiembre. Se alimentó con concentraciones de DQO entre 1,920 y 2,400 mg DQO/lit, obteniendo los siguientes parámetros óptimos de operación: TRH de un día¹, F/M entre 0.80 y 3.8 Kg de DQO/ Kg de SSVLM x día, Velocidad de Carga Orgánica entre 1.92 a 2.40 kg DQO /m³.día y biomasa activa entre 560 y 2,160 mg SSVLM/lit, con una edad de lodo sobre 15 días. El sistema logró remover sobre un 66% de materia orgánica en promedio llegando a picos de 80.21%, expresada como DQO.

Los antecedentes obtenidos en este estudio permiten concluir que a través de un tratamiento biológico mediante lodos activados al agua residual industrial, es factible dar cumplimiento a las exigencias de la normativa de descarga (DS N°003-PRODUCE), constituyendo una alternativa real de tratamiento para la curtiembre.

¹ Tiempo de Retención hidráulico tomado de la investigación de Vidal, Bornhardt (2004). "Combinación De Procesos Biológicos Y Oxidación Avanzada Para El Tratamiento De Una Corriente De Proceso De La Industria De Curtiembre"

INDICE

Capítulo I:	INTRODUCCIÓN	PAG.01
Capítulo II:	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	PAG.03
	2.1 Planteamiento del problema	PAG.03
	I. Planteamiento	PAG.03
	II. Identificación del Problema	PAG.04
	III. Justificación de la Investigación	PAG.04
	2.2 Objetivo Principal	PAG.05
	2.3 Objetivos Secundarios	PAG.05
	2.4 Hipótesis	PAG.05
	2.5 Variables del Estudio	PAG.05
	2.6 Antecedentes de la Investigación	PAG.06
Capítulo III:	MARCO TEÓRICO	PAG.09
	3.1 Reseña Histórica: Industria de la Curtiembre	PAG.09
	A. Ribera	PAG.09
	B. Curtido	PAG.11
	C. Terminación	PAG.13
	3.2 Medidas de Prevención de la Contaminación en la Industria de Curtiembre	PAG.13
	3.3 Antecedentes y Consideraciones Relativas al Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de Curtiembre	PAG.15
Capítulo IV:	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	PAG.19
	4.1 Tratamiento Biológico	PAG.19
	4.2 Tratamiento de Lodos Activados	PAG.20
	4.2.1 Descripción del Proceso	PAG.21

4.2.2	Parámetros de Operación de un Sistema de Lodos	
	Activados	PAG.24
4.2.2.1	Criterios de Carga	PAG.24
4.2.2.2	Producción de Lodo	PAG.27
4.2.2.3	Índice Volumétrico de Lodos (IVL)	PAG.28
4.2.2.4	Las Necesidades de Nutrientes	PAG.28
4.3	Otros tipos de Tratamientos Biológicos	PAG.29
4.3.1	Modificaciones del Proceso Convencional de Lodos	
	Activados	PAG.29
4.3.1.1	Aireación Prolongada	PAG.29
4.3.1.2	Contacto-Estabilización	PAG.31
4.3.1.3	Aireación Escalonada	PAG.32
4.3.1.4	Aireación Descendente	PAG.33
4.3.1.5	Proceso Kraus	PAG.34
4.3.1.6	Aireación de Alta Carga	PAG.34
4.3.1.7	Aireación con Oxígeno Puro	PAG.35
4.3.2	Lagunas Aireadas	PAG.37
4.3.2.1	Lagunas de Mezcla Completa	PAG.37
4.3.2.2	Lagunas Facultativas	PAG.38
4.3.3	Lagunas de Estabilización	PAG.38
4.3.4	Filtros Percoladores	PAG.40
4.3.5	Biodiscos	PAG.41
Capítulo V:	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	PAG.44
5.1	Ubicación de la Planta Piloto de Lodos Activados	PAG.44
5.2	Descripción General de la Planta Piloto de Lodos Activados	PAG.45
5.3	Materiales de Fabricación	PAG.46
5.4	Criterios de Diseño	PAG.47
5.4.1	Determinación de Parámetros Biocinéticos	PAG.47
5.4.2	Criterios Técnicos en la Construcción de la Planta de	
	Lodos a Escala Piloto	PAG.61
5.4.2.1	Sedimentador Primario	PAG.61

5.4.2.2 Reactor Biológico y Sedimentador Secundario	PAG.62
5.5 Forma, Partes y Dimensionamiento de las unidades de la Planta de Lodos Activados	PAG.62
5.5.1 Sedimentador Primario	PAG.62
5.5.2 Reactor Biológico	PAG.63
5.5.3 Sedimentador Secundario	PAG.64
5.5.4 Canal de Recolección y Cámara de Reunión de Agua Tratada	PAG.64
5.5.5 Toma de muestras de las unidades "Reactor Biológico, Sedimentador Secundario y Cámara de Reunión"	PAG.65
Capítulo VI: PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE LODOS A ESCALA PILOTO	PAG.66
6.1 Implementación de la Planta de Lodos Activados	PAG.66
6.1.1 Caracterización del Agua Residual Industrial de la Curtiembre	PAG.66
6.1.2 Composición del Lodo proveniente de la PTAR de Pte Piedra.	PAG.67
6.1.3 Acondicionamiento del Agua Industrial	PAG.68
6.1.4 Puesta en Marcha de la Planta de Lodos Activados	PAG.69
6.2 Programa de Monitoreo del Sistema de Lodos Activados	PAG.71
6.3 Pruebas realizadas	PAG.72
Capítulo VII: DISCUSION DE LA METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESULTADOS OBTENIDOS	PAG.76
7.1 Sistema de Lodos Activados a nivel Piloto	PAG.76
7.2 Control del Proceso	PAG.82
7.3 Características del efluente tratado	PAG.82

Capítulo VIII: CONCLUSIONES	PAG.84
Capítulo IX: RECOMENDACIONES	PAG.85
Capítulo X: BIBLIOGRAFÍA	PAG.87
Capítulo XI: ANEXOS	PAG.89
A. RESULTADOS	PAG.90
B. MARCO LEGAL	PAG.101
C. TRABAJO DE INVESTIGACION	PAG.105

TABLAS

TABLA 3.3. Ventajas y Desventajas del Sistema Aerobio y Anaerobio (stephenson, etal,2000)	PAG.20
TABLA A.7 Características operacionales de los procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.625].	PAG.36
TABLA A.8 Parámetros de diseño para procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.626].	PAG.36
TABLA 4.4. Concentraciones Promedios del Agua Industrial de la Curtiembre	PAG.48
TABLA 4.4.1. Resultados del Lodo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Puente Piedra (Lodo Crudo)	PAG.49
TABLA 4.4.2. Concentraciones Promedias en el Tratamiento del Agua Industrial de la Curtiembre	PAG.50
TABLA 4.4.2.-I. Cuadro de Resumen	PAG.51
TABLA 4.4.3. Parámetro Biocineticos	PAG.53
TABLA 6.1.1. Concentraciones promedios del Agua Industrial de la Curtiembre	PAG.67
TABLA 6.1.2. Resultados del Lodo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Puente Piedra (Lodo Crudo)	PAG.67
TABLA 6.1.3. Caracterización del Agua Industrial de la Curtiembre en Ph	PAG.68
TABLA 6.1.3.1. Caracterización del Agua Industrial de la Curtiembre en Ph	PAG.69
TABLA 6.1.4. Concentraciones de Cr+6 del Agua Residual Industrial Crudo	PAG.71
TABLA 6.2. Parámetros de Monitoreo	PAG.72
TABLA 7.3. Composición del agua residual industrial crudo y tratado, en comparación a los Límites Máximos Permitidos por el DS N°003	PAG.83
TABLA A.1. Resultados análisis DQO afluente, DQO efluente, SSVLM, % Remoción y velocidad de carga orgánica obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala de Piloto.	PAG.90
TABLA A.2. Resultados análisis F/M, IVL obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.	PAG.92
TABLA A.3. Resultados análisis SST, SSV en licor mezclado obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.	PAG.94
TABLA A.4. Resultados análisis Oxigeno Disuelto, PH y T°C reactor obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.	PAG.96
TABLA A.5. Resultados análisis TRH y SST efluente obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.	PAG.98
TABLA A.6. Resultados análisis Ph y T°C efluente obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.	PAG.99

FIGURAS

FIGURA 3.1. Diagrama del Proceso General de Curtido con Cromo	PAG.10
FIGURA 4.2.1 Diagrama de Flujo de un Proceso Convencional de Lodos activados (Ramalho, 1993)	PAG.21
FIGURA 4.3.2.-a Proceso convencional de aireación prolongada [Ramalho, 1996, p.414].	PAG.30
FIGURA 4.3.2.-b Canal de oxidación [Ramalho, 1996, p.415].	PAG.31
FIGURA 4.3.3.-a Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529].	PAG.31
FIGURA 4.3.4.-a Proceso de aireación escalonada [Ramalho, 1996, p.426].	PAG.33
FIGURA 4.3.6.-a: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529]	PAG.34
FIGURA A.4.3.8-a Esquema de un sistema de tratamiento de fangos activados, con oxígeno puro [Metcalf and Eddy, 1977, p.532].	PAG.35
FIGURA 4.3.2. Regimenes de mezcla de las lagunas aireadas [Ramalho, 1996, p.438].	PAG.38
FIGURA A.4.3.3. Relación simbiótica cíclica entre algas y bacterias	PAG.39
FIGURA A.4.3.4. Filtro percolador [Stenco, 2000, p.358]	PAG.41
FIGURA A.4.3.5. Esquema de una unidad RBC típica [Ramalho, 1996, p.494].	PAG.42
FIGURA N° 5.1: Ubicación de la Planta Piloto de Lodos activados	PAG.44
FIGURA N° 5.2: Vista de la Planta Piloto de Lodos Activados	PAG.57
FIGURA N° 5.3: Corte Longitudinal de la Planta Piloto de Lodos Activados	PAG.58

GRAFICOS

GRAFICO 4.4. Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión	PAG.59
GRAFICO 7.1. % de remoción de DQO obtenida en el Sistema Piloto	PAG.77
GRÁFICO: 7.1.1. Relación entre F/M y remoción de materia orgánica en sistema a nivel de Piloto	PAG.79
GRÁFICO A.1 DQO afluente, DQO efluente obtenida en el Sistema Piloto	PAG.91
GRÁFICO A.1.1. % de remoción de DQO obtenida en el Sistema Piloto	PAG.91
GRÁFICO A.2 F/M obtenida en el Sistema Piloto	PAG.93
GRÁFICO A.2.1. % IVL obtenida en el Sistema Piloto	PAG.93
GRÁFICO A.3 SST y SSL en licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto	PAG.95
GRÁFICO A.3.1. %(SSV/SST) en licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto	PAG.95
GRÁFICO A.4 OD licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto	PAG.96
GRÁFICO A.4.1. Ph licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto	PAG.97
GRÁFICO A.4.2. T°C licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto	PAG.97
GRÁFICO A.5 SST efluente obtenida en el Sistema Piloto	PAG.98
GRÁFICO A.6 Ph efluente obtenida en el Sistema Piloto	PAG.100
GRÁFICO A.6.1. T°C efluente obtenida en el Sistema Piloto	PAG.100

FOTOS

FOTO N° 5.2.1: Vista de la Planta de Lodos Activados	PAG.46
FOTO. N° 5.4: Esquema Preliminar para la determinación de los parámetros biocinéticos en el diseño de la Planta de Lodos Activados.	PAG.47
FOTO. N° 5.5: Sedimentador Primario	PAG.63
FOTO N° 5.5.1: Reactor biológico y Sedimentador Secundario	PAG.63
FOTO N° 5.5.2: Cámara de reunión	PAG.64
FOTO N° 6.1.4.: Puesta en marcha de Planta de lodos Activados	PAG.70

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La industria del cuero en América Latina en general corresponde a pequeñas y/o medianas empresas, y en la mayoría de los casos, producen severos problemas medioambientales, como el del agua residual contaminada con altas concentraciones de materia orgánica, sulfuro y cromo, que pueden alcanzar niveles tóxicos.

En Perú se promulgó, en el año 2002, el Decreto Supremo N° 003, Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Estas normativas han generado en los sectores industriales una mayor preocupación por el tema ambiental, dedicándose recientemente mayor esfuerzo y dinero en resolver los problemas generados por las descargas del proceso. Sin embargo, el costo de ello puede ser excesivo, sobre todo para las pequeñas y medianas industrias.

Actualmente, las empresas de cueros tienen como objetivo aproximarse por la vía de las técnicas de prevención de la contaminación al DS N°003-2002-PRODUCE, lo que se traduce en agotar las posibilidades de reducir en el origen, en especial en lo que dice relación con los consumos de agua y la carga de sustancias contaminantes (sulfuro y cromo). A pesar de estos esfuerzos, de todas formas se genera una corriente residual con alta carga orgánica, que sobrepasa los límites, y por tanto, requiere de un tratamiento final antes de su descarga.

En este marco, se han estado realizando estudios que permiten identificar los puntos de contaminación, que involucra una caracterización completa de las líneas de proceso (flujos, parámetros fisicoquímicos y una identificación de residuos), como requisito previo para una solución fiable a los problemas de contaminación.

Desde un punto de vista ambiental, el rubro curtiembre siempre ha sido mirado como una industria contaminante neta, sin tener en cuenta que aprovecha un subproducto altamente putrescible y de biodegradación lenta. Ahora bien, es cierto que el proceso del curtido genera una importante carga contaminante, sin embargo, tomando las medidas y precauciones necesarias, esta puede contrarrestarse adecuadamente. Estas en su mayoría son de fácil aplicación y más aún, producen reducciones en los costos y mejoras productivas.

Finalmente, las soluciones a los problemas de contaminación vienen a través de una combinación de medidas preventivas y de control de la contaminación. Así se logran importantes ahorros y en definitiva se optimizan los recursos.

CAPITULO II

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

I. PLANTEAMIENTO

En las curtiembres, desde el punto de vista económico, adoptar medidas para controlar la contaminación de las aguas residuales, representa un costo que no todas las empresas están dispuestas a asumir.

La problemática de las empresa Curtiembres es que descarga sus Residuos líquidos Industriales al sistema público de alcantarillado, por lo tanto debe cumplir con las exigencias sanitarias del DECRETO SUPREMO N° 003-2002-PRODUCE, lo que actualmente no ocurre, de tal manera que para las empresas es necesario la introducción de nuevas tecnologías a los procesos y alternativas que permitan cumplir las exigencias ambientales normadas. Si bien se han realizado trabajos en esta industria con la finalidad de evaluar factibilidad de optimización del proceso y reutilización de aguas de proceso que permitan reducir la contaminación en forma limitada, realizándose en estos momentos sólo la reutilización de agua en alguna de las etapas del proceso y la reducción en la dosis de productos químicos utilizados como el sulfuro.

Se busca con este estudio obtener un efluente con bajo contenido en materia orgánica contaminante y que cumpla con las

características que exige el DS N° 003-PRODUCE para efluentes vertidos al sistema de alcantarillado.

II. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

La industria de curtiembre por ser una empresa dedicada al rubro de cueros y pieles son generadores de grandes cantidades de aguas residuales industriales que son vertidas directamente o tienen un tratamiento primario para sus aguas.

No existe una industria del Sector Curtiembre con un tratamiento adecuado de sus aguas residuales, por lo que se plantea una investigación, mediante un Sistema de Tratamiento Biológico de Lodos Activados en la remoción de la materia orgánica biodegradable y reducción del cromo.

III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

Esta investigación permitirá determinar las ventajas de un Tratamiento Biológico directo al efluente global con la reducción de los contaminantes orgánicos.

Asimismo el Tratamiento Biológico contribuye a la mitigación de la contaminación directa a los cuerpos receptores y al sistema de alcantarillado consiguiendo que sus efluentes cumplan con la normativa vigente ambiental dictado por el Estado Peruano.

Por ultimo, esta investigación tiene como objetivo determinar su factibilidad técnica, económica y determinar los parámetros de diseño para una planta de tratamiento industrial.

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL:

- ✓ Determinar experimentalmente el tratamiento Biológico directo del efluente de una Curtiembre mediante el proceso de Lodos Activados para determinar cuan efectivo es la remoción de carga orgánica contaminante y reducción de cromo.

2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- ✓ Establecer los parámetros de diseño para una Planta de Tratamiento de efluentes industriales de una Curtiembre.
- ✓ Establecer los parámetros de operación y funcionamiento de una planta piloto.

2.4 HIPÓTESIS:

- ✓ La hipótesis de trabajo indica que el tratamiento Biológico mediante el proceso de Lodos Activados de los efluentes de la Curtiembre debería producir una reducción de la gran parte de los contenidos contaminantes del efluente global del proceso de curtido, especialmente materia orgánica (DBO).

2.5 VARIABLES DEL ESTUDIO:

Con relación a los indicadores de contaminación, se han considerado para el proceso de monitoreo, las siguientes variables:

- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- ✓ Sólidos Totales (ST).
- ✓ Sólidos Suspendidos Totales (SST).
- ✓ Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)
- ✓ Sólidos Sedimentables
- ✓ Aceites y Grasas

- ✓ Cromo (Cr)
- ✓ Sulfuros
- ✓ Sulfatos
- ✓ Ph
- ✓ Oxígeno Disuelto (O.D.)
- ✓ Temperatura
- ✓ Tiempo Retención Hidráulico.

2.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Se han encontrado evidencias de trabajos realizados al tratamiento de aguas industriales de curtiembres. A continuación se detalla cada uno de estos casos:

I. ITALIA: En los años 70's empezaron a construirse depuradoras industriales en Italia, el proceso que se aplicaba era físico químico.

La dosificación de floculantes, previo ajuste del pH de la mezcla de aguas de tenería, permitía la eliminación del S.S. y de una parte importante del DQO, requería elevadas dosis de cal y floculantes (Cl_3Fe o sales de aluminio) que aumentaban la conductividad e incrementaban la cantidad de fangos.

En los años 80's se empezó a aplicar el tratamiento oxidativo de los baños de pelambre separados para transformar los sulfuros en sulfatos y evitar así el desprendimiento de sulfhídrico. Dichos tratamientos pueden realizarse a nivel de empresa o en la depuración conjunta, pero aún hoy es indispensable.

A partir de 1985 se empieza a aplicarse el procedimiento de depuración biológica directa en aguas de curtidos, con resultados sorprendentes.

Esta planta recogía las aguas de diversas tenerías, que habían sido desulfuradas, y las sometía al siguiente proceso:

- Homogeneización
- Decantación primaria
- Biológico, con nitrificación y desnitrificación
- Decantación secundaria

Este es el camino que han ido siguiendo todas las plantas industriales y prácticamente todas en este momento tienen como base una depuración biológica directa con tratamientos previos de desulfuración, homogeneización, y en algún caso un tratamiento terciario de afino de la DQO final y rectificación del color, debido siempre a la baja biodegradabilidad de algún colorante o producto curtiente. Esta solución es la que hoy en día está funcionando en Italia y España, en concentraciones industriales.

II. CHILE: En Chile se describe en textos e investigaciones los tratamientos directos de esta agua industriales a través de procesos Biológicos previa tratamiento preliminar y tratamiento primario obteniendo resultados favorables con alta reducción de las cargas contaminantes. La Universidad de La Frontera, Temuco juntamente con la Universidad de Concepción financiaron un trabajo de investigación denominado: *“Combinación de procesos biológicos y oxidación avanzada para el tratamiento de una corriente de proceso de la industria de curtiembre”*

III. BRASIL: Existen investigaciones realizadas a estos tipos de aguas industriales mediante métodos diversos y Estudios sobre Reducción de contaminación ambiental de las Industrias de Curtiembres. En el XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental se presentó una investigación relacionado al tratamiento de aguas provenientes de Curtiembres a través de Contactores Biológicos Rotatorios (CBR) que realizaba operaciones de recurtimiento y pulido:

“Esta investigación tiene por objetivo plantear una investigación de un sistema de tratamiento basado en el proceso de Contactores Biológicos Rotatorios, con la opción de un pre tratamiento de Reactor Acidogénico para el tratamiento del efluente de un curtiembre que realiza sus operaciones de recurtido o acabado. Los estudios experimentados fueron desarrollados en escala piloto, donde fueron comparadas dos alternativas para una estación de tratamiento. En la alternativa I o Reactor Acidogénico antes del sistema de Contactores Biológicos Rotatorios y en la alternativa II cuenta apenas con un decantador antes del Contactor Biológico Rotatorio. Para cada Alternativa fueron empleados tres tiempos de retención hidráulico correspondientes a

variaciones de 0.5, 1.0 y 2.0 lps. De este modo fue posible demostrar la influencia del Reactor Acidogénico en el desempeño de los Contactores Biológicos, así como de una eficiencia de este sistema con vistas a la remoción de materia orgánica y cromo, además de la nitrificación y desnitrificación. También fue posible plantear las características de operaciones y la proposición de un modelo matemático referente al desempeño de los Contactores Biológicos Rotatorios tratando un efluente real de lenta degradación.”

IV. URUGUAY: se han realizados investigaciones en Curtiembres, detallando: “Evaluación Respirométrica De La Biodegradabilidad Aeróbica De Un Efluente De Curtiembre”, fue presentado en el XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

“En esta investigación se realizó la caracterización de las diferentes fracciones del DQO para un efluente de curtiembre. Se identifican las fracciones de DQO biodegradable y DQO inerte y dentro de la biodegradable se subdivide en DQO rápidamente biodegradable y lentamente biodegradable. Se determina el crecimiento de biomasa YH, la velocidad máxima específica de crecimiento de biomasa y otros parámetros cinéticos, siguiendo el procedimiento desarrollado por Kappeler y Gujer (1992) y Orhon y Arthan (1994). El efluente proviene de un proceso de curtido de cueros vacuno clásico con un tratamiento primario consistente en el mezclado de la corriente de pelambre con los sulfuros ya oxidados, con la corriente de curtido y posterior sedimentación sin utilización de floculantes o coagulantes. Se analiza la influencia en la estimación de los costos de tratamiento, de la utilización de un tratamiento físico-químico previo al tratamiento biológico.”

V. CEPIS: EL Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria presenta artículos evidenciando sobre tratamientos biológicos directos a efluentes globales en las Industrias de Curtiembres asimismo textos sobre mitigación ambiental de las mencionadas industrias.

- *“Guía para el Tratamiento, Almacenamiento y Disposición de Residuos de Curtiembres”*

CAPITULO III

MARCO TEORICO

3.1 RESEÑA HISTORICA: INDUSTRIA DE CURTIEMBRE

El proceso de curtido, en general, se puede dividir en tres etapas principales: ribera, curtido y Terminación. Existen algunas variaciones según sea el tipo de piel, la tecnología disponible y las características finales a conseguir en el cuero.

En la Figura N° 3.1. se entrega con algún detalle el proceso de curtido convencional, el cual se describe a continuación:

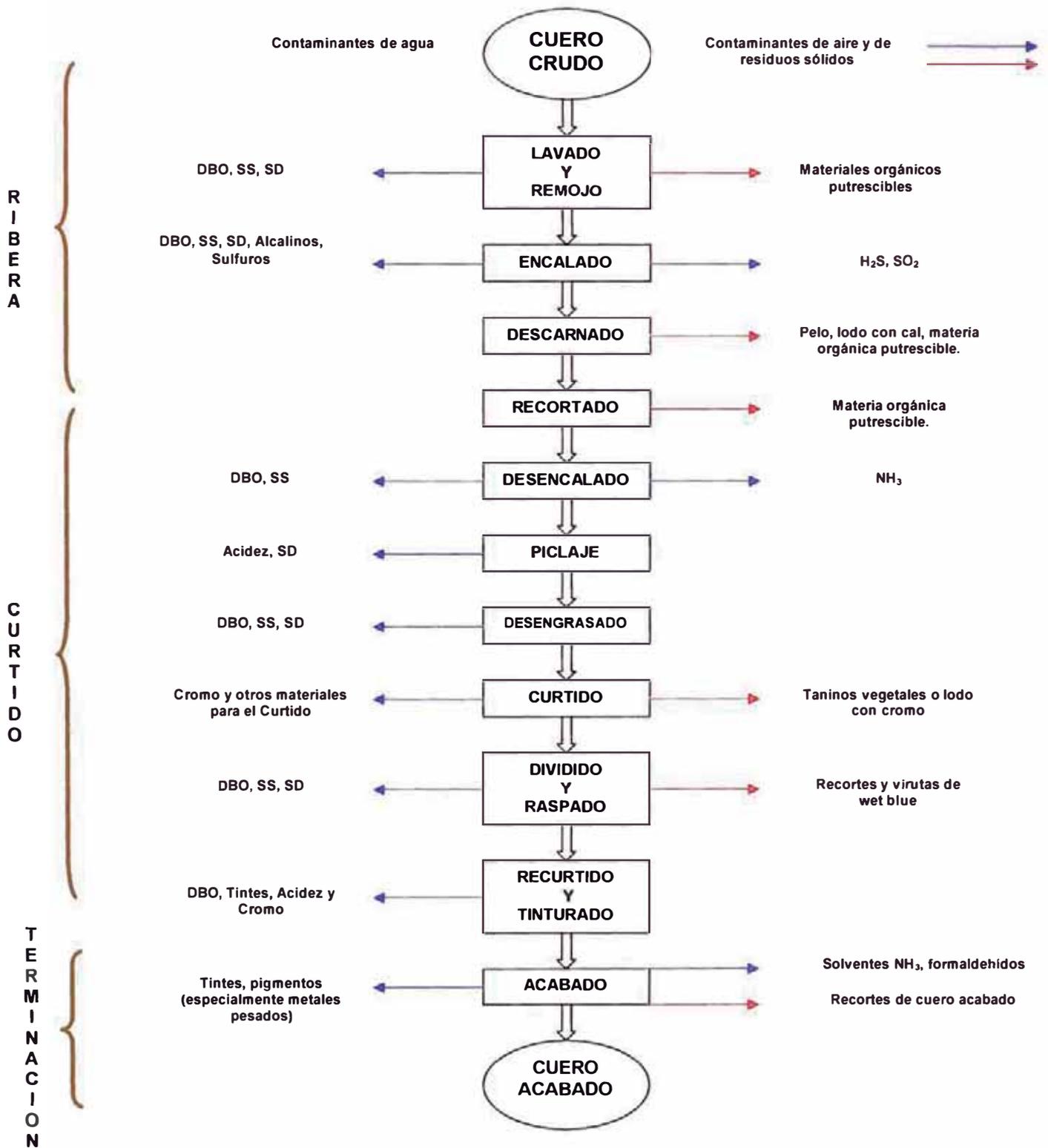
A. Ribera

Las principales subetapas de ribera se realizan en grandes recipientes cilindros de Madera llamados fulones. A estos recipientes se ingresan los cueros, el agua y los reactivos químicos necesarios.

Almacenamiento y recorte de las pieles: Una vez separada la piel de la carne del animal, se procede a recortar la piel de las patas, cola, cabeza y genitales, según un procedimiento estándar. Luego la piel se somete a un procedimiento de conservación para evitar su degradación biológica. Los procedimientos mas usados son el secado al aire y el salado con sal común. También se incluye el uso de productos químicos para evitar el ataque de insectos a la piel.

Remojo y lavado: Las pieles se limpian con agua y detergentes de toda materia extraña como tierra, sangre, estiércol, etc. En el

FIGURA 3.1. DIAGRAMA DEL PROCESO GENERAL DE CURTIDO CON CROMO



caso de las pieles saladas se debe, además, eliminar la mayor parte de la sal proveniente de la conservación. Esta etapa también contribuye a devolverle a la piel la humedad perdida.

Pelambre y encalado: Para eliminar el pelo presente en el cuero, este se somete a un ataque químico con cal (encalado) y con sulfuro de sodio, o un ataque enzimático, mediante proteasas, en solución acuosa. A veces se agrega algún agente coadyuvante del proceso de pelambre como: agentes tensos activos, humectantes, aminos, etc.

Descarnado: En esta etapa se elimina de la piel, mediante cuchillas, el tejido subcutáneo (restos de músculos y nervios), las grasas o cualquier otro elemento indeseado.

Depilado y dividido: El depilado no se realiza, cuando en el pelambre se trabaja con baños con alta concentración de sulfuro y buena agitación mecánica, pues con este procedimiento y un buen enjuague se elimina prácticamente todo el pelo de la piel. En el dividido se corta la piel depilada por la mitad de su espesor para producir dos capas. El dividido también se puede realizar después del curtido.

B. Curtido

Desencalado: Esta etapa se ocupa de eliminar la cal y productos alcalinos del interior del cuero. Para este procedimiento se usan disoluciones acuosas de ácidos para neutralizar la piel, eliminando la cal y los productos alcalinos formados, como ácido clorhídrico, sulfúrico, fórmico, etc.

Rendido (purga): Es un proceso enzimático que permite un aflojamiento y ligera peptización de la estructura del colágeno, al mismo tiempo que limpia la piel de restos de proteínas, pelo y grasa que hayan quedado de los procesos anteriores. Se usan

enzimas proteasas absorbidas sobre aserrín de madera y agentes descalcificantes (cloruro de amonio). El rendimiento se puede realizar en los mismos recipientes de encalado o en uno distinto.

Piquelado: Se utiliza en el curtido con cromo, con el fin de eliminar totalmente el álcali que queda en la piel. En este proceso se acidifica la piel lo suficiente, de manera que se evite la precipitación de sales de cromo insoluble en las fibras del cuero durante el curtido. Se usan sales como: cloruro y sulfato de sodio y ácidos como: sulfúrico y fórmico.

Desengrasado: Se realiza en el curtido de pieles lanaras, ya que estas poseen un alto contenido de grasa. Se puede realizar con agentes tensos activos (jabones sódicos, detergentes sintéticos) o con disolventes orgánicos (kerosene, percloroetileno).

Curtido: El curtido es la transformación de la piel en el cuero comercial, a través de un proceso de fijación del agente de curtiembre sobre la piel, en fulones durante un tiempo determinado. El tiempo de curtido depende del tipo de producto a obtener, el agente de curtiembre y el proceso en si. Posteriormente el cuero se lava para eliminar el exceso de curtiembre y luego se seca. Los agentes de curtido más usados son las sales de cromo y los curtientes naturales (taninos).

Engrase: Para obtener un cuero más suave y flexible se adicionan por impregnación aceites vegetales, animales y aceites minerales.

Recurtido: Consiste en el tratamiento del cuero curtido con uno o más productos químicos con el objeto de obtener un cuero más lleno, con mejor resistencia al agua, mayor blandura o para

favorecer la igualación de tintura que no se han podido obtener con la sola curtición convencional. Agentes recurtientes son: sales de cromo, recurtientes naturales y/o artificiales.

Tejido: Las pieles recurtidas son teñidas en fulones¹ mediante colorantes ácidos o básicos.

C. Terminación

El cuero teñido y seco pasa por varias sub. etapas de acabado, los cuales le dan la presentación deseada según sea el tipo de producto final. Por ejemplo, los cueros son raspados, ablandados, estirados, planchados, pintados, laquiados, etc.

3.2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE

Los residuos de las curtiembres pueden causar efectos negativos sobre el ambiente. La disposición de los residuos líquidos y sólidos, así como las emisiones gaseosas sobre cuerpos de agua, suelo y aire, degradan la calidad ambiental de estos últimos y ocasionan daños muchas veces irreversibles.

También son conocidos los efectos sobre la salud del contacto directo con los insumos químicos utilizados en el proceso productivo con los residuos peligrosos que se generan. Los efluentes que contienen alta carga orgánica, sulfuro y cromo merecen atención prioritaria dentro de un programa de minimización en curtiembres debido a su alta carga contaminante.

Existen informes técnicos como el "INFORME TECNICO SOBRE MINIMIZACION DE RESIDUOS EN UNA CURTIEMBRE" (CEPIS/OMS/OPS-1996) que presenta de manera resumida los impactos

¹ Cilindros Rotatorios, ø 3.00 m. y altura de 4.00, cuya función es trabajar en el proceso de Recurtido de la piel tratada

sobre el ambiente y la salud humana y describe algunas técnicas para la minimización de estos impactos. Está basado principalmente en la guía del PNUMA (1990). De estos impactos podemos mencionar a los ocasionados a los cuerpos receptores, sistemas de alcantarillado y Plantas de Tratamiento de aguas Residuales.

- **“Efectos sobre los cuerpos de agua**

Las aguas residuales cuando se descargan directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en la vida acuática y en los usos posteriores de estas aguas. Un cuerpo de agua contaminado disminuye el valor de su uso como agua para bebida o para fines agrícolas e industriales, afecta la vida acuática y los peces mueren por disminución del oxígeno disuelto. Por otra parte, si su uso es indispensable, los costos de tratamiento se toman muy altos.

En el caso de las aguas subterráneas, su contaminación es más problemática y persistente porque su auto depuración es lenta debido a que no presenta corrientes que le confieran una adecuada aireación. Esto se agrava cuando es la única fuente de abastecimiento de agua para una población. Los efluentes no tratados de las curtiembres ocasionan salinidad en las aguas subterráneas debido a la alta concentración de cloruros. Una evaluación sobre el potencial de contaminación de cuerpos de agua causada por efluentes de curtiembre en función de sus características principales muestra lo siguiente:

DBO y DQO. Son los parámetros utilizados para medir la materia orgánica presente en el efluente. Cuando se presenta concentraciones altas de DBO y DQO en los ríos puede ocurrir desoxigenación del mismo.

pH. Es un parámetro de importancia que indica la intensidad de la acidez o alcalinidad del efluente. Generalmente los efluentes de las curtiembres presentan variaciones entre 2,5 y 12,0. Las variaciones de pH afectan considerablemente la vida acuática de las corrientes receptoras.

Sulfuro. Presenta riesgo de formación de gas sulfhídrico, el que en baja concentración genera olor desagradable y en alta concentración puede ser muy tóxico.

Amonio. Es tóxico para los peces. Es un nutriente que puede causar proliferación de plantas acuáticas.

Nitrógeno-Kjeldahl. Es el total de nitrógeno orgánico y del amoniacal. Su presencia en altas concentraciones puede provocar el crecimiento acelerado de plantas acuáticas.

Nitratos. Su presencia en altas concentraciones en agua potable es riesgosa para la salud.

Fosfato. No es tóxico pero estimula el crecimiento de plantas acuáticas y algas.

Cromo. Metal pesado persistente que puede causar problemas a la salud humana en altas concentraciones.

Color. Proveniente de los taninos y tintes, perjudica la actividad fotosintética de las plantas acuáticas y provoca su muerte.

Sólidos sedimentables. Ocasionalmente ocasionan la formación de bancos de lodos que producen olores desagradables.

- ***Efectos sobre el alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales***

Los efluentes de curtiembres descargados a una red de alcantarillado provocan incrustaciones de carbonato de calcio y gran deposición de sólidos en las tuberías. La presencia de sulfuros y sulfatos también acelera el deterioro de materiales de concreto o cemento. Si la carga contaminante presenta sustancias tóxicas y es lanzada a una planta de tratamiento, puede interferir con el proceso biológico de la planta. En lugares donde no existen plantas de tratamiento, estos contaminantes afectan la calidad del cuerpo receptor y causan su deterioro”.

La minimización de residuos dentro de las curtiembres puede conseguirse:

- ✓ en el proceso de producción;
- ✓ en la selección de equipos y adaptación de nuevas tecnologías;
- ✓ en la reutilización de baños descartados; y
- ✓ en el aprovechamiento de residuos sólidos y subproductos.

3.3 ANTECEDENTES Y CONSIDERACIONES RELATIVAS AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRE

Los puntos críticos del proceso de curtiembre han sido descritos detalladamente en trabajos previos (Bornhardt *et al.*, 2000 a y b; Rivela, 2000; Konrad *et al.*, 2002). La utilización de pieles saladas incrementa considerablemente el contenido de sales inorgánicas en los efluentes, principalmente en la etapa de ribera, pelambre (desprendimiento de pelos) y curtido (por la utilización de sales), donde además se alcanza un contenido de sólidos totales de hasta 90 g/L. Igualmente se ha observado que en la etapa de remojo, pelambre y recurtido se obtiene los valores más altos de DQO. En relación a los agentes químicos utilizados, es en el pelambre donde se genera los más altos contenidos de sulfuro y en el curtido donde se libera cromo. La caracterización de los efluentes permitió comprobar que los procesos claves en la generación de contaminación son: remojo, pelambre, curtido y recurtido.

Si bien las concentraciones de contaminantes de los efluentes generados por esta actividad son elevadas, en investigaciones realizadas por diversos autores, se ha demostrado que es posible reducir la contaminación que provocan. Dentro de las investigaciones realizadas se puede indicar que los tratamientos por un sistema biológico aeróbico son altamente convenientes para la industria de curtiembre, debido a su característica oxidativa y a los compuestos presentes en este tipo de industrias (Bornhardt *et al.*, 2000 b).

Menéndez y Díaz (1998) trabajaron con efluentes de la etapa de pelambre con 24 g de DQO/L, 7 g DBO/L y 53 g SST/L, de curtido con 5 g DQO/L, 0,5 g DBO/L y 3 g cromo/L, además de tratar el efluente total que contenía 3,5 g DQO/L, 1,1 g DBO/L, 11 g ST/L y 0,2 g cromo/L. Estos autores trataron cada agua residual industrial de las diferentes etapas del proceso, realizando un pre- tratamiento mediante aireación intensiva por un periodo de 1 a 4 horas, con flujos de aire entre 70 y 210 L/h, y luego tratamiento mediante lodos activados. Se obtuvo como resultado que a medida que la edad del lodo aumentaba de 4 a 10 días, la relación F/M disminuía de 1,29 a 0,56 kg DBO/Kg SSV día, mientras que la eliminación de la DBO aumentaba de 85 a 91%.

Por otro lado, un ensayo donde se combinó el tratamiento aeróbico con un proceso avanzado de oxidación como pretratamiento para el efluente de la etapa de pelambre, permitió aumentar la efectividad de la biodegradación. Se ensayó con $O_3/TiO_2/UV$ ² a pH 2,5 y 7,8 por dos horas. Además, con reactivo de Fenton y Foto-Fenton por una hora, con una relación de H_2O_2/Fe^{+2} ³ de 11 y H_2O_2/DQO de 5. Los resultados de este estudio demuestran que la eficiencia de remoción de DQO aumenta en un 60%, después de 15 minutos de aplicación, concluyéndose como efectivos los procesos de oxidación avanzada para eliminar la materia orgánica recalcitrante (Nieto *et al.*, 2001; Vidal *et al.*, 2004).

² O_3 : Ozono; TiO_2 : Oxido de Titanio; UV: ultravioleta

³ H_2O_2 : Peroxido de Hidrogeno, Fe^{+2} : Fierro Valencia +2

Vidal *et al.* (2004) trataron biológicamente mediante lodos activados un agua residual industrial de la etapa de pelambre, utilizando como inóculo lodo proveniente de una laguna aeróbica para el tratamiento del efluente de celulosa Kraft. El TRH ⁴ se disminuyó de 19 a 1 día, y paralelamente se aumentó la velocidad de carga orgánica de 0,1 a 0,5 g DBO/L día. Durante un periodo de operación de 50 días se logró una eliminación de DQO de 95,7% (Bornhardt *et al.*, 2001). En este estudio fue importante la observación al microscopio de la población microbiológica del lodo, ya que permitió detectar la ocurrencia de bulking y caracterizar las bacterias (Vidal *et al.*, 2001).

Se ha realizado en otros estudios similares, la caracterización de bacterias resistentes al cromo. Basu, Bhattacharya y Paul (1997) aislaron bacterias tolerantes a concentraciones de 25 a 250 μg de Cr^{+VI} ⁵/mL, resultado valioso a la hora de ser aplicadas para biorremediación de suelos contaminados con cromo. Por otro lado, los estudios realizados por Gopalan y Veeramani (1994), permitieron aislar cepas resistentes al cromo y capaces de eliminar Cr^{+VI} , permitiendo aumentar la eliminación desde un 40% a un 81% en el efluente, encontrándose en el lodo un 3% de cromo aproximadamente.

Otros estudios con sistemas aeróbicos son los de Gopalan y Veeramani (1994), Ahn *et al.* (1996), Jochimsen *et al.* (1997), Orhon *et al.* (1998), Ros y Gantar (1998) y Ram y Parwana (1999). De estos estudios se puede mencionar el de Ros y Gantar (1998), que obtuvieron una eficiencia de remoción de DQO de entre 79 al 82% al tratar agua residual de curtiembre con contenidos de cromo de entre 13 y 40 mg/L. Lo anterior fue una referencia importante para este estudio. Además existen estudios realizados con sistemas combinados aeróbicos/anaeróbicos, que eliminan carga orgánica y nitrógeno (Szpyrkowicz *et al.*, 1991; Yamamoto y Win, 1991; Jochimsen *et al.*, 1997; Reemtsma y Jekel, 1997 y Carucci *et al.*,

⁴ TRH: Tiempo de Retención Hidráulico

⁵ Cr^{+VI} : Cromo Valencia +6

1999, entre otros), aplicado sobre todo en los casos en que los residuos líquidos presenten un alta concentración de nitrógeno. Como ejemplo de resultados, el estudio combinado de Reemtsma y Jekel (1997) (que duró 2 años) obtuvo valores de remoción de DQO de un 60% con tratamiento anaeróbico y posterior a este el tratamiento aeróbico aportó, adicionalmente a la remoción anterior, un 15% más de remoción, con una concentración orgánica del efluente de 900 mg/L de DQO. Ello demuestra que también es eficiente en la reducción de la contaminación orgánica el uso de tratamientos combinados.

También este tipo de agua residual industrial de curtiembre con altos contenidos de materia orgánica, ha sido tratado en otros países por sistemas biológicos anaerobios, obteniendo buenos resultados de remoción de materia orgánica (Viñas, 1995; Genschow, Hegemann y Maschke, 1996; Vijayaraghavan y Murthy, 1997; Vijayaraghavan y Ramanujan, 1999).

Como se ha visto, la aplicación de un tratamiento biológico a aguas residuales de curtido está siendo ampliamente estudiada, pero aún presenta algunas dificultades, principalmente debido a que se debe eliminar compuestos altamente contaminantes que pueden inhibir la actividad de las bacterias, aparte de estudios que permitan la optimización del proceso. Por lo tanto, aún faltan estudios por realizar, sobre todo considerando que toda industria de curtiembre es distinta, porque cada curtiembre posee diferentes tecnologías para el proceso y para el tratamiento de sus residuos (Konrad *et al.*, 2002).

Los antecedentes reportados, a pesar de que se trata de estudios a escala de laboratorio y/o piloto (ya que no se encontró publicaciones de estudios en planta a escala real), resultaron muy valiosos para la ejecución de este trabajo. En particular, el estudio se realizó con agua residual industrial de una industria de curtido que no posee tecnologías para una optimización de proceso, sino más bien la posibilidad de invertir en un tratamiento al efluente global.

CAPITULO IV

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los procesos biológicos se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida y disuelta en el agua residual en sólidos sedimentables floculentos que puedan separarse en tanques de sedimentación. Aunque estos procesos se usen junto con los físicos y químicos empleados en el tratamiento preliminar del agua residual, no deben considerarse como sustitutivos de aquéllos. La sedimentación primaria es muy eficaz para separar los sólidos suspendidos de hasta cierto tamaño en tanto que los procesos biológicos lo son en la separación de sustancias orgánicas que sean solubles o estén dentro del tamaño coloidal.

Las características, de los microorganismos que intervienen en las reacciones biológicas para la degradación de la materia orgánica, son las que permiten establecer una clasificación de los procesos biológicos de las aguas residuales. En función de la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables de las reacciones biológicas, los tratamientos biológicos pueden clasificarse en: procesos aerobios, procesos anaerobios y procesos facultativos. Mientras los procesos aerobios son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno, los anaerobios son aquellos que se dan en ausencia de oxígeno y los facultativos aquellos en los que los organismos responsables pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno molecular.

La mayoría de los procesos biológicos son procesos aerobios, principalmente debido a las ventajas que estos procesos presentan frente

a los anaerobios. Sin embargo, los tratamientos anaerobios son también utilizados y juegan un papel importante en la degradación de los lodos generados. En la Tabla 3.3, se indican las ventajas y desventajas de estos procesos:

TABLA 3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA AEROBIO Y ANAEROBIO (Stephenson, et al, 2000)

PARAMETRO	AEROBIOS	ANAEROBIOS
Energia	Alto	Bajo
% Eliminacion	> 95 %	60-90 %
Produccion de Fangos	Alta	Baja
Estabilidad	Moderada - Alta	Baja - Moderada
Puesta en Marcha	2 - 4 semanas	2 - 4 semanas
Generacion de olores	Menor	Mayor
Alcalinidad	Baja	Alta
Generacion de Biogas	No	Si
Presencia de Nutrientes	Puede ser Alta	Baja

4.2 TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

El proceso de Lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. Este proceso fue desarrollado en Inglaterra por Arden y Lockett [Metcalf and Eddy, 1995, p.436], y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de forma empírica. Sólo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de fangos activados [Ramalho, 1996, p.253]. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, se somete a aireación durante un período de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento.

El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos que cambian continuamente en función de las variaciones de composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos.

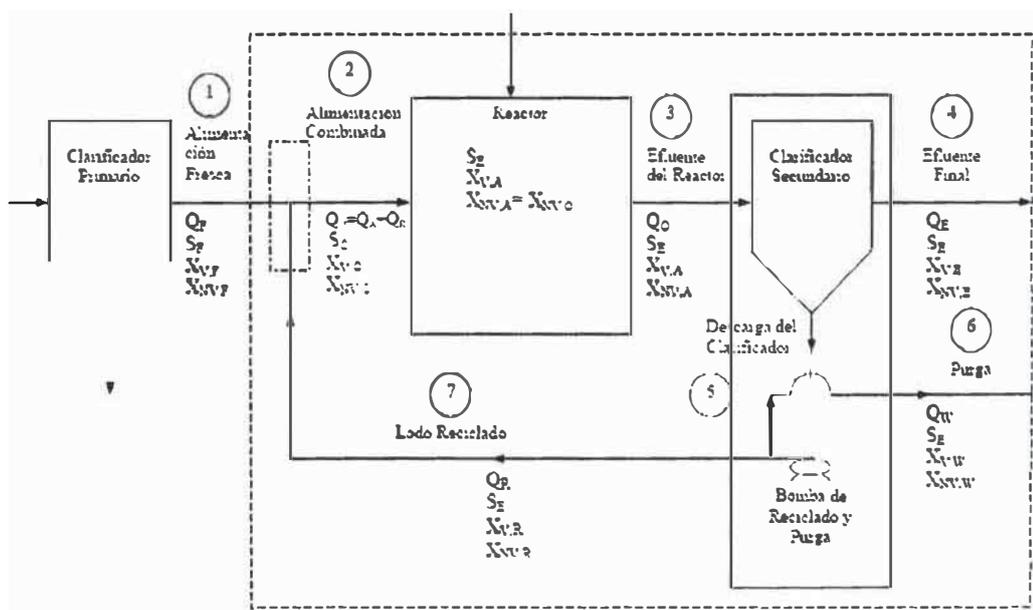
De éstos las bacterias son las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico.

En la actualidad, existen muchas versiones del proceso original, pero son todas fundamentalmente iguales.

4.2.1 Descripción del Proceso

Desde el punto de vista del funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados se suele llevar a cabo utilizando un diagrama de flujo como el de la Figura 4.2.1.

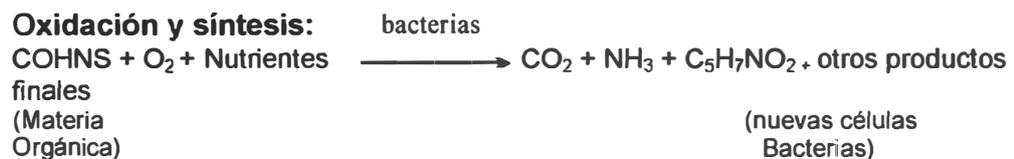
Figura 4.2.1 Diagrama de Flujo de un Proceso Convencional de Lodos activados (Ramalho, 1993)



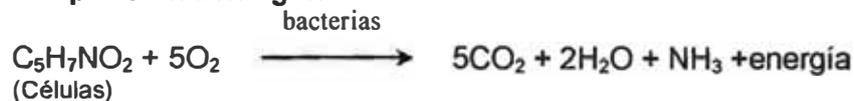
En el diagrama las abreviaturas corresponden a:

- ✓ Q = Caudal
- ✓ S = Concentración de materia orgánica biodegradable (DBO)
- ✓ XV = Concentración de sólidos suspendidos volátiles
- ✓ XNV = Concentración de sólidos suspendidos no volátiles
- ✓ Subíndices:
- ✓ F = Alimentación
- ✓ E = Efluente
- ✓ W = Purga
- ✓ R = Reciclo
- ✓ A = Reactor aireado
- ✓ = Alimentación combinada

El residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de líquido mezcla o licor mixto. En el reactor el cultivo bacteriano lleva a cabo la conversión en concordancia general con la estequiometría de las ecuaciones siguientes:



Respiración Endógena:



El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación (decantador secundario) para su separación del agua residual tratada. Una parte de

las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema.

Las composiciones de las diferentes corrientes (numeradas del 1 al 7) están caracterizadas por 3 tipos de concentraciones:

- I. **Concentración de la DBO soluble.** Se simboliza mediante DBO_i en la que el subíndice i indica la corriente específica de que se trate. La DBO soluble está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución.

Debe destacarse que el diseño de las plantas de lodos activos se basa en el consumo, eliminación de la DBO soluble (también llamada DBO carbonosa), y que es la conversión biológica de la materia carbonosa del agua residual en tejido celular y en diversos productos gaseosos. Es importante tener en cuenta que en general, la eficacia del proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de eliminación de la DBO inicial.

Por otra parte, la DBO insoluble se separa mediante sedimentación en los clarificadores primario y secundario.

- II. **Concentración de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).** Se denotan mediante el símbolo X_{vi} , en el que el subíndice v se refiere a la característica de volatilidad y el subíndice i a la corriente específica de que se trate. Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos.

La determinación experimental de los VSS se lleva a cabo midiendo la pérdida de peso de los sólidos totales en suspensión después de la incineración en una estufa de laboratorio a 600 °C. Esta pérdida de peso corresponde principalmente a la volatilización del lodo biológico. Los sólidos remanentes después de la incineración a 600

°C corresponden a los sólidos en suspensión no volátiles [Ramalho, 1996, p.256]. Su naturaleza es distinta de la de los lodos biológicos, estando constituidos por materia inerte tanto orgánica como inorgánica.

III. *Concentración de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS).*

Se indica mediante el símbolo X_{NVi} , en el que NV hace referencia a la no volatilidad de los sólidos e i indica la corriente específica que se trate. Por lo tanto,

$$SST = VSS + NVSS$$

Sólidos en suspensión totales = sólidos volátiles en suspensión + sólidos no volátiles en suspensión

4.2.2 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.

Para un adecuado control en la operación del Proceso de Lodos activados es necesario considerar los siguientes parámetros:

4.2.2.1 Criterios de Carga

Para el control del proceso de lodos activados se han considerado una serie de unos parámetros de control empírico y racional. Este control se logra, regulando adecuadamente, el caudal de recirculación y la purga de lodos.

Dos de los parámetros de uso más común son:

- La relación alimento/microorganismos (A/M)
- El tiempo de retención celular o edad del fango (θ_c)

La relación alimento/microorganismos se define como:

$$A/M = \frac{DBO_5}{t_h \cdot X_{va}}$$

donde,

- ✓ A/M : relación alimento/microorganismos (h^{-1})
- ✓ DBO_0 : concentración de DBO en el afluente (mg/l)
- ✓ t_h : tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación (h)
- ✓ X_{va} : concentración de microorganismos (SSV) en el tanque de aireación (mg/l)

El tiempo de retención celular o edad del lodo se puede definir, tal y como se ha comentado (cinética del proceso biológico), como:

$$\Theta_c = \frac{V \cdot X_{va}}{Q_w \cdot X_{vu} + Q_e \cdot X_{ve}}$$

- ✓ V : volumen del reactor (m^3)
- ✓ Q_w : caudal de lodo purgado (m^3/d)
- ✓ X_{vu} : concentración de microorganismos en el lodo (mg/l)
- ✓ Q_e : caudal del efluente de la unidad de separación (m^3/d)
- ✓ X_{ve} : concentración de microorganismos en el efluente de la unidad de separación de sólidos (mg/l)
- ✓ X_{va} : concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (mg/l)

Y se puede considerar como una medida del tiempo de residencia de los organismos dentro del sistema.

La relación (A/M), se puede controlar por la edad del lodo mediante la fórmula que se detalla a continuación:

$$\frac{1}{\Theta_c} = Y \cdot (A/M) \cdot \frac{E - K_d}{100}$$

donde,

- ✓ Y : rendimiento biológico (Kg microorganismos producidos/Kg DBO consumidos)

- ✓ E: rendimiento del proceso (%)
- ✓ k_d : coeficiente de degradación endógena, (d-1)

La edad del lodo típica en plantas de tratamiento de aguas residuales por procesos biológicos normalmente se encuentra comprendida entre 3 y 15 días y la relación (A/M) entre 0,05-1,0 d-1 [Metcalf and Eddy, 1995, p.609].

A mayor edad de lodo mayor cantidad de MLSS, en el reactor biológico. Una ventaja del proceso con biorreactores de membranas, es la capacidad de operar con una elevada edad del lodo, a una alta concentración de MLSS, y a una relación A/M baja, con la cual se reduce la cantidad de producción de lodo.

Además de estos dos parámetros de control, también se han utilizado, para el control del proceso en el reactor, relaciones empíricas basadas en la carga orgánica (carga volumétrica) y en el tiempo de retención hidráulico.

El tiempo de retención hidráulico hace referencia, como ya se ha comentado, al tiempo de permanencia del agua en el volumen del reactor, y los normalmente utilizados suelen variar entre 4 y 8 h [Metcalf and Eddy, 1995, p.609].

La carga volumétrica expresada en Kg DBO₅/m³ de tanque de aireación por día, puede oscilar entre 0,3 y 3 Kg DBO₅/m³-d [Metcalf and Eddy, 1995, p.609] y definirse como:

$$C_v = \frac{DBO_5 \cdot Q_0}{V}$$

donde,

- ✓ C_v : Carga Volumétrica (Kg DBO₅/m³)
- ✓ DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno (Kg/m³)

- ✓ Q_0 : afluente, (m³/día)
- ✓ V : Volumen del tanque (m³)

A pesar de que en el uso de estas relaciones empíricas no se utilizan el tiempo de retención celular y la relación alimento/microorganismos, estas relaciones tienen la propiedad de requerir un volumen del reactor biológico mínimo, que ha resultado ser el adecuado para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

4.2.2.2 Producción de Lodo

El conocimiento de la producción de lodo diaria es importante puesto que afecta al diseño de las instalaciones de tratamiento y evacuación del fango en exceso (purga).

La producción neta de MLVSS se obtiene por diferencia entre los MLVSS producidos y la cantidad perdida por respiración endógena. Esta producción neta en Kg/d se indica mediante ΔX_v y puede expresarse de la forma siguiente:

$$\text{Kg MLVSS / d} = \Delta X_v = Y \cdot (\text{DBO}_0 - \text{DBO}_e) \cdot Q_0 - K_d \cdot X_{va} \cdot V$$

Producción Neta	Kg/d de MLVSS producidos	Kg/d de MLVSS oxidados por respiración endógena
--------------------	-----------------------------	--

Puede también escribirse una ecuación alternativa para la producción de lodo en función de un único parámetro Y_n (parámetro de producción neta) en lugar de hacerlo en función del parámetro de producción "Y" y del coeficiente de descomposición microbiana k_d . De esta forma la ecuación anterior se convierte en:

$$\Delta X_v = Y_n \cdot (\text{DBO}_0 - \text{DBO}_e) \cdot Q_0$$

Con $Y_n = \frac{Y}{1 + (k_d/\mu)}$ lo que es lo mismo:

$$Y_n = \frac{Y}{1 + k_d \cdot \theta_c}$$

Donde el parámetro μ es la velocidad específica de crecimiento de la biomasa, la cual representa la producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor

$$\mu = \frac{\text{Kg MLVSS}_{\text{producidos}}}{(\text{d}) \cdot (\text{Kg MLVSS}_{\text{reactor}})}$$

4.2.2.3 Índice Volumétrico de Lodos (IVL).

Corresponde al volumen (en mililitros) ocupados por 1 gramo de sólidos en suspensión totales del licor de mezcla, expresados en peso seco, después de sedimentar durante 30 minutos en una probeta graduada de 1000 mL. Los valores de IVL típicos para lodos con buenas características de sedimentabilidad, con concentraciones entre 800 y 3500 mg SSVLM/L, están entre 35 y 150 mL/g (Ramalho, 1993). Un valor de IVL mayor a 150 mL/g, puede indicar presencia de lodo joven, produciéndose un flóculo liviano, o puede indicar la presencia de organismos filamentosos, fenómeno conocido como bulking (Metcalf y Eddy, 1995), mientras que un IVL menor a 35 es indicador de lodo excesivamente mineralizado, es decir, con elevada permanencia en el sistema.

4.2.2.4 Las necesidades de Nutrientes

Para que un sistema biológico funcione correctamente es necesario que se hallen presentes cantidades adecuadas de nutrientes. Los principales nutrientes son el nitrógeno y el fósforo. En sistemas convencionales de lodos activos se requiere una tasa de DBO5:N:P de 100:5:1 para mantener el balance de materia óptimo para la actividad heterotrófica de los microorganismos [Stenco, 2000, p.356].

Debido a que la demanda total de nutrientes depende de la producción celular neta, las necesidades de nutrientes son más reducidas en los procesos que dispongan de largos tiempos medios de retención celular. A menudo, este hecho se puede utilizar para explicar la razón por la cual dos plantas de tratamiento de fangos activados con diferentes tiempos medios de retención celular pueden no funcionar igual en el tratamiento de una misma agua residual.

4.3 Otros Tipos de Tratamientos Biológicos

Los procesos biológicos más utilizados son los de lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requisitos específicos de cada tratamiento. Otros procesos biológicos incluyen lagunas aireadas, balsas de estabilización y biodiscos. Todos estos tipos de tratamientos biológicos requieren aireación, es decir, son tratamientos biológicos aerobios.

4.3.1 Modificaciones del Proceso Convencional de lodos Activados

El proceso de lodos activados es muy flexible y se puede adaptar a casi la totalidad de los problemas de tratamiento biológico de aguas residuales. A continuación se indican algunas de las principales modificaciones del proceso.

4.3.1.1 Aireación Prolongada

Este proceso, al que se conoce también por oxidación total, es una modificación del proceso de lodos activos. La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia; de esta forma el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activos.

Como consecuencia de todo ello, esencialmente todo el lodo degradable formado se consume mediante respiración endógena. Este proceso ha sido aplicado principalmente en el tratamiento de aguas residuales cuando el volumen diario es menor de 8 m³/d. Estos caudales corresponden al tratamiento de aguas negras de pequeñas comunidades, urbanizaciones, áreas de recreo y algunos residuos industriales [Ramalho, 1996, p.414].

En la Figura 4.3.2.-a y la Figura 4.3.2.-b se representan una unidad de aireación prolongada convencional y una variante de la misma conocida por canal de oxidación.

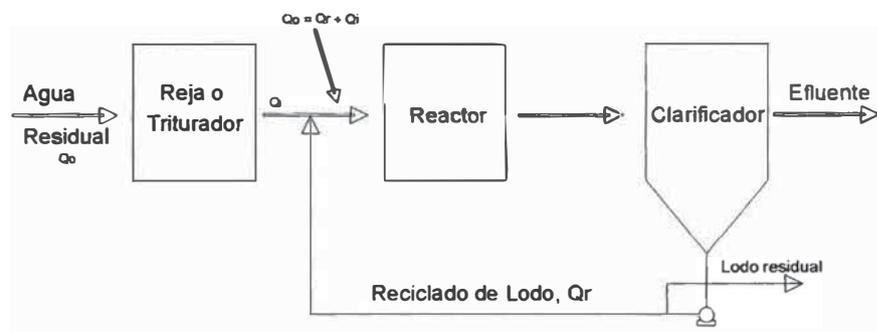


Figura 4.3.2.-a Proceso convencional de aireación prolongada [Ramalho, 1996, p.414].

Puede observarse que el diagrama de flujo de la unidad convencional es idéntico prácticamente al del proceso de lodos activos.

En la Figura 4.3.2.-b se muestra un diagrama del canal de oxidación.

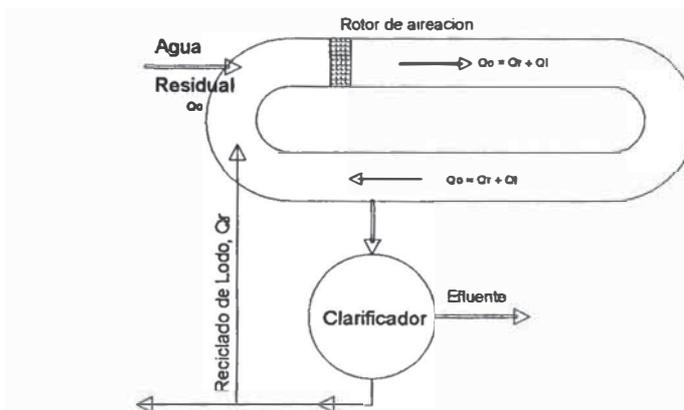


Figura 4.3.2.-b Canal de oxidación [Ramalho, 1996, p.415].

4.3.1.2 Contacto-Estabilización

El proceso de contacto - estabilización es otra modificación de lodos activos. En la Figura 4.3.3.-a se presenta un diagrama de flujo del sistema. En este proceso de contacto y estabilización se utilizan dos tanques o compartimentos separados para el tratamiento del agua residual y la estabilización del fango activado.

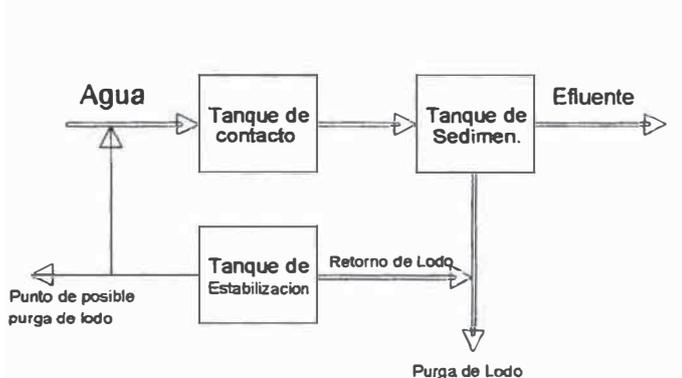


Figura 4.3.3.-a Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529].

El agua residual afluyente se mezcla con lodo estabilizado y esta mezcla se somete a aireación en el tanque de contacto inicial para el cual el tiempo de retención es solamente de 20 a 40 minutos. Durante el contacto inicial se separa una fracción apreciable de demanda biológica de oxígeno (DBO), en suspensión y disuelta, mediante bio-absorción después de estar en contacto con el lodo activo suficientemente aireado. El efluente mezcla procedente del

tanque de contacto inicial fluye al clarificador. Se separa el efluente clarificado y la descarga del clarificador se lleva a un tanque de estabilización en donde es aireada durante un período de 1.5 a 5 h [Ramalho, 1996, p.419]. Durante este período de estabilización los productos orgánicos adsorbidos se rompen mediante degradación aerobia. El lodo estabilizado que abandona el tanque de estabilización lo hace en condiciones de "inanición" y dispuesto por lo tanto a adsorber residuos orgánicos. Debido a que solamente el lodo de reciclado se somete a aireación prolongada, este sistema permite una reducción apreciable del volumen de la balsa de aireación. Esta es la principal ventaja del contacto-estabilización frente al proceso convencional de lodos activos. El proceso de contacto -estabilización es adecuado, por lo tanto, cuando el agua residual contiene una proporción elevada de DBO en las formas coloidal y en suspensión. Las plantas de contacto- estabilización pueden funcionar sin necesidad de clarificación primaria.

4.3.1.3 Aireación Escalonada

La aireación escalonada es una modificación del proceso convencional de lodos activos en la cual la alimentación fresca se introduce en diversos puntos a lo largo del tanque de aireación. Esta disposición proporciona un reparto equitativo de las relaciones A/M (alimento/microorganismos) a lo largo del tanque, disminuyendo con ello la demanda punta de oxígeno.

El tanque de aireación se divide mediante pantallas en varios canales paralelos. Cada canal constituye una etapa del proceso y las etapas están unidas entre sí en serie. El lodo reciclado se introduce en la cabeza del tanque de aireación. Este proceso, así como el suministro de oxígeno y su demanda a lo largo de la longitud del tanque, quedan representados en la Figura 4.3.4.-a

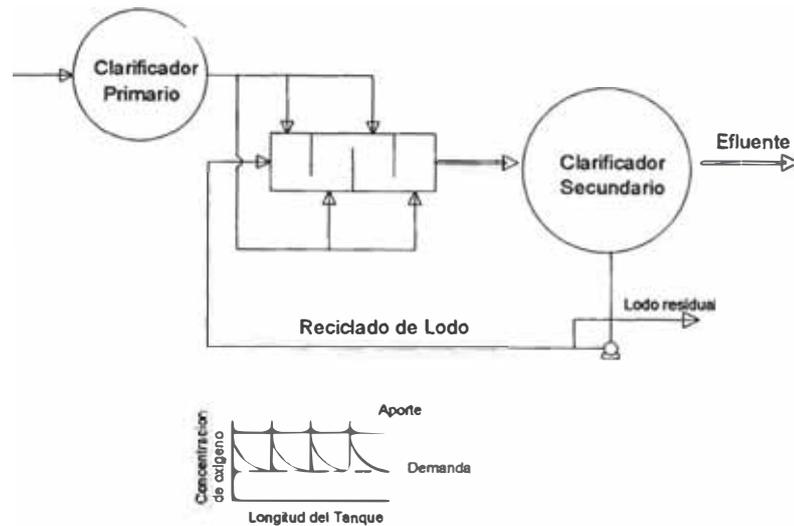


Figura .3.4.-a Proceso de aireación escalonada [Ramalho, 1996, p.426].

4.3.1.4 Aireación descendente

Este proceso es una modificación del proceso convencional de flujo en pistón. El objetivo de la aireación descendente, también llamada aireación graduada, es armonizar la cantidad de aire suministrado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque de aireación. Ya que a la

entrada de demanda de oxígeno es más alta, los aireadores se sitúan más próximos para proporcionar una velocidad más alta de oxigenación. El espacio entre aireadores se aumenta hacia la salida conforme la demanda de oxígeno disminuye. Esto es, a medida que el líquido mezcla atraviesa el tanque de aireación, tiene lugar la síntesis de nuevas células, aumentando el número de microorganismos y disminuyendo la concentración de alimento disponible. Ello da como resultado un menor valor de la relación A/M y un descenso de la demanda de oxígeno. El espaciamiento entre los difusores se aumenta entonces hacia la salida del tanque a fin de reducir la tasa de oxigenación. Con ello se obtienen dos resultados provechosos: la menor oxigenación significa que se necesita menos aire, por lo que se

reducirá el tamaño de los soplantes y por lo tanto los costes iniciales y de operación.

4.3.1.5 Proceso Kraus

El proceso Kraus es una modificación del proceso de aireación escalonada que se emplea para tratar aguas residuales con bajo contenido en nitrógeno. En un tanque independiente diseñado para nitrificar, se añade sobrenadante del digestor a una parte del fango de retorno como fuente de nutrientes, además de fango ya digerido. Con ello se consiguen dos cosas: el nitrato del sobrenadante aireado corrige la deficiencia de nitrógeno y los sólidos pesados contenidos en el fango digerido mejoran la capacidad de sedimentación del líquido mezcla. El líquido mezcla resultante se añade, entonces, al reactor. El diagrama del proceso se muestra en la Figura 4.3.6.-a:

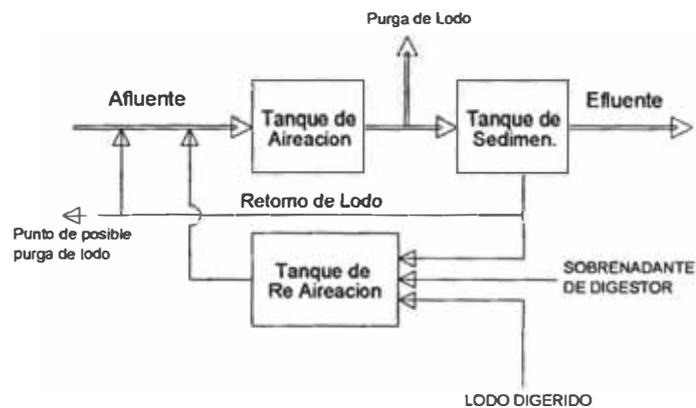


Figura 4.3.6.-a: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529]

4.3.1.6 Aireación de Alta Carga

Se trata de una modificación en la que se combinan altas concentraciones de SSVLM (sólidos en suspensión volátiles en el licor mixto) con elevadas cargas volumétricas (kg DBO₅/m³d). Esta combinación permite una elevada relación A/M y largos tiempos de retención celular con tiempos de retención hidráulica cortos. Es muy importante conseguir el grado de mezcla adecuado para efectuar la transferencia de oxígeno y controlar el tamaño del flóculo.

4.3.1.7 Aireación con Oxígeno Puro

En lugar de aire, en esta modificación del proceso de fangos activados se utiliza oxígeno puro. El oxígeno se distribuye mediante difusores en una serie de pequeños reactores de mezcla completa cubiertos y se recicla. En la Figura A.4.3.8.-a se muestra de forma esquemática un sistema de oxígeno puro. Parte del gas procedente de la actividad de los microorganismos se purga para reducir la concentración de CO₂. También puede ser necesario realizar ajustes de pH, según la capacidad tampón del agua residual y del CO₂ eliminado del sistema. La cantidad de oxígeno añadida es del orden de cuatro veces superior a la cantidad que se puede añadir con los sistemas de aireación convencionales [Metcalf and Eddy, 1977, p.532].

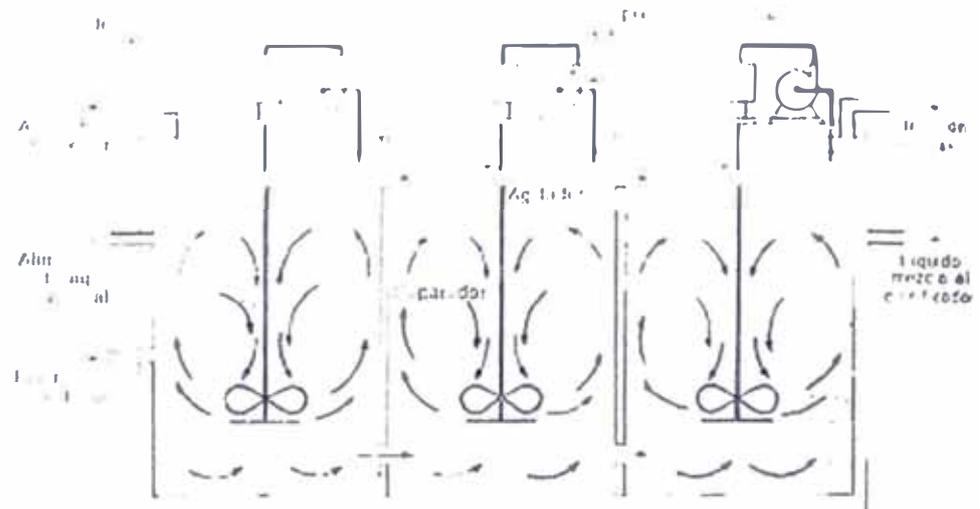


Figura A.4.3.8-a Esquema de un sistema de tratamiento de fangos activados, con oxígeno puro [Metcalf and Eddy, 1977, p.532].

Una vez descritas las modificaciones más usuales del proceso convencional de fangos activados, puede verse en la Tabla A.7 una comparativa entre estos diferentes tipos de procesos.

Modificación del Proceso	Modelo de Flujo	Eficiencia eliminación DBO %	Aplicación
convencional	en piston	85-90	Aguas residuales domesticas debiles, susceptibles de cargas subitas
mezcla completa	mezcla completa	85-95	Aplicación general, resistentes a cargas subitas
aireacion prolongada	mezcla completa	75-95	Pequeñas comunidades, plantas compactas flexibles.
contacto- estabilizacion	en piston	80-90	Expansion de los sistemas existentes, plantas compactas flexibles.
aireacion escalonada	en piston	85-95	aplicación general a gran variedad de residuos
aireacion descendente	en piston	-	-
Proceso de Krauss	en piston	85-95	Residuos muy resistentes de poco contenido en nitrogeno
Aireacion de Alta carga	mezcla completa	75-90	Uso con aireadores de turbina para transferir oxigeno y controlar el tamaño del floculo, aplicación general
Sistemas de oxigeno puro	Reactores en serie de mezcla completa	85-95	Aplicación general, se emplea cuando se dispone de volumen limitado.

Tabla A.7 Características operacionales de los procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.625].

Modificación del proceso	Parametro					Qr/Q
	θ_c días	Kg DBO5/Kg SSVLM-d	Kg DBO5/m3	SSVLM(mg/L)	TRH (h)	
Convencional	5-15	0.2-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8	0.25-0.5
Mezcla completa	5-15	0.2-0.6	0.8-1.92	3000-6000	3-5	0.25-1.0
Aireación prolongada contacto	20-30	0.05-0.15	0.16-0.6	3000-6000	18-36	0.75-1.50
Estabilización	5-15	0.2-0.6	0.96-1.20	(1000-3000)* (4000-10000)**	(0.5-1.0)* (3-5)**	0.25-1.0
Aireación escalonada	5-15	0.2-0.4	0.64-0.96	2000-3500	3-5	0.25-0.75
Proceso de Kraus	5-15	0.3-0.8	0.64-1.6	2000-3000	4-8	0.5-1.0
Aireación de alta carga	5-10	0.4-1.5	1.6-16	4000-10000	0.5-2	1.0-5.0
sistema de oxigeno puro	8-20	0.25-1.0	1.6-4	6000-8000	1-3	0.25-0.5

(*) Unidad de Contacto

(**) Unidad de Estabilizacion de Lodos

Tabla A.8 Parámetros de diseño para procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.626].

4.3.2 Lagunas Aireadas

Las lagunas aireadas son de profundidades de 1 a 4 m en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores. La diferencia fundamental entre las lagunas aireadas y el sistema de lodos activos es que en éste se lleva a cabo la recirculación del lodo como forma de controlar la cantidad de lodo biológico en el reactor de aireación, en cambio las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodos. La concentración de sólidos en las lagunas es función de las características del agua residual y del tiempo de residencia. Dicha concentración está comprendida entre 80-200 mg/l [Ramalho, 1996, p.437], esto es, mucho menor que la que se utiliza en las unidades de lodos activos convencionales (2000-3000 mg/l).

El nivel de turbulencia o grado de mezclado en las lagunas es la base para su clasificación en 2 categorías: de mezcla completa y lagunas facultativas, ambas se describen a continuación:

4.3.2.1 Lagunas de mezcla completa

El nivel de turbulencia es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Esto es, el contenido de este tipo de lagunas está totalmente mezclado y no sedimentan ni los sólidos entrantes ni los biológicos producidos a partir del agua residual. De hecho, la función esencial de este tipo de laguna es la conversión de los residuos.

Los tiempos de residencia son normalmente menores de tres días, y los niveles de potencia superiores a 0,007 CV por metro cúbico de laguna. Los niveles de potencia en las unidades de lodos activos se encuentran situados alrededor de 0,07 CV por metro cúbico de laguna, esto es aproximadamente valores diez veces superiores a los requeridos en las lagunas aireadas [Ramalho, 1996, p.437].

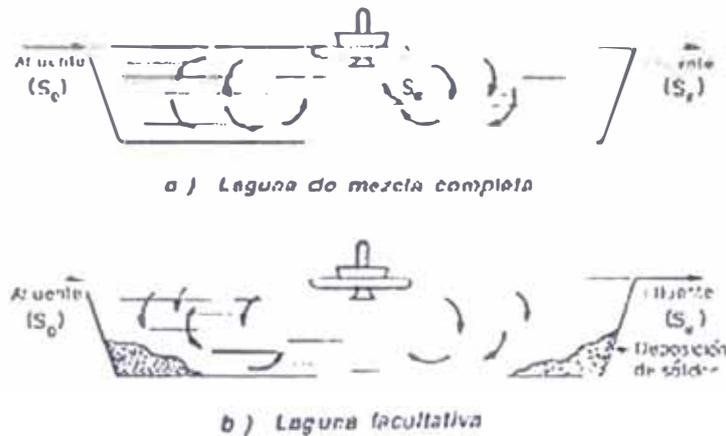


Figura 4.3.2. Regímenes de mezcla de las lagunas aireadas [Ramalho, 1996, p.438].

4.3.2.2 Lagunas facultativas

El nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión, contándose exclusivamente con el necesario para suministrar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Parte de los sólidos decantan en el fondo de la laguna donde sufren descomposición anaerobia. Los tiempos de retención superan normalmente los seis días y los niveles de potencia están comprendidos entre 0,001 0,007 CV por m³ de laguna. Se presenta una formación gradual de residuo que debe ser evacuado a intervalos de 1 a 10 años [Ramalho, 1996, p.438].

La elección de un régimen de mezcla resulta del balance económico entre las necesidades de potencia (superiores en los sistemas de mezcla completa) y el costo del terreno (se necesita más terreno para las lagunas facultativas). En la Figura A.4.3.2. se representan estos dos sistemas de mezcla.

4.3.3 Lagunas de Estabilización

Una laguna de estabilización es una masa de agua relativamente poco profunda contenida en un estanque de tierra de configuración controlada, cuya finalidad es el tratamiento del agua residual.

La diferencia básica entre este proceso de tratamiento de aguas residuales y el proceso convencional de lodos activados es que en

las lagunas de estabilización no se utiliza equipo de aireación. El oxígeno necesario en las lagunas se obtiene de la superficie natural de aireación y de las algas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas por la fotosíntesis se utiliza por las bacterias para la degradación aerobia de la materia orgánica. Los productos de esta degradación (CO_2 , amoníaco, fosfatos) son utilizados de nuevo por las algas. Esta relación simbiótica cíclica entre algas y bacterias se presenta esquemáticamente en la Figura A.4.3.3.

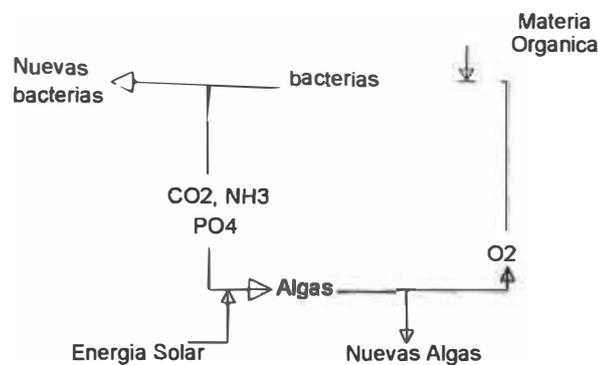


Figura A.4.3.3. Relación simbiótica cíclica entre algas y bacterias

El mecanismo representado en la Figura A.4.3.3. explica las variaciones diurnas del nivel de oxígeno disuelto y del pH que se presenta en las lagunas de estabilización de aguas residuales. Durante el día, en presencia de luz solar, se produce la fotosíntesis y la obtención de oxígeno como consecuencia de ello. Aunque parte del oxígeno producido en la fotosíntesis se utiliza en la respiración, durante el día se puede estar en situación de obtener una cantidad adicional importante de oxígeno que haga que los valores del OD excedan a los de saturación. Durante la noche no hay producción de oxígeno aunque algas y bacterias lo utilizan, lo que da lugar a una disminución del OD. Las lagunas de estabilización de aguas residuales son factibles cuando se dispone de grandes superficies de terreno a bajo costo y cuando la calidad exigida al efluente no es muy estricta. Si la DBO del afluente es alta, la demanda de oxígeno es superior a la que se puede cubrir mediante fotosíntesis y

aireación superficial natural. Bajo estas circunstancias la concentración de OD en el agua residual cae bruscamente hasta un nivel muy bajo prevaleciendo la degradación anaerobia. Los productos finales de la degradación anaerobia de la materia carbonosa son $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$, en contraste con $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ de la degradación aerobia.

Las lagunas en las que las capas superiores son aerobias y las inferiores anaerobias se denominan lagunas facultativas. En este tipo de lagunas existen tres zonas:

- 1) Una zona superficial donde las algas y bacterias aerobias existen en una relación simbiótica.
- 2) Una zona anaerobia inferior en la que los sólidos acumulados son activamente descompuestos por bacterias anaerobias.
- 3) Una zona intermedia, en parte aerobia y en parte anaerobia, donde la descomposición de los residuos orgánicos es llevada a cabo por las bacterias facultativas.

La mayoría de las balsas de estabilización corresponden a esta categoría.

Debido a los tiempos de retención elevados, normalmente alrededor de dos meses, la disminución de la concentración de compuestos orgánicos refractarios que no puede conseguirse mediante lodos activos o lagunas aireadas puede lograrse en balsas de estabilización. De esta forma, una disposición adecuada podría ser balsas de estabilización a continuación de un proceso de lodos activos (o de una laguna aireada) para completar la degradación.

4.3.4 Filtros Percoladores

Todos los reactores biológicos aerobios descritos anteriormente suponen la presencia de un crecimiento biológico que se mantiene en suspensión dentro del reactor. Por esta razón, se denominan reactores de crecimiento biológico en suspensión. Se ha desarrollado otro tipo de reactor en el que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico, que se mantiene fijo en él. Estos

reactores se denominan reactores de crecimiento biológico asistido. Los filtros percoladores pertenecen a este tipo de reactores de crecimiento asistido. El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola de forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo.

En la Figura A.4.3.4 se presenta un diagrama de la sección típica de un filtro percolador.

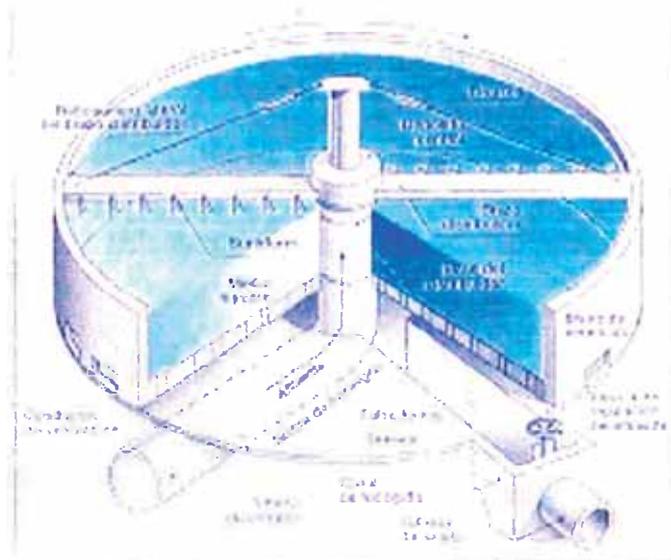


Figura A.4.3.4. Filtro percolador [Stenco, 2000, p.358]

4.3.5 Biodiscos

Los biodiscos o sistemas biológicos rotativos de contacto (RBC: Rotating biological Contactors) son sistemas para el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. En el caso de los biodiscos, la biomasa se presenta simultáneamente en forma de crecimiento asistido (como en el caso de los filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (como en el caso de los fangos activados).

En la Figura A.4.3.5. se presenta un diagrama de una unidad típica de tres etapas. Cada etapa está formada por una serie de discos no

muy separados, normalmente fabricados de poliestireno o polipropileno con diámetros comprendidos entre 3-4 m [Ramalho, 1996, p.493].

Estos discos se mantienen paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros. Los ejes tienen longitudes de 7,5 m aproximadamente, pudiendo alojar de esta forma un gran número de discos.

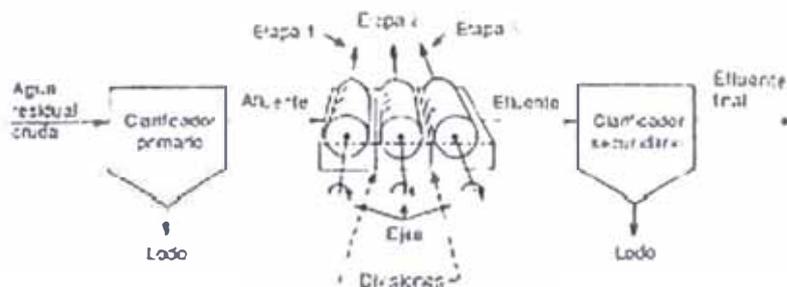


Figura A.4.3.5. Esquema de una unidad RBC típica [Ramalho, 1996, p.494].

Estas unidades se disponen en tanques divididos por paredes tal como se presenta en la Figura A.4.3.5. La alimentación de agua residual pasa a través de estos tanques en serie de forma que los ejes se mantienen ligeramente por encima de la superficie del líquido. Esto significa que la superficie de los discos está aproximadamente el 40 % sumergida en todo momento. Los ejes giran continuamente a una velocidad comprendida entre 1 y 2 rpm. Se forma gradualmente un limo biológico de 1 a 3 mm de espesor que comienza a depositarse en las superficies de los discos [Ramalho, 1996, p.494].

Debido a que la acción rotativa de los discos provoca cierta turbulencia en el depósito de líquido, existirá en todo momento una concentración limitada de biomasa en suspensión debido a que parte del crecimiento de limo se separa de los discos además del que se pierde por arrastre de la materia sin vida. En consecuencia, la disminución de la DBO en los biodiscos se presenta simultáneamente mediante un mecanismo similar al del filtro

percolador, por la presencia del limo formado junto al disco, así como también mediante un mecanismo análogo al de los lodos activos, por la presencia de la biomasa en suspensión

El efluente de la última etapa de los biodiscos fluye a un clarificador secundario tal y como se muestra en la Figura A.4.3.5.

Si se establece una comparación entre los sistemas biológicos rotativos y el proceso convencional de lodos activos, pueden destacarse algunas ventajas de los primeros sobre el segundo:

- 1) Bajo consumo de energía y mantenimiento más sencillo
- 2) Ya que es posible en cada etapa un cultivo biológico diferente se cuenta con un grado adicional de flexibilidad en el proceso. Puede conseguirse bastante nitrificación desarrollando cultivos de bacterias nitrificantes selectivas en las últimas etapas.
- 3) La biomasa presenta en general buenas características de sedimentación con lo que se disminuye el coste de la clarificación secundaria.
- 4) No se necesita reciclado de la biomasa.

Para finalizar, debe mencionarse una desventaja, que es la presencia de una pequeña película líquida de gran superficie sobre la zona húmeda de los discos expuesta al aire ambiente, lo que lleva al peligro de congelación en el caso de operación en climas fríos. En tales casos las unidades de tratamiento deben alojarse en un edificio cerrado lo que incrementa el coste del inmovilizado.

CAPITULO V

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. UBICACIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se ha diseñado un tanque rectangular conformado por 3 unidades, las cuales serán denominadas “Reactor Biológico”, “Clarificador Secundario” y “Canal de Recolección”, respectivamente. Este tanque ha sido ubicado en un área muy cercana al sedimentador existente para la facilidad de captar el efluente proveniente de la unidad en mención y para luego ser conducidas hacia la planta piloto de lodos activados instalado en la Curtiembre. (Ver Fig. N° 5.1).

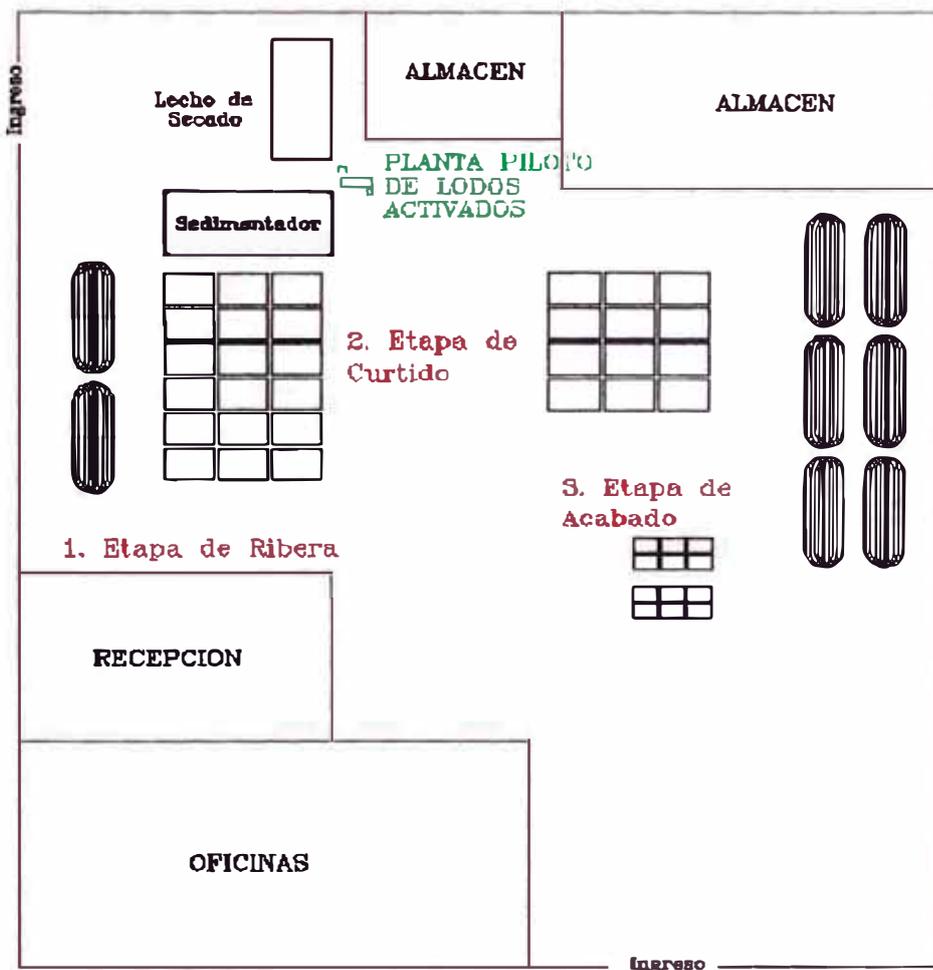


Fig. N° 5.1: Ubicación de la Planta Piloto de lodos activados

5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS

La Planta Piloto de Activados a escala laboratorio esta conformado por las siguientes unidades:

- Un sedimentador primario, conformado por un balde transparente.
- Un tanque, conformado en su interior por un Reactor, un sedimentador secundario y una canaleta de recolección de agua tratada, y;
- Una cámara de recolección, similar a una cisterna de reunión de agua tratada.

Las dimensiones de las unidades en mención son las siguientes:

- Sedimentador primario; balde de plástico de 20 L de capacidad (estándar)
- Tanque que tiene 03 unidades es de material vidrio transparente de 6 mm; son,
 - ❖ Reactor Biológico; 0.50 mL de largo por 0.25 mL de ancho (área 0.125 m²) con una altura de 0.24 mL. (vol. 30 L)
 - ❖ Sedimentador secundario; 0.15 mL de largo por 0.25 mL de ancho (área 0.0375 m²) con una altura de 0.24 mL. (vol. 9 L)
 - ❖ Canal de recolección; 0.05 mL de largo por 0.25 mL de ancho (área 0.0125 m²) con una altura de 0.05 mL.
- Cámara de Recolección, formado por una caja de tecnopor con las siguientes dimensiones 0.20 de ancho por 0.30 de largo con una altura de 0.15 mL; siendo el Vol. aprox. de 9 L de capacidad

El sedimentador primario, representado por el balde tiene una contra pendiente de 3.0% reclinado en sentido contrario a la salida del agua residual sedimentada, con la finalidad de evitar obstrucción en el caño instalado y asimismo en el recorrido de ella a través de la tubería de 1/8" de PVC plástico flexible. Esta fue colocada sobre una banca, como se puede apreciar en las graficas mostradas, y sostenida por atrás mediante

otros baldes de igual capacidad, donde se almacena agua sedimentada tratada proveniente del sedimentador existente de la Curtiembre.



Foto N° 5.2.1: Vista de la Planta de Lodos Activados

5.3. MATERIALES DE FABRICACIÓN: Los materiales usados para la fabricación y algunos elementos complementarios en la planta de lodos activados a escala laboratorio, podemos mencionar a los siguientes:

- ✓ Balde de Plástico de 20 L de capacidad incluido caño.
- ✓ Llave reguladora de caudal.
- ✓ Tubería de PVC flexible de D=1/8"
- ✓ 02 bancas de madera
- ✓ Vidrio de 6 mm de espesor para el diseño del Tanque (reactor+sedimentador+canal recolección)
- ✓ Pegamento de vidrio
- ✓ 02 reguladores de metal para la toma de muestras
- ✓ 02 bombas de pecera
- ✓ Difusores porosos de 8" de largo
- ✓ Caja de tecnopor de 0.20x0.30x0.15 m

5.4. CRITERIOS DE DISEÑO:

5.4.1. Determinación de Parámetros Biocineticos

Para el diseño respectivo de las unidades como el Reactor Biológico y Sedimentador Secundario, se realizó primero un diseño preliminar de la planta de lodos activados con parámetros biocineticos calculados mediante un experimento previo realizado por los tesisistas trabajando con el agua residual industrial proveniente del sedimentador existente de la Curtiembre. En base a estos parámetros, se trabajó el diseño respectivo, siendo la metodología de trabajo preliminar el siguiente:

- I. Caracterización del agua residual industrial de la curtiembre.
- II. Aplicación de lodo activado proveniente de una planta de lodos activados real, en este caso de la Planta de lodos Activados de Puente Piedra. (TRH en este diseño fue de 3,4 y 5 horas en diferentes días de trabajo)
- III. Determinación de resultados mediante análisis de los parámetros de DQO en el afluente y efluente, y finalmente SSV en el reactor.
- IV. Determinación de los parámetros biocineticos
- V. Diseño de la planta de lodos activados con los parámetros biocineticos y la determinación del número de bombas para la aplicación de Oxígeno al reactor que se instalara.

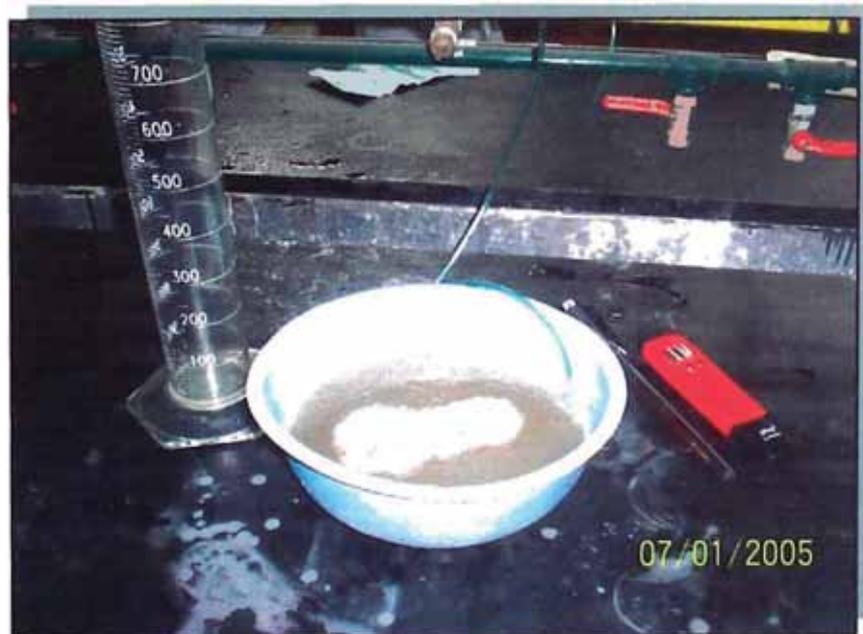


Foto. Nº 5.4: Esquema Preliminar para la determinación de los parámetros biocineticos en el diseño de la Planta de Lodos Activados.

Este trabajo inicial duro un lapso de 03 días siendo las fechas del 18 al 20 de junio del 2007.

A continuación se describe la metodología de trabajo para la determinación de los parámetros biocinéticos:

I. Caracterización del agua residual industrial de la curtiembre.

En la Tabla 4.4. se aprecia las concentraciones promedios de la caracterización del agua residual industrial para la realización en la determinación de los parámetros biocinéticos. El agua industrial analizada fue tomada el día 11 de Junio a las 7.00 am de la Curtiembre. El agua residual industrial es proveniente del Sedimentador Primario, la cual esta ubicada en las instalaciones de la Curtiembre, con dimensiones de 6m de largo por 2.5 m de ancho y una profundidad de 4m.

Tabla 4.4. Concentraciones Promedios del Agua Industrial de la Curtiembre

PARAMETRO (*)	UNIDAD	RESULTADOS	LIM. MAX. PERMISIBLE (**)	FECHA
Ph		10.60	6.5-9.5	11/06/07
Temperatura	°c	19.20°c	35°c	11/06/07
Sólidos totales	mg/L	10 640	-	11/06/07
Sólidos suspendidos	mg/L	1 880	1 000	11/06/07
DBO	mg/L	1065	1000	16/06/07
DQO	mg/L	2400	2500	11/06/07
Aceites y grasas	mg/L	27	100	13/06/07
Alcalinidad total	mg/L	2600	-	11/06/07
Cromo hexavalente	mg/L	<0.1	0.5	13/06/07

(*) Los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

(**) Decreto Supremo N°003-2002 – PRODUCE: "Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel"

II. Análisis de Lodo Crudo.

En la Tabla 4.4.1. se aprecia el lodo aplicado como inculo en el reactor para la determinación de los parámetros biocinéticos para el diseño de la Planta de Lodos Activados.

Este inculo fue aplicado en la Planta de Lodos a Escala Piloto para el Tratamiento del Agua Industrial de la Curtiembre.

Los resultados obtenidos en el análisis del lodo crudo proveniente de la planta de lodos activados de Puente Piedra, muestran concentraciones promedias para un acondicionamiento, aclimatación y adaptación de microorganismo para el tratamiento respectivo del agua industrial del curtido.

TABLA 4.4.1. RESULTADOS DEL LODO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PUENTE PIEDRA (LODO CRUDO)

PARAMETRO (*)	UNIDAD	LODO DE LA PTAR DE PUENTE PIEDRA
Humedad		99.043
Ph		7.07
Sólidos totales	mg/L	12706
Sólidos volátiles	mg/L	7000
DBO	mg/L	2280
DQO	mg/L	9424.8
Nitrógeno total	mg/L	1712.14
Nitrógeno amoniacal	mg/L	1695.77
Nitrógeno orgánico	mg/L	16.37
Carbono orgánico total	mg/L	1064.61
Alcalinidad	mg/L	1263
Ácidos grasos volátiles (como ácido acético)	mg/L	2300
Coliformes fecales	NMP/100mL	1300
Parasito	Huevos /Litro	<1
Salmonella	UFC/100mL	0

(*) los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

III. Resultados de los análisis.

A continuación se presenta los resultados obtenidos de DQO y SSV del afluente y efluente durante estos 3 días de trabajo, siendo esta un preliminar para el diseño respectivo de la Planta de Lodos Activados a Escala Piloto.

Tabla 4.4.2. Concentraciones Promedias en el Tratamiento del Agua Industrial de la Curtiembre

FECHA	PARAMETRO (*)	UNIDAD	RESULTADOS		
			Afluente	Reactor	Efluente
Lunes, 18 de junio '07	DQO	mg/L	1690	-	1280
	SSV	mg/L	-	220	-
Martes, 19 de junio '07	DQO	mg/L	1640	-	1020
	SSV	mg/L	-	240	-
Miércoles, 20 de junio '07	DQO	mg/L	1770	-	1010
	SSV	mg/L	-	280	-

(*) los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

IV. Determinación de Parámetros Biocineticos.

Con estos resultados obtenidos durante los días de trabajo como análisis preliminar para el diseño de la planta de lodos activados se determino los parámetros biocineticos para esta agua residual industrial de curtiembre, pero es importante recalcar que estos parámetros solo se determinaron para poder hacer un diseño de la Planta de lodos a escala laboratorio, después de la implementación de la planta de lodos en la curtiembre, y durante un lapso de 2 meses de análisis en forma diaria se podrá determinar los parámetros mas precisos para este tipo de agua industrial.

Los parámetros biocinéticos que se determinaron con los resultados obtenidos fueron:

- ✓ K: Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de m.o.
- ✓ Ks: Constante de saturación de sustrato
- ✓ Kd: Constante de declinación endógena
- ✓ Y: Constante de producción de lodos
- ✓ Um: Máxima tasa de crecimiento específico

A partir de la Tabla 4.4.2.-I se realiza un cuadro de resumen para el cálculo de parámetros biocinéticos:

Tabla 4.4.2.-I. Cuadro de Resumen

FECHA	DQO (mg/lit)	DQO (mg/lit)	$\theta = \theta_c$	X
	AFLUENTE (*)	EFLUENTE (*)	días	mg SSV/lit
Miércoles 20 de junio	1770	1010	0.2083	280.00
Martes 19 de junio	1640	1020	0.1667	240.00
lunes 18 de junio	1690	1280	0.1250	220.00

(*) Los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

A través de las ecuaciones planteadas en el capítulo IV, se deduce los siguientes cuadros para la determinación de los parámetros biocinéticos, seguido bajo la metodología de **Jairo Alberto Romero Rojas "Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño"-Colombia 1999.**

a. Cálculo de k, Ks

De conformidad con la ecuación I, se elabora el cuadro respectivo

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_S}{kS} + \frac{1}{k}$$

...Ecuación I

Cuadro 4.4.2.-II. Cuadro de Calculos - k, Ks

$S_0 - S$ mg/lt	$X\theta$ mg SSV * dia / lt	$X\theta/(S_0 - S)$ dia	$1/S$ L/mg	$1/\theta_c$ D^{-1}	$(S_0 - S)/X\theta$ D^{-1}
760	58.33	0.076754	0.00099010	4.8	13.0
620	40.00	0.064516	0.00098039	6.0	15.5
410	27.50	0.067073	0.00078125	8.0	14.9

Nota: El cuadro de Calculo se encuentra en forma decreciente con respecto a las fechas.

Se elabora un grafico con $X\theta/(S_0-S)$ en la ordenada y $1/S$ en la abscisa para obtención de una recta, siendo los resultados mediante la aplicación de mínimos cuadrados:

De los resultados:

$$\begin{aligned} 1/K &= 0.051497956 \\ K &= 19.418 \text{ d}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_s / K &= 19.56936129 \\ K_s &= 380.0026783 \text{ mg/lt} \end{aligned}$$

b. Calculo de Y y Kd

De conformidad con la ecuación II, se elabora el cuadro respectivo:

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(S_0-S)}{X\theta} - K_d$$

...Ecuación II

Cuadro 4.4.2.-III. Cuadro de Calculos - Y y Kd

$(S_0-S)/X\theta$	$(1/\theta)$
13.03	4.80
15.50	6.00
14.91	8.00

Nota: El cuadro de Calculo se encuentra en forma decreciente con respecto a las fechas.

Se elabora un grafico de $1/\theta$ contra $(S_0-S)/X\theta$, para obtener una recta cuya pendiente es igual a Y y cuya ordenada en el origen es igual a Kd. Asimismo $\mu_m = KY$

De los resultados

$$K_d = 5.037 \text{ d}^{-1}$$

$$Y = 0.780664 \text{ mg SSVLM / DQO consumido}$$

$$\mu_m = 3.932007099 \text{ d}^{-1}$$

Finalmente, con los resultados obtenidos se presentan el cuadro de Resumen con los Parámetros Biocinéticos para el diseño de la Planta de Lodos a escala Piloto.

Tabla 4.4.3. Parámetro Biocinéticos

PARAMETRO	NOMBRE	UNIDAD	VALORES
K	Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de m.o.	d-1	19.42
Ks	Constante de saturación de sustrato	mg/lt	380.00
Kd	Constante de declinación endógena	d-1	5.04
Y	Constante de producción de lodos	mg SSVLM / DQO consumido	0.78
Um	Máxima tasa de crecimiento específico	d-1	3.93

V. Diseño de la Planta de Lodos a Escala Piloto y Determinación del número de Bombas.

V.1. Diseño de la Planta de Lodos a Escala Piloto

Con estos parámetros biocinéticos determinados en laboratorio con el agua residual industrial que será aplicada a la planta de Lodos Activados, se diseñó la planta a escala piloto, trabajando con un caudal de diseño de 30 l.p.d. y un tiempo de retención hidráulica de 1 día¹.

Se presenta a continuación los cálculos realizados para el dimensionamiento de las unidades de la planta piloto, asimismo el cálculo del número de difusores utilizados:

¹ Vidal, Bornhardt (2004). "Combinación De Procesos Biológicos Y Oxidación Avanzada Para El Tratamiento De Una Corriente De Proceso De La Industria De Curtiembre"

DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS

I. DATOS DE LA ALIMENTACION INICIAL

		30 lt/día
1 Caudal		3.47222E-07 m ³ /seg.
		0.03 m ³ /día
2 Concentracion de DBO afluente		1065 mg/lt
3 Concentracion de DQO afluente		2400 mg/lt
4 Solidos Volátiles en la alimentacion inicial		0 mg/lt
5 Alcalinidad Total de la alimentacion Inicial		2600 mg/lt
6 Temperatura	verano	20 °C
	invierno	13 °C
7 relacion entre los SSVLM / SS liquido de la mezcla		0.8

II. DATOS SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE

1 Concentracion de DQO Efluente	250 mg/lt
2 Solidos en suspension en el efluente	10 mg/lt

III. INFORMACION SOBRE EL DISEÑO DEL REACTOR BIOLÓGICO

1 Valor de diseño de la Concent. De MLVSS en el reactor	4760 mg/lt	
2 Valor de diseño de la Concent. De VSS en la corriente reciclado	12000 mg/lt	
3 Porcentaje de solidos volatiles en MLSS es 80%(Fv)	0.8	
4 Temperatura del aire ambiente	verano	25 °C
	invierno	10 °C
5 Parametros Biocinetlicos a temp. De laboratorio		
TASA MAXIMA DE UTILIZACION DE SUSTRATO POR UND DE M/	K = 19.41824634 d ⁻¹	
CONSTANTE DE SATURACION DE SUSTRATO	K _s = 380.0026783 mg/lt	
CONSTANTE DE DECLINACION ENDOGENA	K _d = 5.036744798 d ⁻¹	
CONSTANTE DE PRODUCCION DE LODOS	Y = 0.780664349 mg SSVLM / DQO consumido	
EDAD DE LODO	θ _c = 16 días	
	θ = 1.03 coeficiente de arrhenius para K <1.0-1.	
	θ = 1.05 coeficiente de arrhenius para kd <1.03	

Nota. Los datos colocados de los Parametros de DBO, Solidos fueron analizados en el laboratono N°20 de la Facultad de Ingenieria Ambiental de la Universidad Nacional de Ingenieria.

PASO I. (Kg DBO₅ / día producido)

$$EC. Kg DBO_5 / dia = 86.4 \cdot Q_f (S_i - S_e)$$

Kg DBO ₅ / día	0.0645
---------------------------	--------

PASO II. Estimacion preliminar de la Potencia

$$EC. HP = 86.4 Q_f (S_f - S_e) / 21$$

Potencia	0.003071429 HP
----------	----------------

PASO III. Estllmaclon del T_w

$$EC. T_w = (3.6 \times 10^6 Q_f T_i + 1134 HP T_a) / (3.6 \times 10^6 Q_f + 1134 HP)$$

a. condiciones veraniegas

T _i	20 °C
T _a	25 °C

T _w	20.0 °C
----------------	---------

b. condiciones invierno

T _i	13 °C
T _a	10 °C

T _w	13.0 °C
----------------	---------

PASO IV. Valores de parametros Biocienticos para T°c Tw de invierno y verano

ec. Para $K_{24.236^{\circ}\text{C}}$ $K_{tw} = K_{20} \Theta^{tw-20}$
 ec. Para $K_{d, 24.236^{\circ}\text{C}}$ $K_{d,tw} = K_{d,20} \Theta^{tw-20}$
 ec. Para $b_{24.236^{\circ}\text{C}}$ $b_{tw} = b_{20} \Theta^{tw-20}$

a. condiciones verano

Tw	20.000 °C
K	19.41825 d ⁻¹
Ks	380.00268 mg/ lt
K _{d,tw}	5.03674 d-1
k inv	0.05110 d ⁻¹ * lt/mg

b. condiciones invierno

Tw	13.000 °C
K	15.78881 d ⁻¹
Ks	308.97695 mg/ lt
K _{d,tw}	3.57952 d-1
k inv	0.05110 d ⁻¹ * lt/mg

los parametros Y y a son independientes de la temperatura, esto es:

$$Y = 0.780664349 \text{ Kg MLVSS producidos/Kg DBO}_5$$

PASO V. Tiempo de residencia. Tr

1 criterio N°01

$$t = (S_f - S_e) / k_{inv} X_{v,e} S_e \quad \text{condiciones invernales}$$

t	0.001 hr
t	0.035 dias

criterio N°02

de laboratorio

$$(A/M) = 0.504201681 \text{ d-1}$$

$$t = S_f / X_{v,e} (A/M)_{opt}$$

t	1.000 dias
---	------------

recalculando el tiempo de retencion

t	1.000 dias
---	------------

2 relacion actual de (A/M), ec.

$$A/M = S_f / X_{v,e} t$$

$$A/M = 0.50420 \text{ d-1}$$

rango es de < 0.3-0.6 >

3 DBO soluble real en el efluente

$$S_e = S_f / (1 + K_{25} X_{v,e} t) \quad \text{condiciones de verano}$$

$$S_e = 9.82651 \text{ mg/lt}$$

PASO VI. Volumen del Reactor

$$V = Q_r t$$

$$V = 0.03 \text{ m}^3$$

$$V = 30 \text{ lt}$$

$$a = \Rightarrow 0.25 \text{ m}$$

$$L = \Rightarrow 0.50 \text{ m}$$

$$h = \Rightarrow 0.24 \text{ m}$$

comprobando Vreactor

$$\text{Vol.} \Rightarrow 30.00 \text{ lts}$$

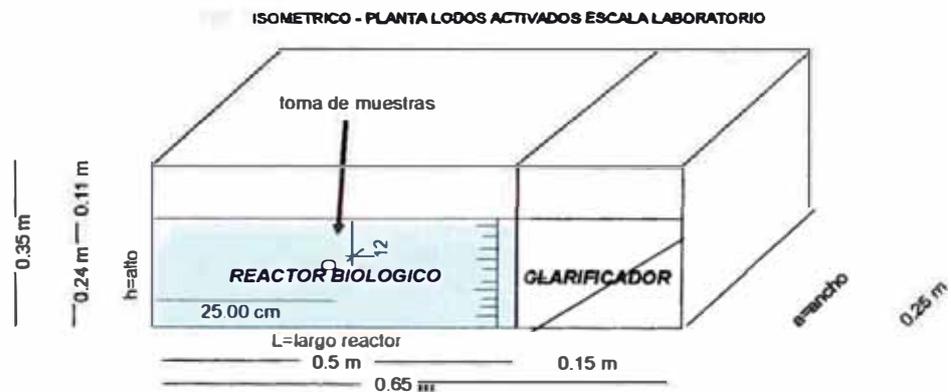
$$\text{Vol. Clarificador} \Rightarrow 6.00 \text{ lts}$$

recalculando a volumen total

$$a = \Rightarrow 0.25 \text{ m}$$

$$L = \Rightarrow 0.65 \text{ m}$$

$$h = \Rightarrow 0.35 \text{ m}$$



PASO VI. Calcular la cantidad de fango a purgar diariamente.

a. Determinar Y_{obs} utilizando la ec.

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1 + K_d \theta_c)}$$

$$Y_{obs} = 0.010197941$$

b. Determinar la masa de fango activado volátil purgado por medio de la ec.

$$P_x = Y_{obs} Q(S_o - S)$$

$$P_x = 0.000657767 \text{ Kg/día}$$

c. Determinar la masa de total de fango en base a los sólidos totales en suspensión

$$P_{x(ss)} = \frac{P_x}{\text{relacion}}$$

$$P_{x(ss)} = 0.000822209 \text{ Kg/día}$$

d. Determinar la cantidad de Lodo a purgar

masa a purgar = incremento de SSLM - SS perdidos en el efluente

$$\text{masa a purgar} = 0.001 \text{ Kg/día}$$

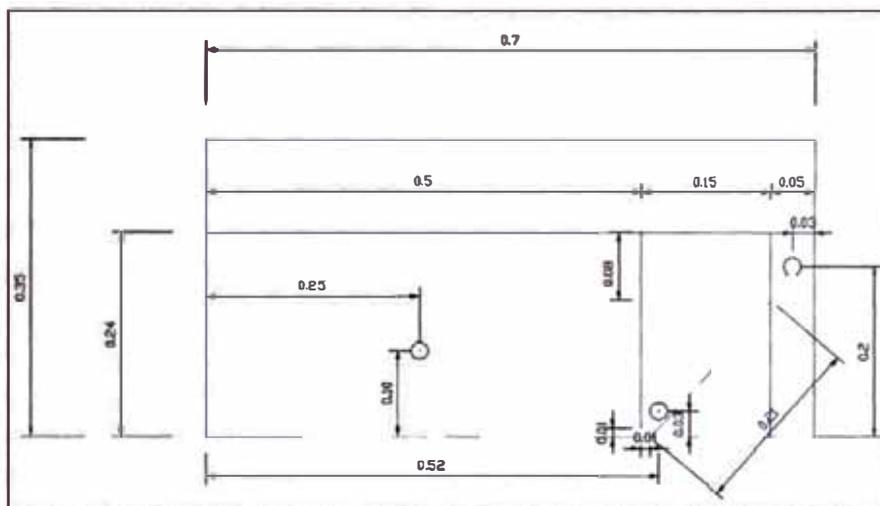


Fig. N° 5.3: Corte Longitudinal de la Planta Piloto de Lodos Activados

V.2. Determinación del Número de Bombas para la Planta a Escala Piloto

Para el suministro del aire, se inyectara a la planta de lodos activados mediante unos difusores porosos de 8" de long. a través de unas bombas, las cuales se determino en laboratorio la capacidad Nominal del equipo en el proceso de aireación por Difusión, siendo los resultados determinados los siguientes valores:

Cuadro V.2. Resultados de OD en el Tiempo

VOL.	28.00	L
O.D.		
INICIO	6.80	mg/lt
Co	0.00	mg/lt
Cs	9.30	mg/lt

FRASCO	OD (mg/lt)	TIEMPO
0	0	0
1	0.9	2
2	1.7	4
3	2.3	6
4	2.9	8
5	3.6	10
6	4.0	12
7	5.1	14

De conformidad con la ecuación IV, se elabora el siguiente cuadro de resumen:

$$\ln(Cs-Ct) = cte + -k_d a t$$

...Ecuación IV

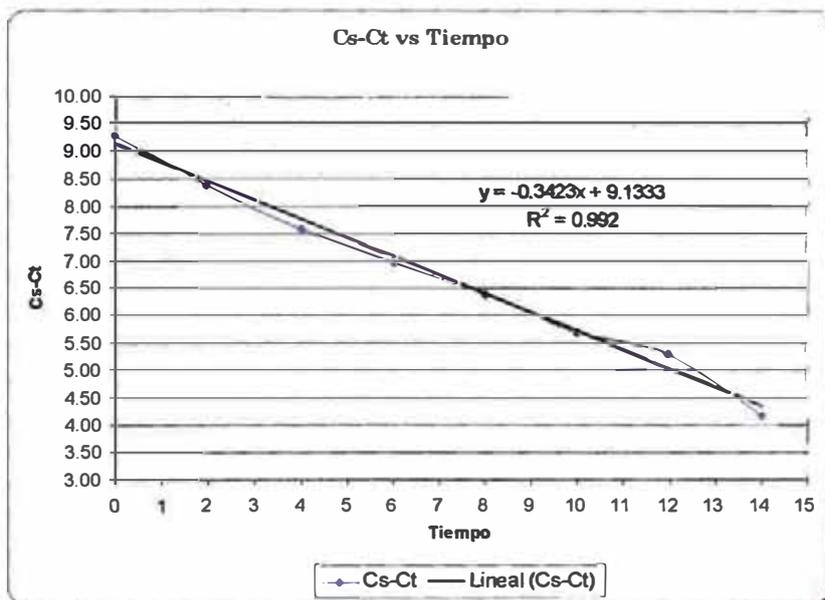
Cuadro V.2 Resultados de Déficit (Cs-Ct) en el Tiempo

VALORES DE DEFICIT

TIEMPO	Cs-Ct	Cs-Co / Cs-Ct
0	9.30	1.000
2	8.40	1.107
4	7.60	1.224
6	7.00	1.329
8	6.40	1.453
10	5.70	1.632
12	5.30	1.755
14	4.20	2.214

Se elabora un grafico de tiempo contra Cs-Ct.

Grafico 4.4. Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión



En el grafico 5.4. se obtiene una serie de puntos que mediante el método de mínimos cuadrados se forma una recta siendo esta la que se aprecia a continuación y sus valores interpretados mediante la ecuación IV.

$$y = 9.133333 + -0.34226 x$$

A través de la recta hallada, se determina los puntos sobre la recta en la variación del tiempo de 0' a 30' para observar la variación de déficit de oxígeno.

Cuadro V.3 Resultados de Déficit (Cs-Ct) en el Tiempo con la recta hallada

x	y
Tiempo	Cs-Ct
0	9.133
2	8.449
4	7.764
6	7.080
8	6.395
10	5.711
12	5.026
14	4.342
16	3.657
18	2.973
20	2.288
22	1.604
24	0.919
26	0.235

A partir de los resultados obtenidos en el cuadro V.3. se determina mediante la ecuación V, el coeficiente de transferencia $k_L a$,

$$k_L a = 2.3/t * \log((Cs - c_0)/(Cs - c_t)) \dots \text{ecuación V.}$$

Aireación por Difusión,

$$k_L a = 8.441579 \text{ hr}^{-1} \quad \text{coeficiente de transferencia}$$

$$dc/dt = K_L a (C_s - C) \quad \text{capacidad nominal de oxigenación del equipo}$$

$$dc/dt = 78.507 \text{ g/h.m}^3$$

capacidad nominal del equipo de aireación (N)

$$N = V dc/dt$$

donde

V; Volumen del frasco utilizado, 28 L

dc/dt; capacidad nominal de oxigenación del equipo

N **0.002198 Kg O² / h**

N **2.19819 gr O² / h**

La determinación en laboratorio del equipo de bombeo para la inyección de aire mediante el análisis "Aireación por Difusión" arrojó un valor de 2.19 de gr O² / h.

La determinación teórica de la cantidad de oxígeno que se deberá suministrar a la Planta de Lodos Activados a escala laboratorio, es de 3.91 de gr O² / h.; por lo que se necesitara de **02 bombas** de la misma capacidad y potencia, en el proceso de aireación.²

5.4.2. Criterios Técnicos en la Construcción de la Planta de Lodos Activados a escala Piloto

Con este análisis previo, se diseñó la planta de Lodos Activados, a continuación se mencionara algunos criterios técnicos de cada unidad que conforma la planta de Lodos Activados:

5.4.2.1. Sedimentador Primario:

Para garantizar una mejor visualización del ingreso del agua residual cruda proveniente de la curtiembre se optó por usar un balde transparente de 20 L de capacidad y observar el volumen de sedimentos para el retiro respectivo de ella y evitar la obstrucción del caño para el ingreso del agua hacia el reactor biológico. Asimismo se consideró una contra pendiente al balde, es decir el balde estaba apoyado sobre una banca la cual tenía una contra pendiente de 3.0% cuya finalidad fue la sedimentación de las diversas partículas presentes en el agua cruda residual industrial

² Ver calculo adjuntos en el ítem 5.4.1.V.1

en un área que no obstruyera la salida del agua residual hacia el Reactor Biológico.

5.4.2.2. Reactor Biológico y Sedimentador Secundario :

El reactor Biológico y Sedimentador Secundario fueron contruidos de vidrio de 6 mm. Se realizo de vidrio por ser un material de bajo costo y una facilidad de poder visualizar el lodo activado presente en el Reactor. El Sedimentador es un tronco de pirámide invertida. La conexión entre el Reactor Biológico y Sedimentador es una abertura de 1 cm. dejado en el fondo, asimismo permitiendo una recirculación del lodo sedimentado por gravedad. Se coloco una pantalla entre el reactor y el sedimentador secundario de gran altura para evitar el paso de espumas evitando la mezcla con el agua residual tratada.

5.5. FORMA, PARTES Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS.

Cada una de las unidades en forma distinta consta de los siguientes componentes, cuyas características de forma y dimensionamiento se mencionan a continuación:

5.5.1. PRIMERO: Sedimentador Primario

Como se había mencionado en el ítem anterior, el sedimentador primario es un balde de 20 L de capacidad transparente, de un radio 0.27m y una altura de 0.36m aprox. Para la salida del agua sedimentada hacia el reactor biológico, se coloco un caño adaptando una tubería de 1/8" de PVC flexible a ella una altura de 0.05 cm. del fondo del balde. Para el control del caudal constante se coloco una llave reguladora que con un cierre manual se fue graduando y controlando el ingreso del caudal constante hacia el reactor biológico. Lo si se considero fue la de inclinar el balde en contra pendiente para que el sedimento no obstruya la salida del agua tratada sedimentada.

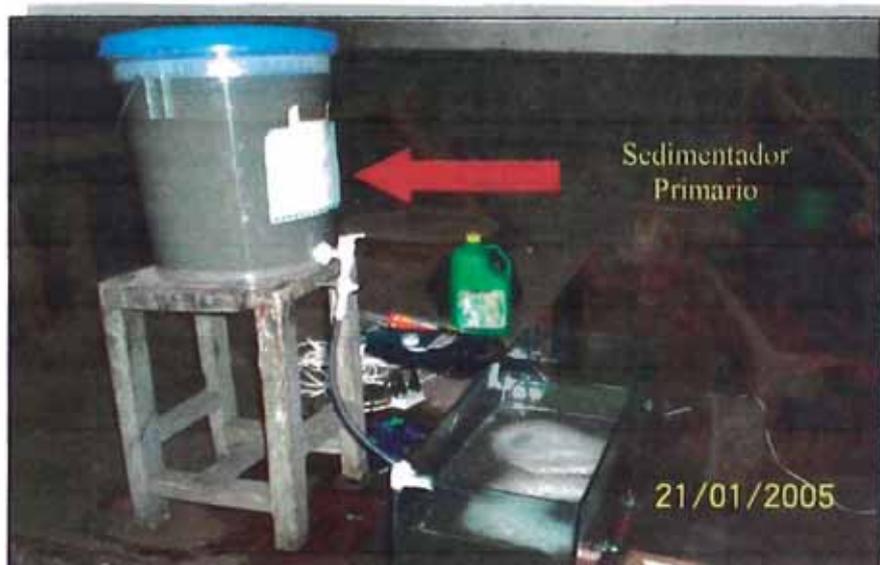


Foto N° 5.5: SEDIMENTADOR PRIMARIO

5.5.2. SEGUNDO: Reactor Biológico

El reactor biológico tiene las siguientes dimensiones, 0.50 mL de largo por 0.25 mL de ancho (área 0.125 m²) con una altura de 0.24 mL. En el interior de esta unidad se colocó unos difusores porosos de 8" de largo conectados de forma independiente a las bombas. Debido a la producción de espumas se colocó una pantalla entre el reactor biológico y el sedimentador secundario para evitar que se mezcle con el agua tratada. Se perforó un orificio en la parte central del reactor para la toma de muestras.



Foto N° 5.5.1: Reactor biológico y Sedimentador Secundario

5.5.3. TERCERO: Sedimentador Secundario

En esta zona, como se aprecia en la figura N°5.5.1., tiene un forma cónica, de dimensiones: 0.15 mL de largo por 0.25 mL de ancho con una altura de 0.24 mL.

Como se menciono antes, se deajo una abertura de 1.0 cm en el fondo para que se de la recirculación del lodo por gravedad es decir por el propio peso del lodo retomar al reactor biológico y evitando el paso de ellos hacia la canaleta de recolección.

5.5.4. CUARTO: Canal de recolección y Cámara de Reunión de agua tratada.

El canal de recolección también se encuentra adherido y a lo ancho del sedimentador secundario con la finalidad de recolectar el agua residual sedimentada, y mediante una tubería flexible de 1/8" conducirla hacia una cámara de reunión similar a una cisterna.

Las dimensiones del canal de recolección son: 0.05 mL de largo por 0.25mL de ancho (área 0.0125 m²) con una altura de 0.05 mL. Mientras de la cámara de reunión: 0.20 de ancho por 0.30 de largo con una altura de 0.15 mL; siendo el Vol. aprox. de 9 L de capacidad.



Foto N° 5.5.2: Cámara de reunión

5.5.5. QUINTO: Toma de muestras de las unidades “Reactor Biológico, Sedimentador Secundario y Cámara de Reunión”

Después de la puesta en marcha de la planta de lodos activados, se inicio la toma de muestras para los análisis respectivos de los diversos parámetros a analizar. Para la toma de muestras, previamente se había realizado perforaciones en el reactor siendo esta en la parte central, en el sedimentador secundario en el fondo donde se acumula el lodo; y en la cámara de reunión solo se vertía el agua hacia los frascos. Estas perforaciones realizadas en el vidrio, tanto en el reactor biológico y sedimentador secundario, se puede apreciar en las figuras N°5.2 y N°5.3.

CAPITULO VI

PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA PILOTO

6.1. IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS:

Los trabajos realizados con relación a la implementación de la planta de Lodos Activados, están referidas a la puesta en marcha de las unidades en mención, por lo que se realizo los siguientes pasos:

- I. Caracterización del Agua Residual Industrial de la Curtiembre
- II. Composición del lodo proveniente de la PTAR de Pte. Piedra
- III. Acondicionamiento del Agua Residual Industrial
- IV. Puesta en Marcha de la Planta de lodos activados

A continuación se detalla los pasos descritos para la puesta en marcha de la planta de lodos activados:

6.1.1. Caracterización del Agua Residual Industrial de la Curtiembre

Desde un inicio, cada vez que iba a ver un ingreso nuevo del agua residual industrial cruda de la curtiembre hacia la planta de lodos activados, estas eran analizadas en el laboratorio respectivo y se determinaba las concentraciones promedios de diversos parámetros como es el caso del ph, T^oc, sólidos, DBO, DQO, cromo hexavalente.

En la tabla 6.1.1. se puede apreciar los resultados de la caracterización del Agua Industrial de Curtiembre en 04 ingresos en diversas fechas hacia la planta de lodos activados a escala piloto, siendo algunas concentraciones mayores a los Limites Máximos permisibles establecidos por la ley.

Tabla 6.1.1. Concentraciones promedios del Agua Industrial de la Curtiembre

PARAMETRO (*)	UNIDAD	LIM. MAX. PERMISIBLE (**)	RESULTADOS			
			11 de Junio	05 de Julio	25 de Julio	03 de Setiembre
Ph		6.5-9.5	10.60	10.7	11.3	11.7
Temperatura	°c	35°c	19.20	16.30	16.30	16.80
Sólidos totales	mg/L	-	10 640	11 750	13 350	14 360
Sólidos suspendidos	mg/L	500	1 880	3 720	4 960	1 720
DBO	mg/L	500	1 065	1 157	1 350	1 250
DQO	mg/L	1500	2 400	2 200	1 920	2 120
Aceites y grasas	mg/L	100	27	-	-	-
Alcalinidad total	mg/L	-	2 600	510	480	420
Cromo hexavalente	mg/L	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

(*) Los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

(**) Decreto Supremo N°003-2002 – PRODUCE: "Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel"

6.1.2. Composición del lodo proveniente de la PTAR de Pte. Piedra

Para la inoculación del lodo proveniente de la PTAR de pte. Piedra, se realizó una caracterización en laboratorio de los diversos parámetros para dar inicio a la puesta en marcha de la planta de tratamiento de lodos activados. Los resultados de caracterización del lodo se presentan en la tabla 6.1.2.:

TABLA 6.1.2. RESULTADOS DEL LODO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PUENTE PIEDRA (LODO CRUDO)

PARAMETRO (*)	UNIDAD	LODO DE LA PTAR DE PUENTE PIEDRA
HUMEDAD		99.043
PH		7.07
SOLIDOS TOTALES	mg/L	12706
SÓLIDOS VOLATILES	mg/L	7000
DBO	mg/L	2280
DQO	mg/L	9424.8
NITROGENO TOTAL	mg/L	1712.14

NITROGENO AMONIACAL	mg/L	1695.77
NITROGENO ORGANICO	mg/L	16.37
CARBONO ORGANICO TOTAL	mg/L	1064.61
ALCALINIDAD	mg/L	1263
ACIDOS GRASOS VOLATILES (como ácido acético)	mg/L	2300
COLIFORME FECALES	NMP/100m 	1300
PARASITO	Huevos /Litro	<1
SALMONELLA	UFC/100ml	0

(*) los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

6.1.3. Acondicionamiento del Agua Residual Industrial

El acondicionamiento de las aguas industriales de la curtiembre se realizó debido a la elevada concentración de ph siendo sus variaciones entre 10.6 a 11.7. por lo que se tuvo que realizar un proceso de neutralización al agua industrial acondicionando el parámetro de Ph a un rango de 6.5-8.5 para que el reactor Biológico no pueda inhibirse y permitir el desarrollo de los microorganismos.

Se tomaron muestras de agua residual industrial en diversos días, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 6.1.3. Caracterización del Agua Industrial de la Curtiembre en Ph

PARAMETRO (*)	FECHA	RESULTADOS
PH	13 de Junio	10.610
	14 de Junio	10.680

(*) los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Para la neutralización del agua residual industrial de la curtiembre se optó por la aplicación de Acido Muriático a 28% de

concentración, y bajar la concentración de Ph al rango deseado, siendo los resultados el siguiente:

Tabla 6.1.3.1. Caracterización del Agua Industrial de la Curtiembre en Ph

PARAMETRO (*)	FECHA	VOL. DE MUESTRA	VOL. APLICADO DE ACIDO MURIATICO	RESULTADOS	
				INICIO	FIN
PH	13 de Junio	200 ml	1.00 ml	10.610	8.105
	14 de Junio	200 ml	1.10 ml	10.680	6.394

(*) los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Según los resultados obtenidos de los análisis realizados, se optó por aplicar 1.00 ml de ácido muriático por cada 200 ml de agua residual industrial.

Finalmente, con la aplicación del ácido muriático al agua industrial se podía regular el PH, por lo que en las cuatro ocasiones que se tuvo que aplicar el agua industrial de la curtiembre a la Planta de lodos activados, se tuvo que realizar el proceso de neutralización y acondicionamiento del residuo líquido.

6.1.4. Puesta en Marcha de la Planta de lodos activados

Para la puesta en marcha de la planta de lodos activados se siguió los pasos que a continuación se detallan:

1. Se aplicó lodo proveniente de la PTAR de Pte. Piedra al reactor diluida con agua residual industrial en una proporción de 1/9, es decir la mezcla de 1 lts de agua residual industrial con lodo, son:
 - a. Agua residual industrial : 900 ml
 - b. Lodo : 100 ml

2. Finalmente el control respectivo de los SSV en el reactor hasta encontrarse en el rango recomendado de 2000 – 3000 mg/lit. ¹

Siendo esta etapa el inicio del arranque de la planta de lodos activados por espacio de 2 meses y ver la reacción de este sistema biológico a un agua residual industrial proveniente de una industria de Curtiembres.



Foto N° 6.1.4.: Puesta en marcha de Planta de lodos Activados

La producción de cueros y pieles generados en la curtiembre, esta iniciando un trabajo a un ritmo bajo, por ende la producción de agua residual no es demasiada alta como consecuencia el proyecto de investigación se limito a adaptar la planta de Lodos Activados a la realidad de la industria de la Curtiembre.

El reactor aireado tiene un volumen de 30 lts y el sedimentador secundario un vol. de 9 lts.

¹ Rango recomendado por Ramalho, R. S. (1993). "Tratamiento de Aguas Residuales", 2a Ed., Editorial Reverté, Barcelona.

En operación, la velocidad de carga orgánica varió dependiendo de las características del agua residual cruda aplicada al reactor (alimentación), variando desde 1.92 – 2.40 kg DQO /m³ día.

Según la caracterización del agua residual industrial crudo de la curtiembre, se observó una concentración de cromo hexavalente baja por lo que en los monitoreos no se hace mención de ellos durante los muestreos inter diarios realizados.

Tabla 6.1.4. Concentraciones de Cr⁺⁶ del Agua Residual Industrial Crudo

FECHA	PARAMETRO (*)	UNIDAD	Agua Residual Crudo
Jueves, 05 de julio '07	Cr+6	mg/L	<0.1
Viernes, 13 de julio '07	Cr+6	mg/L	<0.1
miércoles, 01 de agosto '07	Cr+6	mg/L	<0.1
lunes, 03 de setiembre '07	Cr+6	mg/L	<0.1

(*) Los ensayos se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería.

6.2. PROGRAMA DE MONITOREO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Los análisis respectivos realizados en la planta de Tratamiento de Lodos Activados se midieron en forma inter diario, siendo los parámetros de monitoreo en el Reactor Biológico y Cámara de Reunión, los siguientes:

Tabla 6.2. Parámetros de Monitoreo

PARAMETRO	FRECUENCIA	UNIDAD	
		REACTOR	CAMARA
Ph	Diario	X	X
Temperatura	Diario	X	X
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1 vez / semana	-	X
Demanda Química de Oxígeno	3 veces/semana	-	X
Oxígeno Disuelto	Diario	X	-
Índice Volumétrico de lodos	Diario	X	-
Sólidos totales	Diario	X	X
Sólidos Suspendidos Totales	Diario	X	X
Sólidos suspendidos Volátiles	Diario	X	X

6.3. PRUEBAS REALIZADAS

Las pruebas de laboratorios se llevaron a cabo en los ambientes del Laboratorio N° 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI, entre los que mencionamos:

✓ **Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O):**

La DBO, se define usualmente como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras reestabiliza la materia orgánica putrescible bajo condiciones aeróbicas.

La determinación de este parámetro ha sido realizado a través de resultados preliminares de oxígeno disuelto, mediante el método de Winkler modificado.

Esta prueba depende del factor que el oxígeno oxida Mn^{++} a un alto estado de valencia bajo condiciones alcalinas y que el Mn en alto

de valencia es capaz de oxidar I⁻ a I₂ libre, bajo condiciones ácidas. Así la cantidad de I₂ libre liberado es equivalente al OD originalmente presente disuelto en la sustancia líquida. El Yodo libre se titula con una solución valorada de tiosulfato de sodio empleando almidón como indicador.

Se ajusta la normalidad del tiosulfato para que 1ml equivalga a 1mg/lit de OD, cuando se titula 200 ml de la muestra.

Obtenidos los resultados de oxígeno disuelto requeridos al inicio y final de un periodo de incubación de cinco días, la DBO es obtenida mediante:

$$\text{DBO (mg/lit)} = ((\text{ODb} - \text{ODi}) * (\text{Vol. de botella/ml de muestra}))$$

Donde:

ODb = Oxígeno disuelto del blanco, a fin del periodo de incubación

ODi = Oxígeno disuelto en la dilución de muestra al fin del periodo de incubación

✓ **Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)**

La DQO, es la medida del oxígeno equivalente a la porción de materia orgánica de la muestra susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte, sin la intervención de organismos vivos.

En el presente estudio la determinación se ha realizado en función a diluciones debido a las características de la muestra por presentar elevada fracción orgánica y a través de sustancias reductoras contenidas en los denominados viales de alto rango.

Un mililitro de la muestra diluida se coloca al interior de los viales a fin de promover la reacción que tomará a la sustancia a un color

celeste para luego de dos horas dar la lectura con el equipo de espectrofotometría.

El calculo de la DQO, resulta del producto entre del factor de dilución y la lectura obtenida del equipo después de dos horas.

✓ **Determinación de Sólidos**

- **Sólidos Totales (ST):** La determinación de sólidos totales ha sido realizada por evaporación y secado de una muestra medida en una cápsula de porcelana previamente tarada. Estrictamente a este parámetro le corresponde toda la materia exceptuando el agua contenida en materiales líquidas.
- **Sólidos Disueltos (SD):** Este componente de los sólidos esta constituido principalmente por sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos.
- **Sólidos Suspendidos (SS):** Esta determinación es de gran valor en los análisis de aguas poluidas. Es uno de los mayores parámetros usados para evaluar la concentración de desagües y para determinar la eficiencia del tratamiento aplicado al tratamiento. Este parámetro es considerado plenamente tan significativo como la DBO.

Los sólidos suspendidos son determinados mediante filtración usando papel filtro y pasando a través de este 50ml o menos de la muestra en estudio.

El filtrado es recibido en un crisol Goch y es sometido a evaporación.

Los sólidos suspendidos resultan de la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos contenidos en el filtrado.

- **Sólidos Fijos y Volátiles:** El principal objetivo que se persigue al realizar la determinación de sólidos en desagües, es obtener una medida de la cantidad orgánica presente. Esta prueba es realizada por combustión, en el que la materia orgánica es convertida en anhídrido carbónico y agua, mientras que la temperatura es controlada para prevenir la descomposición y volatilización de las sustancias inorgánicas tanto como sean consistentes con oxidación completa de la materia orgánica. La pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica. El procedimiento normal es el de llevar la ignición a 600 °C, esta es la menor temperatura cerca al cual la materia orgánica, particularmente residuos de carbón resultan de la descomposición química por el calor de carbohidratos y otras materias orgánicas.

CAPITULO VII

DISCUSION DE LA METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESULTADOS ALCANZADOS

7.1 SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A NIVEL PILOTO

El sistema de lodos activados a nivel de piloto, se mencionó en la metodología, se mantuvo en forma continua durante 60 días, trabajando en forma diaria solo 6 horas (sistema batch) acorde a la producción total de los cueros y pieles de la Curtiembre.

Para el control de la operación, se realizaron mediciones de DQO's en el afluente y efluente, biomasa en el reactor (SSV), pH, temperatura y oxígeno disuelto en el reactor.¹

Durante la operación, siempre se mantuvo el caudal constante siendo esta de 30 l.p.s y un tiempo de retención hidráulico de 1 día. En relación con los TRH, cabe señalar que se trabajó dentro de los rangos señalados por referencias de estudios previos. Vidal et al. (2001) señalan que Ahn et al. (1993), en un estudio para el tratamiento de agua residual industrial de curtiembre, trabajaron con TRH entre 48 y 8 horas, encontrado como valor óptimo 24 horas, tiempo que fue considerado en este estudio².

Cada lote de alimentación significó una composición de entrada de materia orgánica diferente (DQO entre 1.920 y 2,400 mg/L); a causa de estos cambios, la velocidad de carga orgánica fluctuó entre 1.92 y 2.40 (kgDQO/m³*d)³.

¹ Ver Resultados en el Anexo A

² Se tomo como Trh de 1 día según estudios realizados por Vidal, Bornhardt (2004). "Combinación De Procesos Biológicos Y Oxidación Avanzada Para El Tratamiento De Una Corriente De Proceso De La Industria De Curtiembre". (Ver Anexo C)

³ Ver anexo A, Tabla A.1.

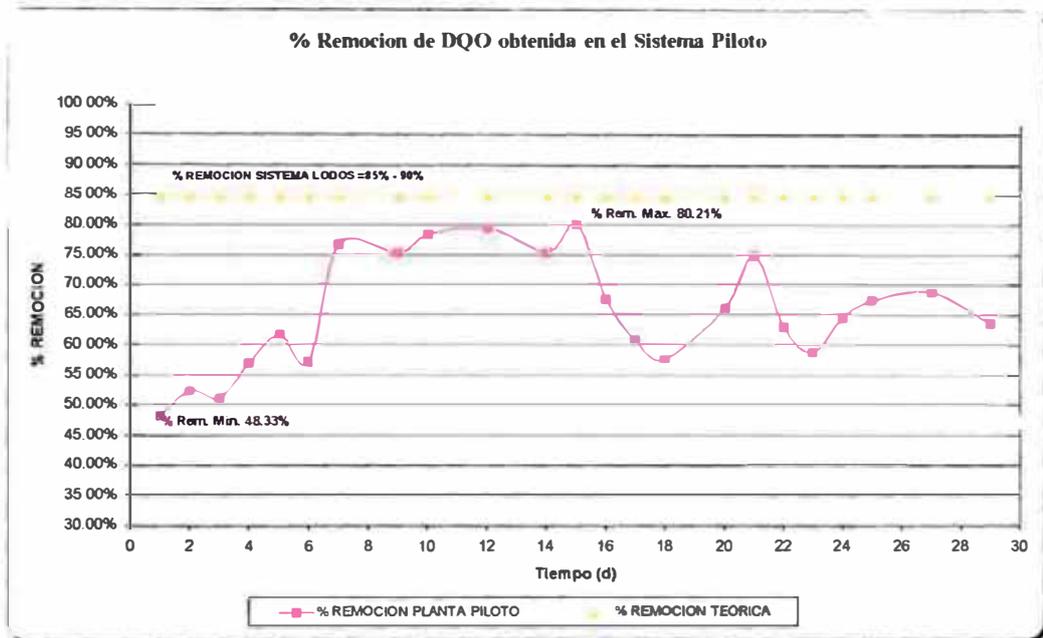


Grafico 7.1. % de remoción de DQO obtenida en el Sistema Piloto

En muchos casos, la remoción de la materia orgánica no supero los porcentajes de remociones teóricos siendo esta de 85%. Esta remoción se evaluó en base a la DQO soluble, es decir se realizo un proceso de centrifugado al efluente. La remoción se evaluó en base a la DQO soluble, ya que las turbiedades afectaban la medición. Por tal razón, siempre se midió DQO soluble.

En el gráfico 7.1. se aprecia que los valores de remoción de la DQO se dieron en los primeros días de la puesta en marcha de la planta de lodos activados, alcanzando los mayores valores entre los días 7 y 16 de operación de la planta. Asimismo no se pudo demostrar que la eficiencia varía con el TRH del sistema Piloto.

Durante los días de operación de la planta se trabajo con TRH de un día, planteado desde un inicio por los trabajos realizados con anterioridad, Vidal, Bornhardt (2004).

La remoción de la materia orgánica como DQO se inició con un porcentaje de 48.33% llegando a un pico máximo de remoción de 80.21% de eficiencia.

Entre los días 16 y 20 de experimentación, aunque la alimentación de materia orgánica se mantuvo constante y a un valor de DQO menor que el utilizado hasta ese periodo de experimentación disminuyó considerablemente la eficiencia de remoción de materia orgánica, lo que fue detectado de manera oportuna mediante el análisis de DQOs del efluente. Durante este periodo la VCO⁴ se mantuvo constante en un valor de 1.92 kg/m³d, que es uno de los valores más bajos de velocidad, al igual que los valores de la relación F/M (discutida más adelante), que estuvo entre 1,14 y 1,45 d⁻¹. Ante la respuesta desfavorable, se decidió no purgar lodos, a fin de aumentar la concentración de biomasa y mejorar la eficiencia en la degradación. La medida no tuvo éxito inmediato, debido al cual se dio la aparición de espumas parduscas, las cuales revalsaban la planta piloto llegando hasta el clarificador secundario.

Sin embargo, como se observa en el grafico 7.1.1., entre los días 20 y 30 de experimentación se aprecia claramente que el resultado del cambio fue “positivo”, recuperándose la eficiencia de remoción a valores por sobre el 66%, no siendo mayor a la eficiencia teórica presente pero con valores de DQO por debajo de los límites permisibles normado.

Es importante señalar que con los cambios de alimentación también se deseaba evaluar la respuesta del sistema frente a distintas condiciones de relación F/M⁵; dicha relación alimento/microorganismos varió entre 0,87 y 3,79 (gDQO/gSSV)d⁻¹, en función de DQO.⁶

⁴ VCO, Velocidad de Carga Orgánica.

⁵ “Según Metcalf y Eddy (1995), los valores típicos encontrados en la literatura varían entre 0,05 y 1 kgDBO/kgSSVLM*d. Por su parte, Ramalho (1993) es más específico al señalar que valores de F/M entre 0,3 y 0,6 kgDBO/kgSSVLM*d son óptimos para obtener un lodo con buenas características de sedimentabilidad”.

⁶ Ver anexo A, Tabla A.2.

En el gráfico 7.1.1. se muestra la relación entre F/M y el % de remoción de materia orgánica.

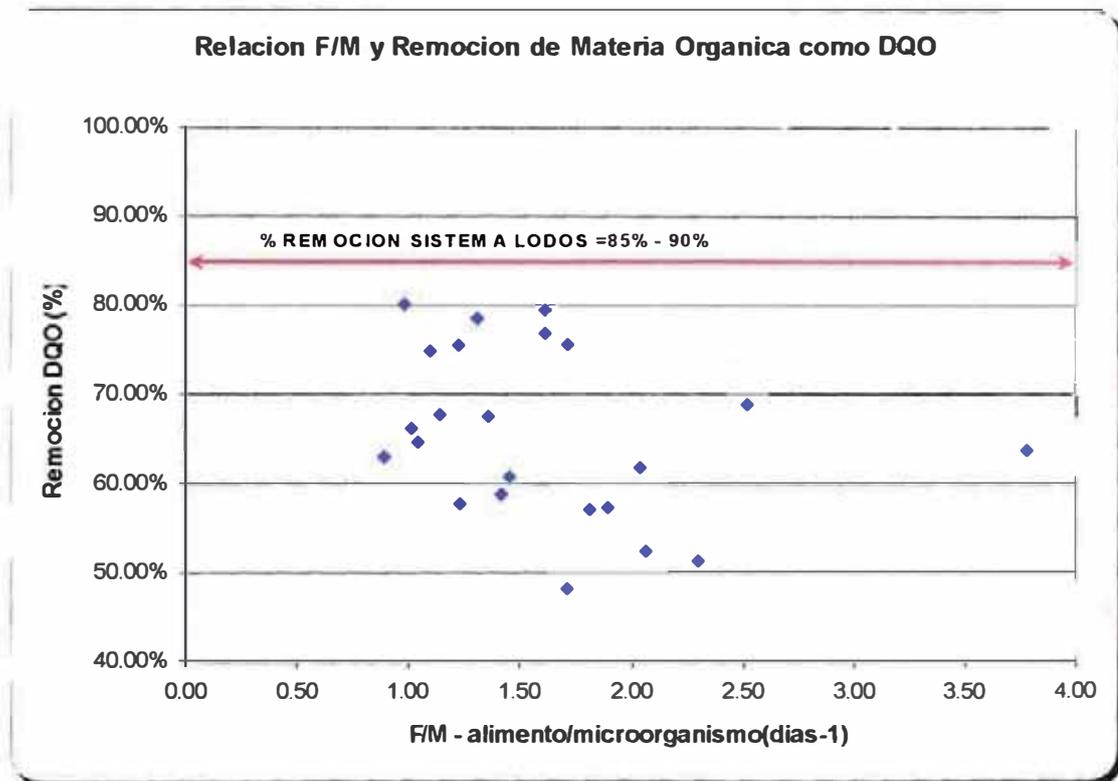


Gráfico: 7.1.1. Relación entre F/M⁷ y remoción de materia orgánica en sistema a nivel de Piloto

Este gráfico demuestra que la remoción de DQO en la práctica es independiente del factor F/M, dado que el sistema opera en un rango casi eficiente entre 0,98 a 1.62 d-1 (en unidades comparables con la literatura: 0,1 a 0,6 kgDBO/kgSSVLM*d), sólo en algunos casos la remoción estuvo bajo el 80%.

Es importante señalar que la remoción de la DQO no se ve influenciada con la relación F/M, debido a que el parámetro que controla la relación alimento/microorganismos es la DQO del afluente.

⁷ F/M, relación en ingles que traducido al español es (A/M); Alimento / Microorganismo

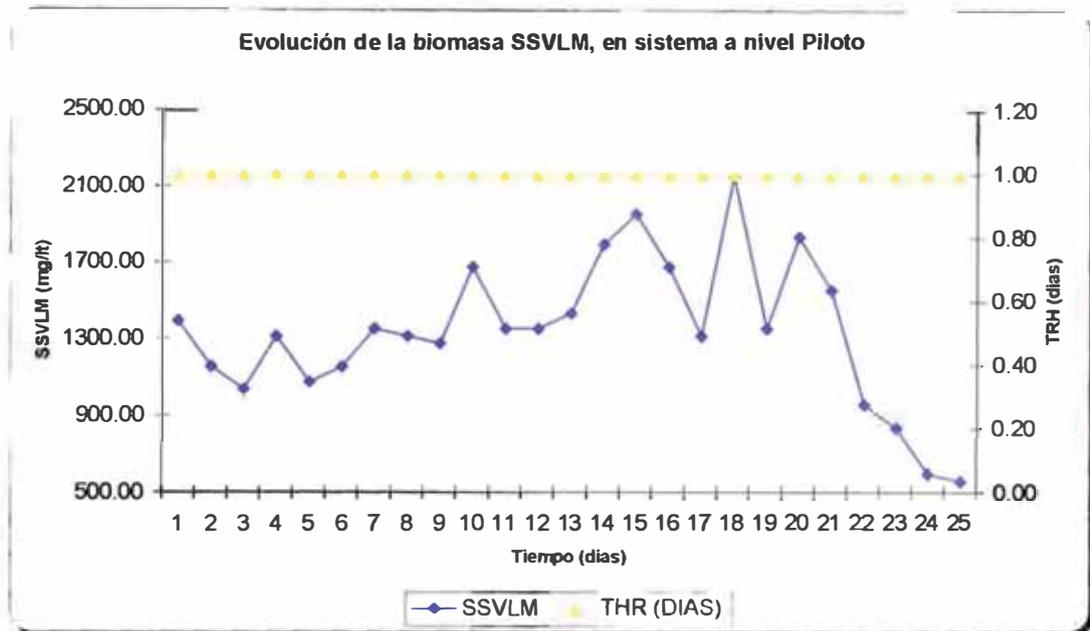


Grafico 7.1.2. Evolución de la biomasa SSVLM, en sistema a nivel Piloto

Con respecto a la biomasa del sistema, ésta se mantuvo entre 0.8 y 2.2 gSSVLM/L, no se realizó las purgas de lodo para tener un incremento en el crecimiento del lodo biológico. El criterio que se ha considerado para las purgas en esta etapa de experimentación, sin que esta sucediera, fue el de mantener la biomasa en el rango de 2.5 a 5 gSSVLM/L, y dentro de un valor en el cual la eficiencia de remoción se mantuviera alta.

Como se observa en el gráfico, se presentaron fluctuaciones importantes de la concentración de biomasa, que probablemente se debieron a problemas en la toma de muestras, específicamente cuando se produjo acumulación de lodo biológico en el clarificador.

Mediante la operación de este sistema se hizo una primera definición de la edad del lodo dentro de un valor recomendado por la literatura. Metcalf y Eddy (1995) señalan que para aguas residuales urbanas, tiempos medios de retención celular entre 3 y 15 días conducen a la producción de un efluente de alta calidad y con excelentes características de

sedimentabilidad, además una alta edad del lodo favorece el desarrollo de flora nitrificante.

Para este caso, y considerando los resultados de generación de biomasa y la eficiencia de remoción de materia orgánica durante un TRH de un día.

La edad del lodo fue calculada a partir de la siguiente ecuación, siendo esta de similar valor que el tiempo de retención hidráulica:

$$\theta = \frac{V_r \cdot X_{v,a}}{(Q_w \cdot X_{v,w}) + (Q_e \cdot X_{v,e})}$$

θ , edad del lodo

V_r , volumen del reactor

$X_{v,a}$, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla

Q_w , caudal de purga de lodo

$X_{v,w}$, concentración de sólidos suspendidos volátiles en la corriente de purga

Q_e , caudal efluente

$X_{v,e}$, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el efluente

En cuanto a las características de sedimentación, su análisis se realizó considerando el índice volumétrico de lodo (IVL). Como señala la literatura, el IVL es un indicador que relaciona la concentración de sólidos suspendidos y la sedimentabilidad del licor mezclado, por tanto es útil para determinar las características de sedimentación de un lodo en un sistema de lodos activados.

Por otro lado, se ha obtenido valores de relación de IVL entre 47,17 y 216,90 ml/g., encontrándose dentro del rango típico de literatura (rango de 35 – 150 ml/g). A esto hay que agregar que no se observó problemas de sedimentabilidad⁸.

El valor promedio del período en el sistema piloto fue 116.10 ml/g (dato obtenido del promedio de valores de IVL, que se muestran en anexo B, Tabla A.2.). Comparándolo con los valores señalados por la literatura, este resultado se encuentra dentro del rango al cual se hizo mención

⁸ Ver anexo A, Tabla A.2.

anteriormente, por lo tanto se puede concluir que el lodo obtenido posee buenas características de sedimentación.

7.2 Control de proceso

Para mantener elevados valores de eficiencia de remoción de materia orgánica, frente a una variedad de condiciones de funcionamiento, fue fundamental controlar algunos factores principales que intervienen en el proceso. Según señala Metcalf y Eddy (1995), éstos son:

- ✓ Mantener niveles de OD en el reactor aireado entre 2 y 4 mg/L, ya que a concentraciones mayores no se producen notables mejoras en el proceso, sino más bien aumentan los costos de aireación. Para el caso de este estudio la concentración de OD por lo general fue superior a 2 mg/L, debido a que no fue posible regular el flujo de aire entregado por el difusor.
- ✓ Controlar la recirculación del lodo, a fin de mantener una concentración de lodo activo en el reactor capaz de biodegradar la materia orgánica en un tiempo determinado para ello. En este estudio, la recirculación se dio por un trabajo a la gravedad, es decir debido a la abertura entre el reactor biológico y el sedimentador secundario, se producía la recirculación por efecto de la gravedad. Se recomienda que los valores deben fluctuar entre 0,5 y 1 (Metcalf y Eddy, 1995).
- ✓ Control purga de lodos: Con la línea de recirculación se busca mantener una edad del lodo de 15 días.

7.3 Características del efluente tratado

En la Tabla 7.3. se muestran los resultados de los análisis realizados tanto al agua residual industrial crudo, como al efluente obtenido después del tratamiento biológico de lodos activados, y el límite máximo según se establece en el DS N°003 para descarga de las aguas residuales industriales a sistemas de alcantarillado que no cuentan con plantas de tratamiento para sus aguas servidas.

Tabla 7.3. Composición del agua residual industrial crudo y tratado, en comparación a los Límites Máximos Permitidos por el DS N°003

PARAMETRO (*)	UNIDAD	AFLUENTE		EFLUENTE		LIM. MAX. PERMISIBLE (**)	% Remoción (entrada y salida)
		Promedio	Promedio	Promedio	Rango		
Ph	-	11.08	<10.6-11.7>	7.54	<7.10-8.10>	6.5-9.5	-
Temperatura	°c	17.15	<16.3-19.20>	15.73	<14.30-17.10>	35°c	-
Sólidos totales	mg/L	12 525	<10640-14360>	-	-	-	-
Sólidos suspendidos	mg/L	3 070	<1720-4960>	490	<180-980>	500	84%
DBO	mg/L	1 205	<1065-1350>	420	<240-520>	500	65%
DQO	mg/L	2 160	<1920-2400>	730	<380-1240>	1500	66%
Aceites y grasas	mg/L	27	<0-27>	-	-	100	-
Alcalinidad total	mg/L	1 002.5	<420-2600>	-	-	-	-
Cromo hexavalente	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	<0.1

(*) Los ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

(**) Decreto Supremo N°003-2002 – PRODUCE: "Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel"

- Significa no evaluado

Se puede observar que para valores promedio de carga orgánica alimentada al sistema existió una reducción de materia orgánica carbonácea como DQO, durante la operación del sistema, dando por resultado remociones de DQO sobre el 66% y de DBO de 65%.

En el estudio de Ros y Gantar (1998), donde se realizó además de un tratamiento de lodos activados un tratamiento combinado anaeróbico, anóxico y aeróbico, se obtuvo una remoción de DQO de un 93 %, DBO 99 %, Nitrógeno Kjeldahl 96%, y Cr total de un 98,9 %. Comparados con los resultados presentados en la tabla 7.3, se puede decir que se logra mejores resultados de remoción combinando tratamientos biológicos aeróbicos con anaeróbicos; sin embargo, este tratamiento, con los porcentajes de remoción presentados, logra cumplir casi totalmente con los requisitos que exige el DS N°003.

CONCLUSIONES

1. Durante la etapa de operación del Reactor Biológico, se pudo establecer parámetros de diseño para una planta a escala Piloto, con los siguientes valores: TRH: 1 día; relación F/M entre 0.80 y 3.8 Kg de DQO/ Kg de SSVLM x día; VCO entre 1.92 a 2.40 kg DQO /m³ día y una concentración de sólidos de 1000 mg/lit hasta 2500 mg/lit.
2. Al finalizar el periodo de monitoreo e investigación del tratamiento de las aguas residuales industriales de la Curtiembre, se llegó a obtener un efluente que se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles según D.S. 003- PRODUCE.
3. Técnicamente es factible el tratamiento de las aguas residuales de la Curtiembre mediante el Proceso de Lodos Activados, debido a la reducción de la carga contaminante con una remoción promedio de DQO en 66%.
4. Las concentraciones de cromo hexavalente en el agua residual industrial de la Curtiembre fueron de bajas cantidades encontrándose menores a <0.5 mg/lit, por lo que no se dio prioridad al eficiencia en su remoción debido a que el LMP de este parámetro son menores a <0.5 mg/lit.

RECOMENDACIONES

1. Para la puesta en marcha de la Planta de Lodos Activados, es recomendable tomar lodo proveniente de una Planta de tratamiento bajo este sistema, para facilitar la adaptación del lodo juntamente con el agua industrial diluida para evitar periodos largos en la puesta en marcha.
2. Se recomienda evaluar detalladamente los dispositivos de entrada, salida y comunicación entre las unidades del modelo para un control del ingreso del agua industrial al reactor biológico, así como el dispositivo de aireación, con el objeto de proporcionar un adecuado comportamiento hidráulico para la oxigenación de la masa biológica.
3. Mantener las concentraciones de SSV en el licor mezclado y de OD "Oxígeno Disuelto" ayudaran a una adaptación adecuada del lodo en los rangos establecidos.
4. Las muestras del Reactor Biológico se tomaran en la parte central de la unidad dado que al momento de la toma se apagan las bombas de aireación y el lodo suspendido están en la parte central del reactor facilitando la toma para el análisis de los Sólidos, asimismo se complemento con los parámetros de: Ph, T°C y Oxígeno Disuelto de forma ínter diaria,
5. Si la muestra de agua contiene alto contenido de Sólidos Suspendidos, se recomienda la sedimentación previa para evitar la obstrucción de las mangueras de menores diámetros y tener un buen funcionamiento de la Planta de Lodos Activados.
6. Después de realizar las perforaciones para la toma de muestra en el reactor, sellarlo bien con pegamento especial para evitar las perdidas del lodo activado.

7. Cuando se coloquen los difusores en el fondo del reactor para la inyección de aire, es necesario colocar sobre ellas, algunas piedras de pequeños tamaños para evitar que los difusores floten por el empuje realizado por el lodo activado.
8. Se recomienda colocar una placa de vidrio a lo ancho entre el reactor biológico y el sedimentador secundario con la finalidad de impedir el paso de espumas producidas en el reactor biológico.
9. Las muestras deberán ser colocadas en un cooler para mantener las condiciones iniciales al momento del muestreo y ser llevadas al laboratorio con mayor seguridad para la obtención de resultados confiables.
10. Para los análisis físicos como Ph y T°C son analizados insitu obteniendo datos mas precisos que al ser analizados en laboratorio.
11. Finalmente, la adopción de las medidas que se señalan en este trabajo permitirá a las curtiembres cumplir con la normativa ambiental, seguir apoyando a otros sectores productivos, y en síntesis, retomar un desarrollo de la actividad en forma ambientalmente sustentable.

BIBLIOGRAFIA

a. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- ⌘ APHA, AWWA, WPCF (1989): **“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”**. Ed. 17. Washington. 1391 pp
- ⌘ Bornhardt, C., Vidal, G. & Torres, M. (2000 a). **“Reducción del impacto ambiental generado por efluentes de la industria de curtiembre”**. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre/ Brasil, 3-8 diciembre.
- ⌘ Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (1999). **“Guía para el control de la contaminación industrial: Curtiembre”**. Santiago/Chile.
- ⌘ Metcalf & Eddy (1995). **“Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización”**. Vol 1, 3a Ed. Editorial McGraw-Hill, Madrid.
- ⌘ OPS/CEPIS/PUB. (1996). **“Informe técnico sobre minimización de residuos en una curtiembre”**. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud, Lima.
- ⌘ Ramalho, R. S. (1993). **“Tratamiento de Aguas Residuales”**, 2a Ed., Editorial Reverté, Barcelona.
- ⌘ Rivela, B. (2000). **“Propuestas Técnicas para la Reducción del Impacto Ambiental Generado por la Industria de Curtiembre”**. Trabajo para optar al Título de Ingeniero Químico de la Universidad de Santiago de Compostela.

- ⌘ Vidal, G., Nieto, J., Márquez, F., Mansilla H. & Bornhardt, C. (2003).
**“Combinación de procesos biológicos y de oxidación avanzada para
 el tratamiento de una corriente de proceso de la industria de
 curtiembre”.** Agua Latinoamericana 3 : 20-24 (Nov./ Dic. 2003)

- ⌘ **Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel: DECRETO SUPREMO N° 003-2002-PRODUCE**

- ⌘ **“La Evolucion De La Industria De Curtidos, Disminucion De La Contaminacion, Sistemas De depuracion, ahorro y recirculacion de agua, y tecnologias emergentes”;** conferencia presentada por miquel vila; noviembre 2002

b. REFERENCIAS EN LA WEB:

- ⌘ http://icc.ucv.cl/geotecnia/05_publicaciones/publicaciones.htm
- ⌘ http://www.terra.es/personal/forma_xxi/cono12.htm
- ⌘ www.cueronet.com
- ⌘ <http://www.cueronet.com/flujoograma/flujomenu.htm>
- ⌘ <http://www.cepis.ops-oms.org/cdrom-repi86/fulltexts/eswww/fulltext/gtz/infomini/minimiz1.html#ribera> ↓
- ⌘ <http://www.cpts.org/prodlimp/guias/Cueros/Capitulo1-4.pdf>

ANEXO

ANEXO A... RESULTADOS

ANEXO B... MARCO LEGAL

ANEXO C... TRABAJO DE INVESTIGACION

ANEXO A:

RESULTADOS

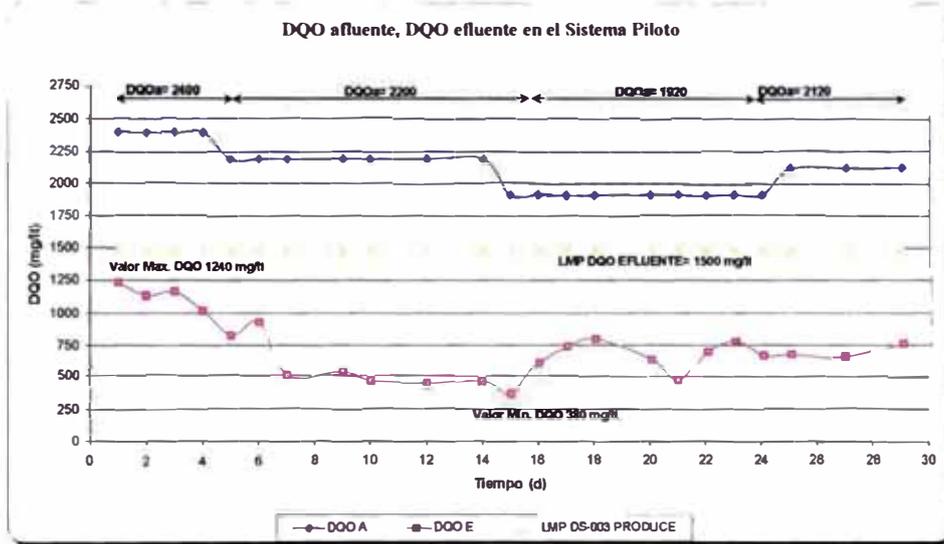
Tabla A.1. Resultados análisis DQO_{afluente}, DQO_{efluente}, SSVLM, % Remoción y velocidad de carga orgánica obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala de Piloto.

	FECHA	OPERACIÓN (DIAS)	THR (DIAS)	DQO _A	DQO _E	VCO	% REMOCION
				mg/lt	mg/lt	kg DQO /m3 dia	DQO (%)
1ra corrida	Jueves, 05 de Julio de 2007	1	1 00	2400	1240	2 40	48 33%
	Viernes, 06 de Julio de 2007	2	1 00	2400	1140	2 40	52 50%
	Lunes, 09 de Julio de 2007	3	1 00	2400	1170	2 40	51 25%
2da corrida	Miércoles, 11 de Julio de 2007	4	1 00	2400	1030	2 40	57 08%
	Jueves, 12 de Julio de 2007	5	1.00	2200	840	2.20	61 82%
	Viernes, 13 de Julio de 2007	6	1.00	2200	940	2.20	57 27%
	Lunes, 16 de Julio de 2007	7	1 00	2200	510	2.20	76 82%
	Miércoles, 18 de Julio de 2007	9	1 00	2200	540	2 20	75 45%
	Jueves, 19 de Julio de 2007	10	1 00	2200	470	2 20	78 64%
	Lunes, 23 de Julio de 2007	12	1 00	2200	450	2 20	79 55%
3ra corrida	Miércoles, 25 de Julio de 2007	14	1 00	2200	470	1 92	75 52%
	Jueves, 26 de Julio de 2007	15	1.00	1920	380	1 92	80 21%
	Viernes, 27 de Julio de 2007	16	1.00	1920	620	1.92	67 71%
	Miércoles, 01 de Agosto de 2007	17	1 00	1920	750	1 92	60 94%
	Jueves, 02 de Agosto de 2007	18	1 00	1920	810	1 92	57 81%
	Miércoles, 08 de Agosto de 2007	20	1 00	1920	650	1 92	66 15%
	Jueves, 09 de Agosto de 2007	21	1 00	1920	480	1 92	75 00%
	Martes, 21 de Agosto de 2007	22	1 00	1920	710	1 92	63 02%
4ta corrida	Jueves, 23 de Agosto de 2007	23	1 00	1920	790	1 92	58 85%
	Viernes, 24 de Agosto de 2007	24	1 00	1920	680	1.92	64 58%
	Lunes, 03 de Septiembre de 2007	25	1.00	2120	690	2 12	67 45%
	Miércoles, 05 de Septiembre de 2007	27	1.00	2120	660	2 12	68 87%
	Viernes, 07 de Septiembre de 2007	29	1.00	2120	770	2 12	63 68%

Se han realizado mediciones de DQO en efluente obteniendo valores entre 380 a 1240 mg/lt. Obteniendo un % de remoción promedio del 65.59%.

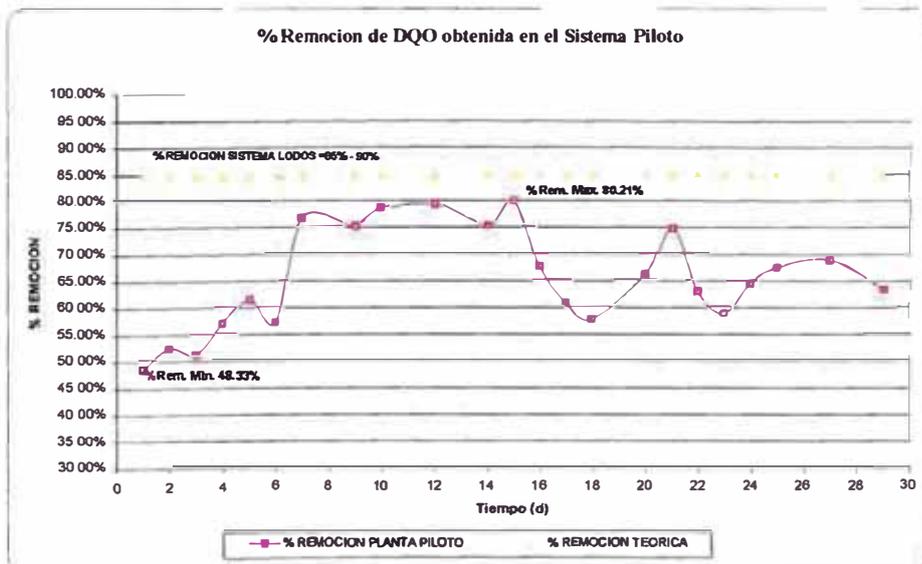
Se puede apreciar asimismo la velocidad de carga orgánica, que se mantiene constante debido a que la DQO del afluente permanece constante variando entre 1.92 hasta 2.40 kg DQO / m3 x dia.

Gráfico A.1 DQO afluente, DQO efluente obtenida en el Sistema Piloto



En el Grafico A.1., se aprecia los valores de DQO _{afluente} y de DQO _{efluente} , la primera oscilando entre valores de 1920 mg/lit a 2400 mg/lit y la segunda llegando a un valor máximo 1240 mg/lit y un mínimo de 380 mg/lit, consiguiendo valores de DQO a la salida de la Planta menores a Limite Máximo Permisible normado siendo 1500 mg/lit.

Gráfico A.1.1. % de remoción de DQO obtenida en el Sistema Piloto



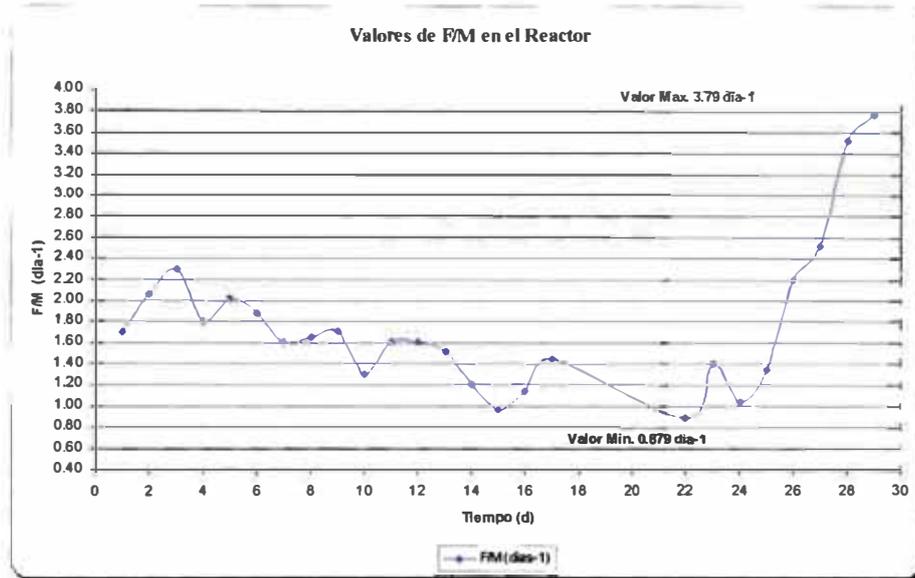
En el Grafico A.1.1., el % remoción de DQO presenta variaciones de ascenso en los primeros días, iniciando con un porcentaje de 48.33% llegando a un pico máximo de 80.21% al día 15, sin embargo empezó a presentarse picos bajos llegando al dia 30 con una remoción de 63.68%.

Tabla A.2. Resultados análisis F/M, IVL¹ obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.

	FECHA	OPERACIÓN (DIAS)	THR (DIAS)	F/M (dias-1)	IVL (ml/g)
1ra corrida	Jueves, 05 de Julio de 2007	1	1.00	1.71	145.83
	Viernes, 06 de Julio de 2007	2	1.00	2.07	138.89
	Lunes, 09 de Julio de 2007	3	1.00	2.31	143.94
	Miércoles, 11 de Julio de 2007	4	1.00	1.82	145.35
2da corrida	Jueves, 12 de Julio de 2007	5	1.00	2.04	125.00
	Viernes, 13 de Julio de 2007	6	1.00	1.90	125.00
	Lunes, 16 de Julio de 2007	7	1.00	1.62	65.10
	Martes, 17 de Julio de 2007	8	1.00	1.67	70.31
	Miércoles, 18 de Julio de 2007	9	1.00	1.72	85.23
	Jueves, 19 de Julio de 2007	10	1.00	1.31	96.59
	Viernes, 20 de Julio de 2007	11	1.00	1.62	58.14
	Lunes, 23 de Julio de 2007	12	1.00	1.62	65.79
	Martes, 24 de Julio de 2007	13	1.00	1.53	67.57
	Miércoles, 25 de Julio de 2007	14	1.00	1.22	47.17
	Jueves, 26 de Julio de 2007	15	1.00	0.98	80.65
	Viernes, 27 de Julio de 2007	16	1.00	1.14	117.92
	3ra corrida	Miércoles, 01 de Agosto de 2007	17	1.00	1.45
Martes, 21 de Agosto de 2007		22	1.00	0.89	57.89
Jueves, 23 de Agosto de 2007		23	1.00	1.41	97.22
Viernes, 24 de Agosto de 2007		24	1.00	1.04	54.46
4ta corrida	Lunes, 03 de Septiembre de 2007	25	1.00	1.36	86.36
	Martes, 04 de Septiembre de 2007	26	1.00	2.21	187.50
	Miércoles, 05 de Septiembre de 2007	27	1.00	2.52	218.75
	Jueves, 06 de Septiembre de 2007	28	1.00	3.53	228.26
	Viernes, 07 de Septiembre de 2007	29	1.00	3.79	261.90

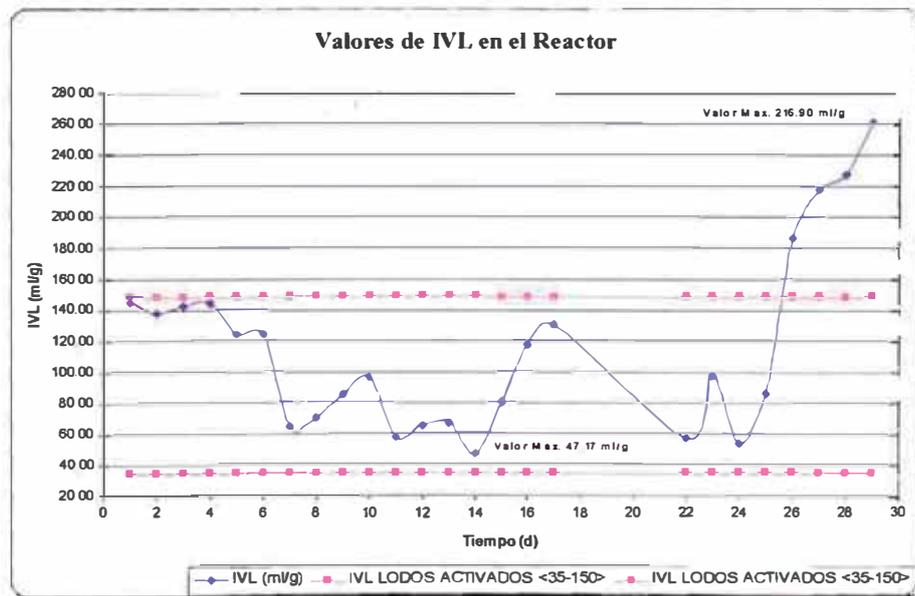
¹ Se puede observar en la tabla A.2. los resultados de F/M e IVL; es importante recalcar que F/M varia dependiendo de la concentración de los Sólidos Suspendidos Volátiles en forma inversa; asimismo el IVL varia de forma inversa con respecto a la concentración de los Sólidos Suspendidos Totales.

Gráfico A.2 F/M obtenida en el Sistema Piloto



Las variaciones de F/M en el tiempo se aprecian en el grafico A.2., iniciando la planta de lodos con una relación de 1.71 d^{-1} , conforme transcurre los días, va reduciendo los valores F/M llegando a un pico mínimo de 0.879 d^{-1} el día 22, sin embargo al terminar el tiempo de investigación, la relación culmino con un valor máximo de 3.79 d^{-1} al día 30.

Gráfico A.2.1. % IVL obtenida en el Sistema Piloto



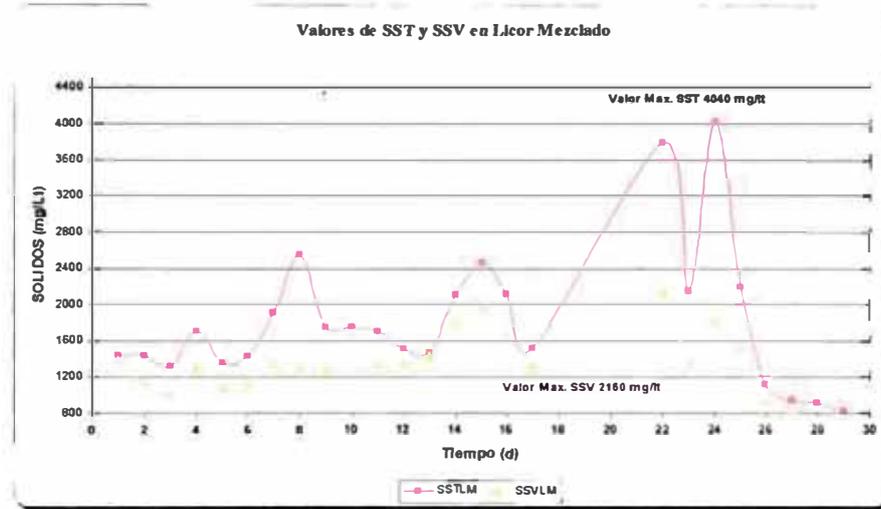
Los valores de IVL se observan en el grafico A.2.1. Para el día uno, inicio con un valor de 145.83 ml/g, descendiendo su valor a un valor mínimo de 47.17 ml/g el día 14 para luego ascender su valor de 131.58 ml/g entre los días 15 y 18. Al finalizar el tiempo de evaluación, presento altibajos culminando con un valor de 216.90 ml/g al día 30.

Tabla A.3. Resultados análisis SST, SSV en licor mezclado obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.

	FECHA	OPERACIÓN (DIAS)	THR (DIAS)	SSTLM	SSVLM	(%)
				mg/lit	mg/lit	
1ra corrida	Jueves, 05 de Julio de 2007	1	1.00	1440	1400.00	97.22%
	Viernes, 06 de Julio de 2007	2	1.00	1440	1160.00	80.56%
	Lunes, 09 de Julio de 2007	3	1.00	1320	1040.00	78.79%
	Miércoles, 11 de Julio de 2007	4	1.00	1720	1320.00	76.74%
2da corrida	Jueves, 12 de Julio de 2007	5	1.00	1360	1080.00	79.41%
	Viernes, 13 de Julio de 2007	6	1.00	1440	1160.00	80.56%
	Lunes, 16 de Julio de 2007	7	1.00	1920	1360.00	70.83%
	Martes, 17 de Julio de 2007	8	1.00	2560	1320.00	51.56%
	Miércoles, 18 de Julio de 2007	9	1.00	1760	1280.00	72.73%
	Jueves, 19 de Julio de 2007	10	1.00	1760	1680.00	95.45%
	Viernes, 20 de Julio de 2007	11	1.00	1720	1360.00	79.07%
	Lunes, 23 de Julio de 2007	12	1.00	1520	1360.00	89.47%
	Martes, 24 de Julio de 2007	13	1.00	1480	1440.00	97.30%
	Miércoles, 25 de Julio de 2007	14	1.00	2120	1800.00	84.91%
	Jueves, 26 de Julio de 2007	15	1.00	2480	1960.00	79.03%
	Viernes, 27 de Julio de 2007	16	1.00	2120	1680.00	79.25%
3ra corrida	Miércoles, 01 de Agosto de 2007	17	1.00	1520	1320.00	86.84%
	Martes, 21 de Agosto de 2007	22	1.00	3800	2160.00	56.84%
	Jueves, 23 de Agosto de 2007	23	1.00	2160	1360.00	62.96%
	Viernes, 24 de Agosto de 2007	24	1.00	4040	1840.00	45.54%
4ta corrida	Lunes, 03 de Septiembre de 2007	25	1.00	2200	1560.00	70.91%
	Martes, 04 de Septiembre de 2007	26	1.00	1120	960.00	85.71%
	Miércoles, 05 de Septiembre de 2007	27	1.00	960	840.00	87.50%
	Jueves, 06 de Septiembre de 2007	28	1.00	920	600.00	65.22%
	Viernes, 07 de Septiembre de 2007	29	1.00	840	560.00	66.67%
PROMEDIO				1828.8	1344	76.84%

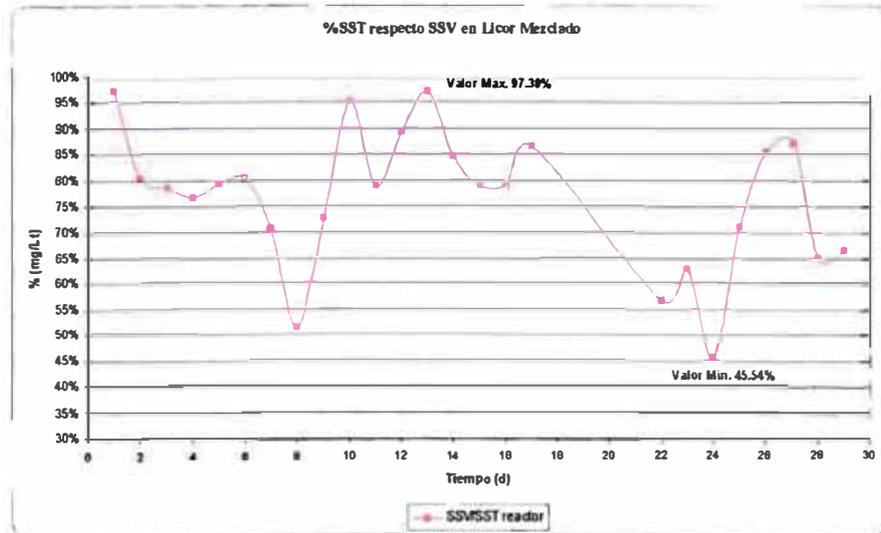
Se puede observar, que la concentración promedio de sólidos suspendidos volátiles es de 1,344 mg/lit, mientras que la de Sólidos Suspendidos Totales es de 1,826.80 mg/lit, teniendo una relación promedio de 76.84%. Es importante notar que la concentración promedio debería fluctuar entre 2,000 – 3,000 mg/lit, siendo un punto de muestreo donde se llegó con una concentración de 2,160 mg/lit.

Gráfico A.3 SST y SSL en licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto



En el gráfico A.3., se aprecia los valores de SST y SSV en el reactor. Los SST inician con un valor de 1440 mg/lit y los SSV con 1400 mg/lit. Sin embargo pasando los días de operación hubo un distanciamiento entre los SST y SSV presentes como se aprecia entre los días 6 y 10. A partir del día 14 al 19 hubo mas acercamiento de SSV al SST, siendo la concentración alcanzada de SSV de 2180 mg/lit, valor máximo obtenido. Finalmente entre los días 22 y 24 se da el valor máximo para los SST de 4040 mg/lit, culminando con valores al día 30 de SST y SSV de 840 mg/lit y 560 mg/lit.

Gráfico A.3.1. %(SSV/SST) en licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto

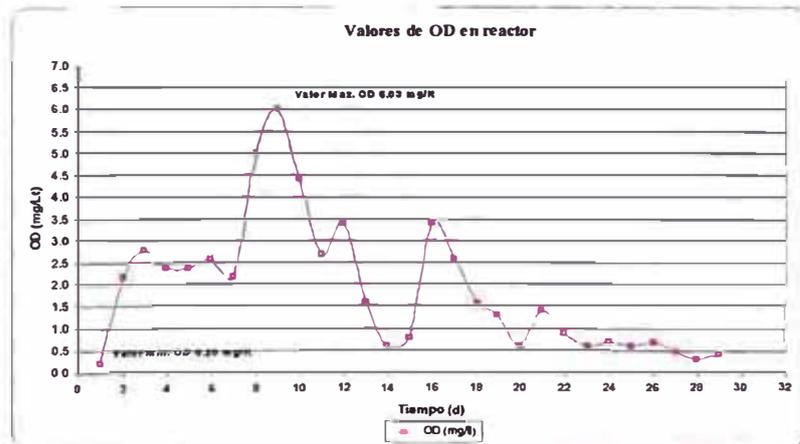


En la grafica A.3.1., sigue la secuencia de la anterior grafica representada en porcentaje la concentración de los SSV a los SST. Al inicio de la operación arranco con un valor de 97.22%, para presentar descensos fuertes entre los días 7 y 9. A partir del día 10 al día 18 presento altibajos, obteniendo el día 13 el valor máximo de 97.30%. Hacia el final de la operación, fue disminuyendo los valores, llegando a obtener el menor valor con un 46.64% el día 24 y tener ascensos hasta el día 30.

Tabla A.4. Resultados análisis Oxígeno Disuelto, PH y T°C reactor obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.

	FECHA	OPERACIÓN (DIAS)	THR (DIAS)	OD (mg/lit)	PH	T °C
1ra corrida	Jueves, 05 de Julio de 2007	1	1.00	0.20	8.10	17.20
	Viernes, 06 de Julio de 2007	2	1.00	2.21	7.60	17.20
	Lunes, 09 de Julio de 2007	3	1.00	2.81	7.50	16.80
	Miércoles, 11 de Julio de 2007	4	1.00	2.41	7.30	15.90
2da corrida	Jueves, 12 de Julio de 2007	5	1.00	2.41	7.30	15.80
	Viernes, 13 de Julio de 2007	6	1.00	2.61	7.30	16.40
	Lunes, 16 de Julio de 2007	7	1.00	2.21	7.36	15.70
	Martes, 17 de Julio de 2007	8	1.00	5.03	7.07	15.55
	Miércoles, 18 de Julio de 2007	9	1.00	6.03	7.85	16.36
	Jueves, 19 de Julio de 2007	10	1.00	4.42	7.33	17.05
	Viernes, 20 de Julio de 2007	11	1.00	2.71	7.47	17.15
	Lunes, 23 de Julio de 2007	12	1.00	3.42	7.40	16.00
	Martes, 24 de Julio de 2007	13	1.00	1.61	7.58	16.36
	Miércoles, 25 de Julio de 2007	14	1.00	0.60	7.41	16.60
3ra corrida	Jueves, 26 de Julio de 2007	15	1.00	0.80	7.48	16.00
	Viernes, 27 de Julio de 2007	16	1.00	3.42	7.91	15.40
	Miércoles, 01 de Agosto de 2007	17	1.00	2.61	8.07	15.85
	Jueves, 02 de Agosto de 2007	18	1.00	1.61	7.69	15.85
	Martes, 07 de Agosto de 2007	19	1.00	1.31	7.39	14.80
	Miércoles, 08 de Agosto de 2007	20	1.00	0.60	7.95	15.15
	Jueves, 09 de Agosto de 2007	21	1.00	1.41	8.01	14.95
	Martes, 21 de Agosto de 2007	22	1.00	0.90	7.53	16.10
	Jueves, 23 de Agosto de 2007	23	1.00	0.60	7.51	15.25
Viernes, 24 de Agosto de 2007	24	1.00	0.70	7.63	14.85	
4ta corrida	Lunes, 03 de Septiembre de 2007	25	1.00	0.60	7.87	15.90
	Martes, 04 de Septiembre de 2007	26	1.00	0.70	7.91	15.65
	Miércoles, 05 de Septiembre de 2007	27	1.00	0.50	7.69	15.75
	Jueves, 06 de Septiembre de 2007	28	1.00	0.30	7.26	15.65
	Viernes, 07 de Septiembre de 2007	29	1.00	0.42	7.58	15.75
PROMEDIO				1.90	7.59	15.96

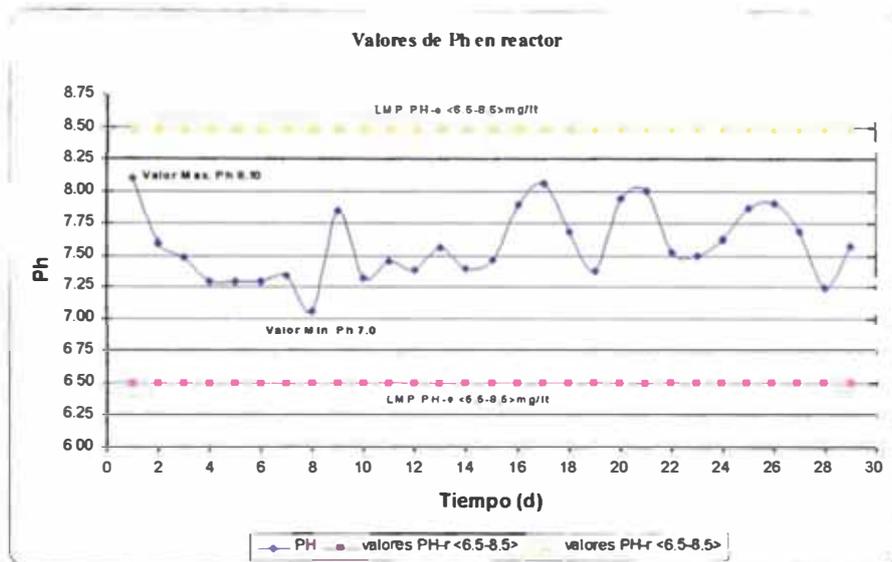
Gráfico A.4 OD licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto



En el gráfico A.4., observamos que la concentración de la OD inicia con un valor mínimo de 0.2 mg/lit. A partir del día 2 hasta el día 7, presento valores entre 2.21 y 2.81 mg/lit. Entre los días 8 y 10, obtuvo un valor máximo de 6.03 mg/l. Después del día 11 al día 17, se presento variaciones considerables, llegando a valores mínimos de 0.60 a 0.80. En el día 16 regreso al rango deseado, para

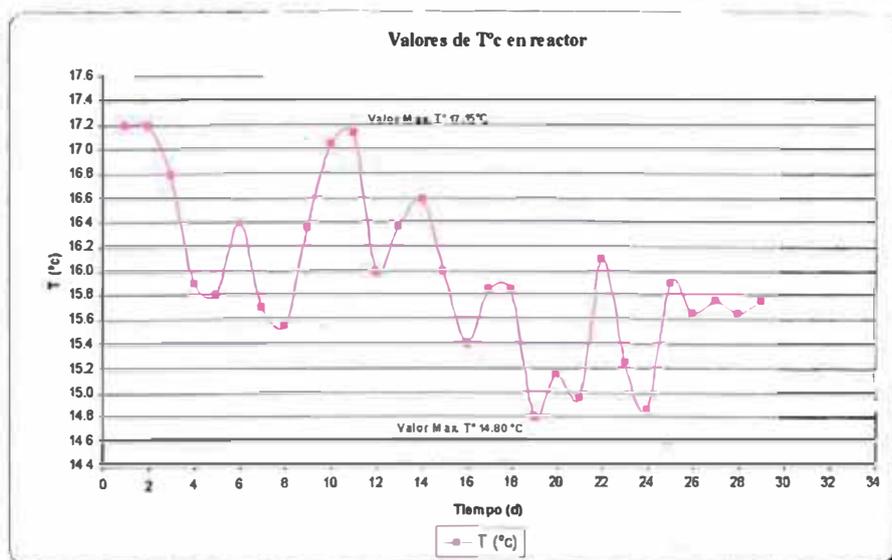
luego al llegar el día 30 de operación inicio su descenso hasta un valor de 0.42 mg/lit.

Gráfico A.4.1. Ph licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto



Como se observa en el gráfico A.4.1., los valores de Ph en el reactor se encuentran en el rango adecuado. Al iniciar la operación presento un valor máximo de 8.10, y tener descensos hasta el día 8 donde obtuve el valor mínimo de 7.0. A partir del día 9 al día 30, no presento variaciones bruscas de valores, encontrándose entre 7.26 y 8.07, los días 28 y 17 respectivamente.

Gráfico A.4.2. T°C licor mezclado obtenida en el Sistema Piloto

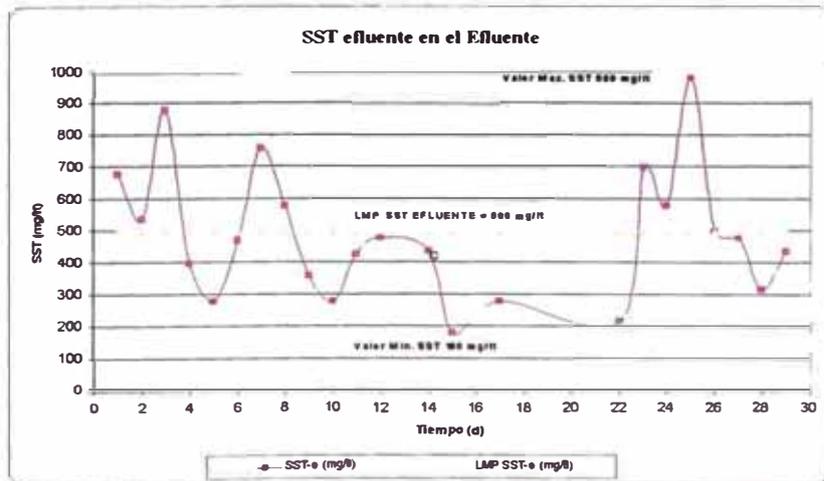


Los valores de temperatura en el Reactor se aprecian en el gráfico A.4.2. El primer día de operación presento un valor de 17.20°C, alcanzando el valor máximo de 17.15°C el día 11 y el valor mínimo de 14.80°C el día 19. los valores al culminar el periodo de operación fluctuó entre 14.85°C y 16.10°C.

Tabla A.5. Resultados análisis Trh y SST efluente obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.

	FECHA	OPERACIÓN (DIAS)	THR (DIAS)	SST-e (mg/lit)
1ra corrida	Jueves, 05 de Julio de 2007	1	1.00	680
	Viernes, 06 de Julio de 2007	2	1.00	540
	Lunes, 09 de Julio de 2007	3	1.00	880
	Miércoles, 11 de Julio de 2007	4	1.00	400
2da corrida	Jueves, 12 de Julio de 2007	5	1.00	280
	Viernes, 13 de Julio de 2007	6	1.00	470
	Lunes, 16 de Julio de 2007	7	1.00	760
	Martes, 17 de Julio de 2007	8	1.00	580
	Miércoles, 18 de Julio de 2007	9	1.00	360
	Jueves, 19 de Julio de 2007	10	1.00	280
	Viernes, 20 de Julio de 2007	11	1.00	430
	Lunes, 23 de Julio de 2007	12	1.00	480
	Miércoles, 25 de Julio de 2007	14	1.00	440
	3ra corrida	Jueves, 26 de Julio de 2007	15	1.00
Miércoles, 01 de Agosto de 2007		17	1.00	280
Martes, 21 de Agosto de 2007		22	1.00	220
Jueves, 23 de Agosto de 2007		23	1.00	700
Viernes, 24 de Agosto de 2007		24	1.00	580
4ta corrida	Lunes, 03 de Septiembre de 2007	25	1.00	980
	Martes, 04 de Septiembre de 2007	26	1.00	500
	Miércoles, 05 de Septiembre de 2007	27	1.00	480
	Jueves, 06 de Septiembre de 2007	28	1.00	320
	Viernes, 07 de Septiembre de 2007	29	1.00	440

Gráfico A.5 SST efluente obtenida en el Sistema Piloto



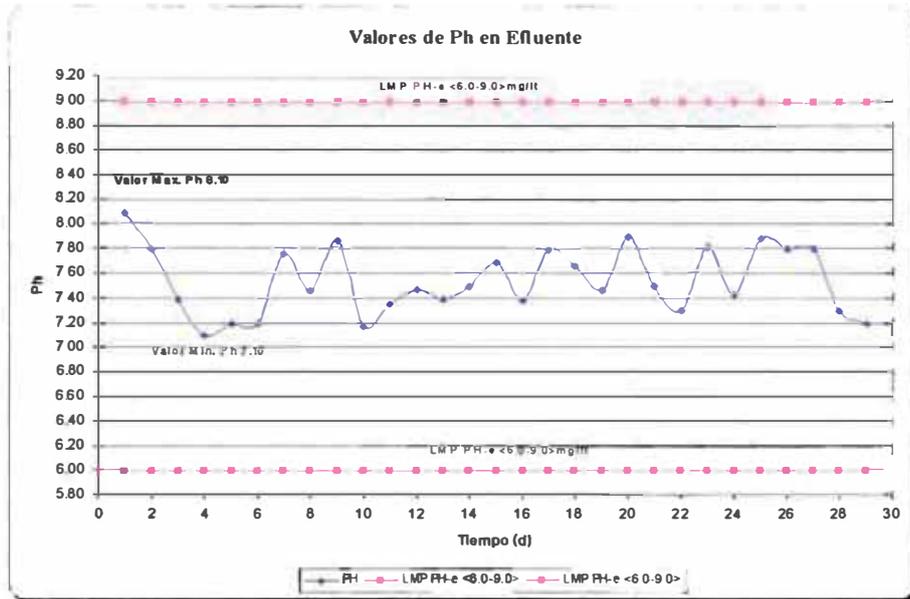
En el gráfico A.5., observamos los valores de SST en el efluente siendo el día 1 de 680 mg/lit. Entre los días 2 y 4, así como entre 6 y 8, 23 y 26, los valores de SST en el efluente sobrepasaron el Límite Máximo Permisible de 500 mg/lit. El valor máximo obtenido de 980 mg/lit fue en el día 25. Entre los días 9 y 23, se aprecian valores menores al LMP, llegando a un valor mínimo de 180 el día 15.

Tabla A.6. Resultados análisis Ph y T°C efluente obtenidos durante la operación del sistema de lodos activados a escala Piloto.

	FECHA	OPERACIÓN (DIAS)	THR (DIAS)	PH	T °C
1ra corrida	Jueves, 05 de Julio de 2007	1	1.00	8.10	17.10
	Viernes, 06 de Julio de 2007	2	1.00	7.80	16.30
	Lunes, 09 de Julio de 2007	3	1.00	7.40	16.70
	Miércoles, 11 de Julio de 2007	4	1.00	7.10	15.70
2da corrida	Jueves, 12 de Julio de 2007	5	1.00	7.20	16.20
	Viernes, 13 de Julio de 2007	6	1.00	7.20	16.10
	Lunes, 16 de Julio de 2007	7	1.00	7.77	15.60
	Martes, 17 de Julio de 2007	8	1.00	7.47	15.15
	Miércoles, 18 de Julio de 2007	9	1.00	7.87	15.90
	Jueves, 19 de Julio de 2007	10	1.00	7.18	16.25
	Viernes, 20 de Julio de 2007	11	1.00	7.36	16.40
	Lunes, 23 de Julio de 2007	12	1.00	7.49	15.95
	Martes, 24 de Julio de 2007	13	1.00	7.40	16.40
	Miércoles, 25 de Julio de 2007	14	1.00	7.50	15.70
	3ra corrida	Jueves, 26 de Julio de 2007	15	1.00	7.70
Viernes, 27 de Julio de 2007		16	1.00	7.39	15.90
Miércoles, 01 de Agosto de 2007		17	1.00	7.80	15.50
Jueves, 02 de Agosto de 2007		18	1.00	7.67	15.40
Martes, 07 de Agosto de 2007		19	1.00	7.47	14.30
Miércoles, 08 de Agosto de 2007		20	1.00	7.90	14.70
Jueves, 09 de Agosto de 2007		21	1.00	7.50	14.70
Martes, 21 de Agosto de 2007		22	1.00	7.30	16.60
Jueves, 23 de Agosto de 2007		23	1.00	7.82	14.90
Viernes, 24 de Agosto de 2007	24	1.00	7.43	14.50	
4ta corrida	Lunes, 03 de Septiembre de 2007	25	1.00	7.89	15.20
	Martes, 04 de Septiembre de 2007	26	1.00	7.80	15.90
	Miércoles, 05 de Septiembre de 2007	27	1.00	7.80	16.10
	Jueves, 06 de Septiembre de 2007	28	1.00	7.30	16.20
	Viernes, 07 de Septiembre de 2007	29	1.00	7.20	15.40
PROMEDIO				7.54	15.73

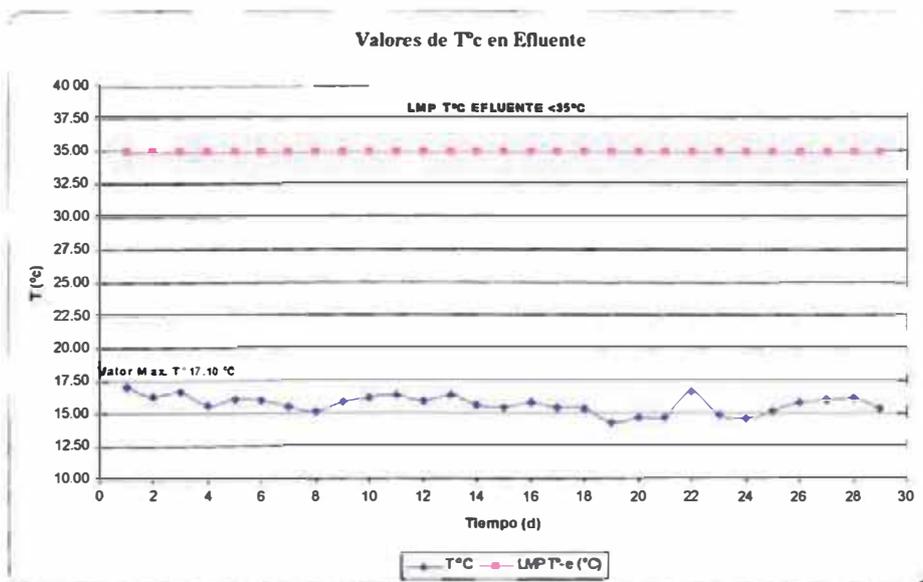
En la tabla A.3 se aprecia los resultados de Ph y T°C en el efluente tratado, teniendo un promedio de 7.54 en Ph y 15.73°C en la temperatura. Cabe mencionar que ambos parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles de Desagüe Industrial para industria de Curtiembre.

Gráfico A.6 Ph efluente obtenida en el Sistema Piloto



Los valores de PH se aprecian en el gráfico A.6., iniciando con un valor de 8.10, sin embargo apreciando la curva de variaciones de Ph, notamos que los valores no sobrepasan los Límites Máximos Permisibles siendo el rango normado entre 6.0 y 9.0. El valor máximo y mínimo encontrado es de 8.10 y 7.10 en los días primero y cuatro del tiempo de operación de la Planta.

Gráfico A.6.1. T°C efluente obtenida en el Sistema Piloto



Los valores de temperatura en el efluente, como se aprecian en el gráfico A.6.1., no sobrepasan el valor del LMP normado por D.S. 003-PRODUCE menor de 35°C. El valor máximo alcanzado fue de 17.10°C. las variaciones de T°C del primer día al 30 varían entre 14.30°C y 16.70°C.

ANEXO B:**MARCO LEGAL:**

La presente investigación está enmarcada fundamentalmente dentro de la siguiente legislación:

- ✓ **DECRETO SUPREMO N° 003-2002-PRODUCE: “Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel”**

“...DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA:

Primera.- Los Valores Referenciales establecidos en el Anexo N° 2 para los Subsectores de Curtiembre y Papel, tendrán un período de vigencia de 2 años a partir de la fecha publicación de la presente norma, debiendo los titulares de dichas empresas realizar un programa de monitoreo de 2 años, con una frecuencia semestral. Posteriormente, entrarán en vigencia los Límites Máximos Permisibles que durante este período el Ministerio de la Producción establezca en base a los monitoreos y estudios realizados. Para tal efecto, los titulares de las empresas deberán presentar reportes de medición de los parámetros establecidos, de acuerdo a lo dispuesto en el Protocolo de Monitoreo de Emisiones de Efluentes Líquidos aprobado mediante Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM.

CONCORDANCIAS: R.M. N° 288-2003-PRODUCE, Art. 1

Segunda.- Los LMP para el subsector papel, en cuanto a los parámetros de partículas, NO_x, SO₂ y VOC, serán propuestos en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas y demás sectores involucrados, a partir, entre otros, de la información resultante de la implementación del Proyecto “Eficiencia Energética de los Calderos Industriales”, el cual comprende a todos los Sectores que utilizan calderos en sus procesos productivos.

Tercera.- El Decreto Supremo N° 028-60 del 29.11.60 "Reglamento de Desagües Industriales" se mantiene vigente en todo lo que no se oponga a lo dispuesto en el presente Decreto Supremo..."

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE EFLUENTES PARA ALCANTARILLADO DE LAS ACTIVIDADES DE CEMENTO, CERVEZA, PAPEL Y CURTIEMBRE

PARÁMETROS	CEMENTO		CERVEZA		PAPEL		CURTIEMBRE	
	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA
PH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9		6 0 - 9 0
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos Susp. Tot. (mg/l)	100	50	500	350	1000	500		500
Aceites y Grasas (mg/l)			20	15	100	50	100	50
DBO (mg/l)			1000	500		500		500
DQO (mg/l)			1500	1000		1000		1500
Sulfuros (mg/l)								3
Cromo VI (mg/l)								0.4
Cromo Total (mg/l)								2
N - NH ₄ (mg/l)								30
Coliformes Fecales NMP/100ml								*

* En el caso del Subsector Curtiembre no se ha fijado valores para el parámetro Coliformes fecales, dado que la data recopilada no era representativa, ni confiable. Asimismo, no ha sido posible definir data a nivel nacional, ni en los países analizados sobre LMP específicos para este parámetro en curtiembres por lo que se ha desestimado la definición de este LMP

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE EFLUENTES PARA AGUAS SUPERFICIALES DE LAS ACTIVIDADES DE CEMENTO, CERVEZA, PAPEL Y CURTIEMBRE

PARÁMETROS	CEMENTO		CERVEZA		PAPEL		CURTIEMBRE	
	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA
PH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	5 0 - 8 5	5 0 - 8 5
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos Susp. Tot. (mg/l)	50	30	50	30	100	30	50	30
Aceites y Grasas (mg/l)			5	3	20	10	25	20
DBO (mg/l)			50	30		30	50	30
DQO (mg/l)			250	50		50	250	50
Sulfuro (mg/l)							1	0.5
Cromo VI (mg/l)							0.3	0.2
Cromo Total (mg/l)							2.5	0.5
Coliformes Fecales NMP/100ml							1000	1000
N - NH ₄ (mg/l)							20	10

* En curso Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores cemento papel y curtiembre que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo se encuentran operando

** Nueva. Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores cemento papel y curtiembre que se inicien a partir de la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo

VALORES REFERENCIALES DE EFLUENTES PARA ALCANTARILLADO Y AGUAS SUPERFICIALES DE LAS ACTIVIDADES EN CURSO DE LOS SUBSECTORES CURTIEMBRE Y PAPEL

PARÁMETROS	CURTIEMBRE (Alcantarillado)	PAPEL	
		Aguas Superficiales	Alcantarillado
Grado de Acidez o Alcalinidad (pH)	5.5 - 9.5		
Demanda Química de Oxígeno (DQO), mg/l	1000	250	1000
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/l	2500	1000	2000
Sólidos Suspensos Totales (SST), mg/l	1000		
Sulfuro (mg/l)	10		
Cromo + 6 (mg/l)	0.5		
Cromo Total (mg/l)	5		
Nitrogeno Amónico (N - NH ₄) mg/l	50		

* En curso. Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores curtiembre y papel que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo se encuentran operando

- ✓ **DECRETO SUPREMO N° 028-60 DEL 29.11.60 "REGLAMENTO DE DESAGÜES INDUSTRIALES"**
- ✓ **NORMA S.090 REGLAMENTO NACIONAL DE AGUAS RESIDUALES PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**
- ✓ **CONSTITUCIÓN POLITICA DEL PERU. 1993**

Artículo 2 inciso 22) de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

- ✓ **CODIGO DE MEDIO AMBIENTE**

El Código del Medio, Ambiente y los Recursos Naturales, establece en el **Artículo I de su Título Preliminar**, que es obligación de todas las conservaciones del ambiente y, en particular del Estado, la prevención y control de la contaminación ambiental;

- ✓ **LEY MARCO PARA EL CRECIMIENTO DE LA INVERSIÓN PRIVADA",**

De acuerdo con el artículo 50 del Decreto Legislativo N° 757, "Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada", las Autoridades Sectoriales Competentes para conocer sobre los asuntos relacionados con la aplicación de las disposiciones del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, son los Ministerios de los sectores correspondientes a las actividades que desarrollan las empresas;

✓ **LEY N°27789 MINISTERIO DE PRODUCCION**

Que, de conformidad con los artículos 4 y 5 de la Ley N° 27789, corresponde al Ministerio de la Producción proponer políticas y normas de protección del medio ambiente y recursos naturales aplicables a las actividades industriales manufactureras, supervisando su cumplimiento;

✓ **REGLAMENTO DE PROTECCION AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA**

Que, mediante Decreto Supremo N° 019-97-ITINCI, se aprobó el Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de las Actividades de la Industria Manufacturera, el cual establece las obligaciones que deben cumplir las empresas industriales manufactureras para prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental, para lo cual sin embargo se requiere determinar los límites máximos permisibles de contaminación ambiental;

✓ **RESOLUCION PRESIDENCIAL N°088-99-CONAM/PCD**

Que, la Resolución Presidencial N° 088-99-CONAM/PCD que aprobó el Programa Anual 2000, autorizó la formulación de la propuesta de Límites Máximos Permisibles aplicables a las actividades industriales manufactureras de producción de cemento, cerveza, curtiembre y papel;

ANEXO C:**TRABAJO DE INVESTIGACION**

Gladys Vidal S.
Centro de Ciencias Ambientales Eula-Chile, Universidad de Concepción / Chile

Jessica Nieto J.
Centro de Ciencias Ambientales Eula-Chile, Universidad de Concepción / Chile

Fernando Márquez R.
Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Concepción / Chile

Héctor Mansilla H.
Laboratorio de Recursos Renovables, Universidad de Concepción / Chile

Cristian Bornhardt B. (*)
Departamento de Ingeniería Química, Universidad de La Frontera / Chile.

**COMBINACIÓN DE PROCESOS BIOLÓGICOS Y OXIDACIÓN AVANZADA
PARA EL TRATAMIENTO DE UNA CORRIENTE DE PROCESO DE LA
INDUSTRIA DE CURTIEMBRE**

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto de un tratamiento secuencial de oxidación avanzada - lodo activado sobre la eliminación de la materia orgánica en aguas residuales provenientes de la etapa de pelambre del proceso de producción de cuero. Como pretratamiento oxidativo se utilizó reactivo de Fenton, con una relación H_2O_2/Fe^{2+} de 9, y H_2O_2/DQO de 4. La velocidad de carga orgánica (VCO) alimentada al tratamiento biológico se varió entre 0,4 y 1,6 gDQO/L-d, mientras que el tiempo de retención hidráulico (TRH) se mantuvo constante en 1 d. Los resultados indican que un pretratamiento mediante POA, efectivamente ayuda a mejorar la eliminación global de materia orgánica recalcitrante contenida en efluentes de pelambre. Los radicales libres generados en el pre-tratamiento mediante la reacción de Fenton, no produjeron efectos relevantes sobre la actividad de la biomasa, durante los 30 días de operación del sistema biológico.

Palabras Clave: biodegradabilidad, efluente de curtiembre, lodos activados, oxidación avanzada, tratamiento de residuos industriales líquidos.

INTRODUCCION

En todo proceso productivo se originan residuos contaminantes, que pueden constituir un riesgo potencial para el medio ambiente. Dentro de las industrias contaminantes se encuentran las curtiembres, cuyos residuos contienen altas concentraciones de materia orgánica, sulfuro y cromo, que pueden alcanzar niveles tóxicos. Aparte del contenido de cromo en las aguas residuales de la industria de curtiembre, la disminución de la carga orgánica de sus efluentes es actualmente uno de los principales problemas que debe enfrentar este rubro. El diagrama de flujo del proceso de transformación de pieles animales en cuero se esquematiza en la Figura 1.

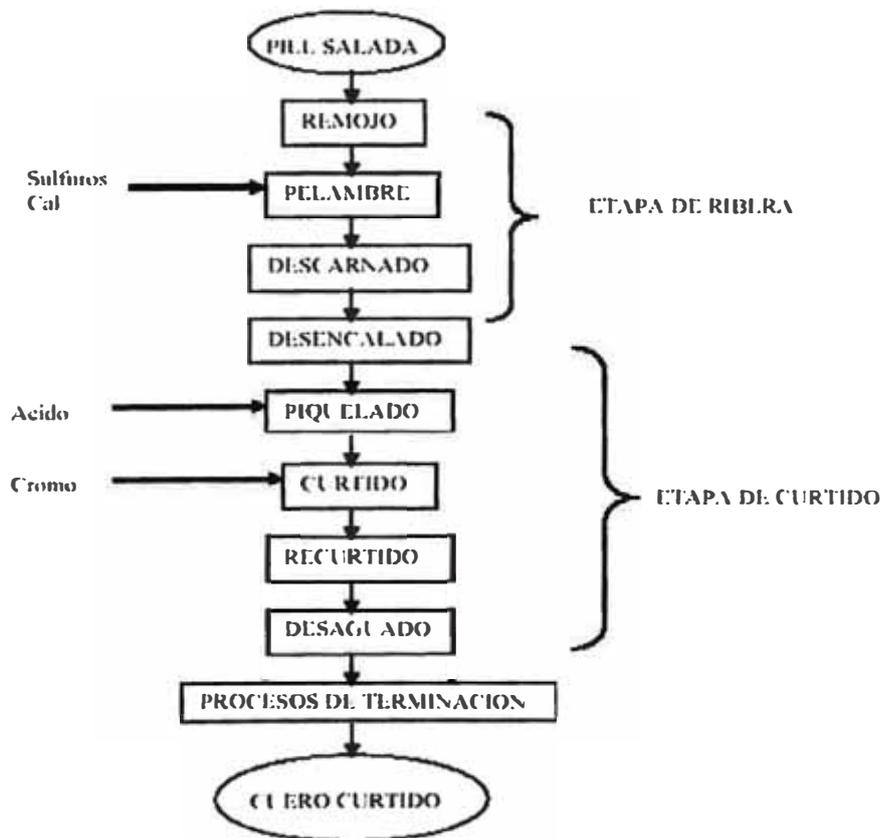


FIGURA 1: Diagrama de flujo del proceso de curtido al cromo

El tratamiento de efluentes mediante lodos activados constituye la principal vía de reducción de carga orgánica (Ahn et al., 1996), sin embargo en el caso de algunas de las corrientes del procesamiento del cuero pueden producirse efectos inhibitorios por presencia de sales y otras sustancias químicas, como también de materia orgánica de alto peso molecular, como es el caso de efluentes de pelambre (Bornhardt et al., 2001). En la literatura se describe que la eficiencia de un tratamiento biológico puede mejorar significativamente mediante un pretratamiento oxidativo (Menéndez et al., 1998). Los

procesos de oxidación avanzada se están empleando recientemente para la degradación parcial de materia orgánica en aguas residuales (Nieto et al., 2001). Se han ensayado agentes oxidantes en presencia de radiación ultravioleta y/o catalizador (semiconductor), como el dióxido de titanio (TiO_2). Otra posibilidad es la combinación de H_2O_2 con iones de Fe^{+2} ó Fe^{+3} , conocido como reacción de Fenton, y en presencia de luz UV es conocido como reacción de Foto-Fenton.

En este estudio se pretende evaluar el efecto de un tratamiento secuencial de oxidación avanzada - lodo activado sobre la eliminación de la materia orgánica en aguas residuales provenientes de la etapa de pelambre del proceso de producción de cuero, como también verificar el comportamiento de la biomasa debido a la influencia de compuestos oxidados.

MATERIALES Y MÉTODOS

- **Efluente:** El efluente fue obtenido de una industria de curtiembre local, ubicada en la zona central de Chile. Se trabajó con efluente proveniente de la etapa de pelambre.

- **Pretratamiento mediante procesos de oxidación avanzada (POA):** En base a los resultados obtenidos en estudios preliminares (Nieto et al., 2001), se utilizó como pretratamiento reactivo de Fenton, con una relación $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ de 9, y $\text{H}_2\text{O}_2/\text{DQO}$ de 4, de acuerdo a la metodología descrita por Tang y Huang (1997).

- **Sistema de lodos activados:** Un reactor de lodos activados (reactor de 1,8 L y clarificador de 0,9 L) con biomasa adaptada a este tipo de agua residual (Bornhardt et al., 2001), fue alimentado durante aproximadamente 30 días con efluente proveniente del proceso de pelambre pretratado mediante reacción de Fenton. La velocidad de carga orgánica (VCO) se varió entre 0,4 y 1,6 gDQO/L·d, mientras que el tiempo de retención hidráulico (TRH) se mantuvo constante en 1 d. La biomasa fue periódicamente reciclada y el exceso fue purgado para mantener una edad del lodo constante.

- **Estudio de la biomasa del reactor:** Se evaluó el comportamiento del reactor a través de los parámetros de índice volumétrico de lodo (IVL), edad del lodo, y factor de carga de DBO_5 del lodo (F/M). Además se realizó determinaciones de actividad respirométrica del lodo para determinar sus parámetros cinéticos (b: tasa de consumo de oxígeno, kd: constante de decaimiento, etc.).

- **Métodos analíticos:** Los parámetros Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles (SV), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), nitrógeno total y fósforo total fueron medidos de acuerdo a métodos estandarizados (APHA, 1985). Las

muestras para la determinación de DBO5 y DQO fueron previamente filtradas mediante membrana 0,45 μm .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra la caracterización del efluente de pelambre utilizado en los tratamientos de oxidación avanzada mediante reacción de Fenton y biológico.

TABLA 1: Caracterización del efluente de pelambre

Parámetro	Abreviación	Promedio ^(*)
pH	pH	12,3
Demanda Química de Oxígeno	DQO	34.900
Demanda Biológica de Oxígeno	DBO ₅	8.795
Color		26.095
Nitrogeno Total Kjeldahl	NTK	3.085
Nitrogeno Amomiacal	N-NH ₃	220
N-Nitrito	N-NO ₂ ⁻	0,25
N-Nitrato	N-NO ₃ ⁻	0,66
Cloruros	Cl ⁻	21.867
Sulfuros	S ²⁻	1,149
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	2,47

(*) Todas las concentraciones están en mg/L, excepto el pH y color

Como se observa, el efluente presenta un alto pH y una elevada carga orgánica, determinada como DQO y DBO5, debido principalmente a la presencia de proteínas solubles de bajo y alto peso molecular. Unido a esto, se evidenció una alta concentración de nitrógeno total (3 g/L) y sales provenientes del proceso de pelambre (22 g/L de cloruros), entre las que destaca sobre 1 g/L de sulfuros, los que eventualmente pueden interferir con el proceso biológico.

En la Tabla 2 se resume la eficiencia de eliminación de materia orgánica en cada etapa (POA y biológico) de tratamiento del efluente de pelambre, para las distintas cargas orgánicas alimentadas al sistema, así como las eficiencias globales del proceso combinado.

TABLA 2. Eficiencias parciales y globales del sistema de tratamiento secuencial POA-biológico

Velocidad de carga orgánica VCO (gDQO/L.d)	Porcentaje de remoción de materia orgánica					
	POA		BIOLÓGICO		COMBINADO	
	DQO (%)	DBO ₅ (%)	DQO (%)	DBO ₅ (%)	DQO (%)	DBO ₅ (%)
0,43	87	87	34	59	91	93
0,72	91	91	58	69	96	96
1,60	90	90	40	69	94	96

Se observa que al aumentar la VCO de 0,43 a 0,72, también aumenta la eficiencia de eliminación de materia orgánica; sin embargo para una VCO de 1,6 gDQO/L.d se produce una disminución en la eliminación de materia orgánica, comparada a la VCO anterior, de manera que pareciera existir un óptimo en la operación de los sistemas. Los resultados indican que un pre-tratamiento mediante POA, efectivamente ayuda a mejorar la eliminación global de materia orgánica recalcitrante contenida en efluentes de pelambre, dado que un tratamiento biológico sin pre-tratamiento presenta rendimientos menores a los obtenidos en este trabajo (Bornhardt et al., 2001). Se estima que este efecto se logra por una oxidación química fuerte de compuestos recalcitrantes de elevado peso molecular, con lo que mejora biodegradabilidad de estas fracciones.

El estudio de la biomasa en el sistema biológico indica que no existe una gran influencia de grupos altamente oxidados en la actividad de ésta, lo que se demuestra a través de estudios de respirometría que así lo indican (datos no mostrados). En cuanto a las características de sedimentación del lodo, se observó que éstas mejoraron aun más durante el estudio, reflejándose en el valor del IVL, que se redujo de 12 a 2,6 mL / g SSV. La proporción de materia orgánica en los lodos no sufrió cambios significativos por eventual presencia de compuestos inorgánicos, y la razón SSV/SST se mantuvo constante alrededor de 0,8 - 0,9, indicando que los compuestos inorgánicos fueron separados adecuadamente a la entrada del tratamiento biológico.

TABLA 3. Comportamiento de la biomasa en el reactor de lodos activados

Tiempo (d)	VCO (gDQO/L.d)	F/M (gDBO ₅ /L.d)	IVL (mL/gSSV)	SD ₃₀ (mL/L)	SSV (g/L)	SSV/SST
0 - 6	0,43	0,01	12,1	154	13,06	0,81
7 - 20	0,72	0,01	6,1	140	23,05	0,92
21 - 27	1,60	0,02	2,6	92,5	35,22	0,80

Conclusiones

El tratamiento secuencial POA-biológico permite incrementar la eliminación de la materia orgánica contenida en un efluente de pelambre. Los radicales libres generados en el pre-tratamiento mediante la reacción de Fenton (POA), no producen efectos relevantes sobre la actividad de la biomasa, durante los 30 días de operación del sistema biológico.

Agradecimientos. - Este trabajo fue parcialmente financiado por el Proyecto INCO-DC N° ERB IC18-CT98-0286 "Reduction of environmental impacts of leather tanneries (EILT)", el Proyecto N° 201096054-1.0 de la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción (Chile), y el Proyecto PE 2101 de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad de La Frontera, Temuco (Chile).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA-AWWA-WPCF. (1985) Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 16th Ed., Washington, USA.
- Ahn D. H., Chung Y. C., Yoo Y. J., Pak D. W. and Cheng W. S. (1996) Improved treatment of tannery waste-water using *Zoogloea ramigera* and its extracellular polymer in an activated sludge process. *Biotechnology Letters* 18(8), 917-22.
- Bornhardt C., Nieto J., Cooman K. and Vidal G. (2001) Activated sludge treatment and toxicity evaluation of tannery wastewater streams. IWA 2nd World Water Congress, 15 - 19 October, Berlin / Germany.
- Menéndez C. y Díaz M. (1998) Depuración de aguas residuales de tenerías de pieles. *Tecnología del agua* 183, 27-32.
- Nieto J., Lizama C., Bornhardt C., Vidal G., Freer J. y Mansilla H. (2001) Oxidación avanzada de un efluente de curtiembre tratado biológicamente. XXIV Jornadas Chilenas de Química, 28 -30 de Noviembre, Temuco.
- Tang Z. and Huang P. (1997) Stoichiometry of Fenton's reagent in the oxidation of chlorinated aliphatic organic pollutants. *Environmental Technology* 18, 13-23.