

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



TESIS PARA LA OBTENCION DEL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUIMICO

**ESTUDIO EXPERIMENTAL A NIVEL PILOTO PARA  
REDUCIR LA CARGA CONTAMINANTE DE LOS  
EFLUENTES LIQUIDOS DE CURTIEMBRE**

PRESENTADO POR:

MARIBEL ASTO VASQUEZ

ESTHER ABURTO LUNA

PROMOCION 92 - II

PROMOCION 98 - I

UNI, DICIEMBRE DEL 2002

**Dedicatoria:**

A mis padres por su invaluable ayuda para el logro de mi carrera profesional.

A mi querido esposo e hijos, la razón de mi vida.

**Maribel Asto Vásquez.**

A mis padres por el apoyo  
Que me han brindado siempre  
en mi vida para seguir adelante.

**Esther Aburto Luna.**

**Agradecimiento:**

A nuestro asesor Ing. Rafael Chero Rivas,  
por su apoyo en la elaboración del  
presente trabajo.

Al laboratorio N. 20 de la facultad de  
Ingeniería Ambiental por habernos  
permitido realizar las pruebas  
experimentales.

## INDICE

1.- INTRODUCCIÓN	7
2.- FUNDAMENTO TEÓRICO	10
2.1 Aspectos generales	10
2.1.1 Naturaleza de los efluentes líquidos contaminantes	10
2.1.2 Efecto dañino de las aguas residuales	10
2.1.3 Efectos en los cursos de agua	12
2.1.4 Efectos nocivos producidos por los metales en el hombre	18
2.2 Impacto sobre el ambiente y la salud humana	19
2.2.1 Efectos sobre los cuerpos de agua	20
2.2.2 Efectos sobre el alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales	22
2.2.3 Efectos sobre el suelo	22
2.2.4 Efectos sobre la calidad del aire	23
2.2.5 El impacto sobre la salud	23
2.3 Descripción del proceso	24
2.3.1 Pre- tratamiento y almacenamiento	26
2.3.2 Ribera	26
2.3.3 Curtido	29
2.3.4 Acabado	30
2.4 Tecnologías para el control de efluentes líquidos	34
2.4.1 Tratamientos físico-químicos primarios	34
2.4.2 Tratamientos secundarios (biológico)	40
2.4.3 Tratamiento terciario	47

<b>3.- MARCO LEGAL - SECTOR INDUSTRIA MANUFACTURERO</b>	
<b>CURTIEMBRE</b>	56
3.1 Objetivos	56
3.2 Marco legal	56
3.2.1 Reglamento de desagües industriales	56
3.2.2 La Ley general de aguas	61
3.2.3 Código penal	62
3.2.4 Límites máximos permisibles	64
<b>4.- MONITOREO DE EFLUENTES</b>	71
4.1 Selección de los parámetros	71
4.2 Representatividad de la muestra	71
4.3 Modo de muestreo	73
4.4 Identificación de las muestras	73
4.5 Preservación de las muestras	74
4.6 Metodología de los análisis	75
<b>5.- CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DE CURTIEMBRE</b>	77
5.1 Principales componentes de los efluentes de curtiembre	78
5.2 Generación de efluentes líquidos y sólidos	80
<b>6.- EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES EN EL PROCESO DE</b>	
<b>PELAMBRE</b>	85
6.1 Tratamiento previo	85
6.2 Resultados experimentales del proceso de pelambre	85
6.2.1 Investigación sobre efluentes en la etapa de pelambre	85
6.2.2 Investigación a nivel laboratorio	88
6.2.3 Resultados	89
6.2.4 Conclusiones	91

<b>7.- EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES EN EL PROCESO DE CURTIDO</b>	<b>93</b>
7.1 Investigación sobre efluentes en la etapa de curtido	93
7.2 Caracterización de los efluentes en la etapa de curtido	94
7.3 Desarrollo del trabajo experimental	94
7.3.1 Tratamiento con hidróxido de sodio	96
7.3.1.1 Cantidad del reactivo precipitante	96
7.3.1.2 Tiempo de agitación	100
7.3.1.3 Temperatura	103
7.3.1.4 Conclusiones	107
7.3.2 Tratamiento con hidróxido de calcio	108
7.3.2.1 Cantidad del reactivo precipitante	108
7.3.2.2 Tiempo de agitación	113
7.3.2.3 Temperatura	116
7.3.2.4 Conclusiones	120
7.3.3 Tratamiento óxido de Magnesio	121
7.3.4 Consideraciones sobre el costo	121
7.3.5 Precipitación de los baños de curtido a escala piloto	124
<b>8.- EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES FINALES DE DESCARGA</b>	<b>126</b>
8.1 Equipos para determinar las variables químicas	126
8.1.1 Coagulación de la turbiedad	127
8.1.2 Coagulación del color	129
8.1.3 Descripción del equipo de pruebas de Jarras	130
8.2 Investigación a nivel de laboratorio	139
8.2.1 Determinación de los parámetros óptimos de coagulación	140
8.2.1.1 Determinación de la dosis óptima	140

8.2.1.1.1 Utilización del Sulfato de Aluminio	141
8.2.1.1.2 Utilización del Sulfato Ferroso	142
8.2.1.1.3 Utilización del Sulfato Manganoso	143
8.2.1.1.4 Selección del coagulante	145
8.2.1.2 Determinación de la concentración óptima del coagulante	147
8.2.1.3 Determinación del pH óptimo	149
8.2.2 Pruebas de laboratorio para la determinación de los parámetros óptimos de floculación	151
8.2.3 Pruebas de laboratorio para la determinación de los parámetros de decantación	159
8.3 Investigación a nivel planta piloto	163
9.- DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS EFLUENTES FINALES DE DESCARGA	166
9.1 Determinación del caudal	166
9.2 Descripción de unidades en el sistema de tratamiento propuesto	167
9.3 Diseño de equipos	170
10.- TRATAMIENTO Y EVACUACIÓN DE LODOS	224
10.1 Tipos de tratamiento para lodos	224
10.2 Colocación final del lodo	228
10.3 Lodos provenientes de los efluentes de curtiembre	230
11.- EVALUACIÓN ECONOMICA	233
12.- CONCLUSIONES	236
13.- BIBLIOGRAFÍA	239
APÉNDICES	

## **1.- INTRODUCCIÓN**

## 1.- INTRODUCCION

El objetivo de este estudio es la caracterización de los efluentes líquidos de la industria de curtiembre, luego realizar el estudio experimental a nivel laboratorio y piloto con el fin de disminuir la carga contaminante de los efluentes a límites máximos permisibles.

En los últimos años existe la preocupación mundial por estudiar las implicancias de la contaminación, cualitativa y cuantitativamente averiguar sus causas, conocer sus efectos, estimar las consecuencias para la humanidad y el ecosistema terrestre.

En el Perú se viene desarrollando acciones legales que permitan generar conciencia ambiental de respeto a nuestro entorno, mediante la educación y la concientización nacional, buscando un equilibrio entre la utilización económico - social de sus recursos naturales y la protección de los mismos.

La legislación nacional introduce principios ambientales, como son el principio de participación ciudadana, la obligación de desarrollar estudios de impacto ambiental, el sistema nacional del ambiente y la tipificación de delitos ecológicos y el principio de contaminador - pagador.

Con respecto al rubro curtiembre, a nivel nacional a Setiembre del 2000, las empresas suman 438, en el sector curtiembre de las cuales el 31% se concentra en Lima, el 29% en Arequipa, el 24% en la Libertad y las demás en el resto del país; y no cuentan con una apropiada tecnología para la descarga de sus efluentes al desagüe o alcantarillado.

La industria curtidora contiene residuos de las materias primas que se emplean en los procesos productivos y que no son aprovechables completamente, en este informe se demuestra la factibilidad de reuso de los licores en las etapas de pelambre y curtido, previa separación de sólidos.

En el presente trabajo se determinará la técnica más apropiada de control para reducir la mayor cantidad de contaminantes de los efluentes líquidos.

Se realizará un tratamiento al efluente final, donde se determinará los parámetros óptimos (pH, tiempo de agitación, dosis y concentración del coagulante) así como los parámetros en la operación de floculación y sedimentación.

El estudio se realizará en tres etapas que son las siguientes: efluente de pelambre, efluente de curtido y efluente final de la curtiembre. Se plantea sistemas adecuados como alternativas de manejo y tratamiento de dichos efluentes.

Los análisis, pruebas de laboratorio y demás investigaciones se realizaron en los laboratorios de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Química y Manufacturera. Los efluentes se recolectaron de una curtiembre local, cuyo nombre se reserva por razones de seguridad estratégica.

## **2.- FUNDAMENTO TEÓRICO**

## **2.- FUNDAMENTO TEORICO**

### **2.1.- ASPECTOS GENERALES**

#### **2.1.1. - Naturaleza de los efluentes líquidos contaminantes**

En la naturaleza, el agua pasa por un ciclo natural y continuo, como consecuencia de la evaporación y la precipitación, durante el cuál, el hombre la utiliza con diversos propósitos, como por ejemplo, plantas hidroeléctricas, navegación, irrigación, abastecimiento de agua potable, recreación, etc. La ampliación de los sistemas de alcantarillado en comunidades, el incremento de la industrialización, la fusión de pequeñas y medianas compañías locales para convertirse en grandes empresas, el establecimiento de rellenos sanitarios y otras medidas para la disposición de aguas residuales, han provocado una situación en el cual el caudal de aguas residuales que ingresa a las agua naturales sobrepasa la capacidad de autopurificación de estas últimas.

En el transcurso del tiempo, ha sido necesario introducir continuamente regulaciones legales, de carácter cada vez más enérgicos, destinadas a proteger estos cuerpos de aguas, a fin de evitar así la contaminación y la sobrecarga impuesta a las aguas naturales por sustancias contaminantes y dañinas; al mismo tiempo, debe ser posible el uso del agua para múltiples propósitos en regiones industrializadas y densamente poblada.

#### **2.1.2.- Efecto dañino de las aguas residuales**

Se considera que las aguas residuales son dañinas, cuando impiden o perjudican el uso normal del agua o cuando acarrear hasta las aguas naturales productos residuales considerados como nocivos. Pueden producirse daños directos por ejemplo, cuando:

- El agua es usada para el cultivo de peces.
- Las playas son utilizadas por la gente.
- Los mares, lagos, ríos son utilizados para el abastecimiento de agua potable o constituyen áreas recreativas, etc.

El daño puede cuantificarse y compararse con los costos de inversión y operación del tratamiento de las aguas residuales. Es posible demostrar fácilmente las ventajas económicas que pueden lograrse cuando las plantas de tratamiento de aguas residuales son eficientes.

Las aguas residuales pueden ser recuperados mediante el reciclaje y reutilizados en la elaboración de otros productos en vez de destruir completamente un sistema ecológico y de esta manera, eliminar una fuente de recursos naturales y de producción.

Las aguas residuales que presentan efectos excepcionalmente tóxicos sobre los seres humanos y animales son aquellas que contienen los siguientes componentes:

- Solventes orgánicos
- Compuestos orgánicos halógenos
- Compuestos orgánicos fosforados
- Sustancias con efectos cancerígenos demostrados
- Sulfuro de hidrógeno
- Cianuro
- Fluoruro
- Metales pesados y compuestos de estos metales
- Organismos patógenos y/o huevos de parásitos vivos

El mayor contaminante de las aguas naturales es la descarga de aguas residuales provenientes de las ciudades y de las industrias. El resultado de esta contaminación se refleja en una considerable modificación de las propiedades del agua natural.

Cuando se considere la reutilización de un agua, esta debe ser tratada previamente, en algunos casos el tratamiento es tan complejo que ciertos reusos resultan antieconómicos.

Otros efectos negativos en el agua natural son causados por:

- Aguas residuales que reducen en gran medida el contenido de oxígeno, debido a sus constituyentes, los que son química o biológicamente oxidables y consumen el oxígeno disuelto del agua natural mediante la oxidación de compuestos orgánicos (carbohidratos, grasas, proteínas, etc), amoniac, nitritos y sulfitos.
  
- Aguas residuales con alto contenido de lodos sedimentables, sus componentes pueden ser de origen mineral u orgánicos. Los sólidos que pueden descomponerse orgánicamente, son los que causan mayor daño al reaccionar con el lodo sedimentado produciendo la flotación del mismo. Las aguas residuales que contienen agentes fertilizantes, como nutrientes tales como compuestos de nitrógeno y fósforo, son accesibles para las algas y plantas acuáticas superiores.

### **2.13.- Efectos en los cursos de agua**

Todas las aguas residuales industriales afectan de algún modo las corrientes de agua, haciéndolas que estas no sean aceptables para su

“mejor utilización” (como: bebida, baño, pesca, etc). Se dice entonces que está contaminada.

Los ríos pueden asimilar cierta cantidad de residuos, cuanto más caudaloso, rápidos y más aislados estén los cursos de agua y no hayan sido utilizados, más capaces son de tolerar una cantidad mayor de aguas residuales; pero una cantidad excesiva de contaminante produce perjuicios. Calificar a una corriente como contaminada significa en términos generales que la corriente contiene una capacidad excesiva de uno o varios contaminantes específicos. Puede causar contaminación las materias siguientes:

- Sales inorgánicas
- Ácidos y/o álcalis
- Materia orgánica
- Sólidos en suspensión
- Líquidos, sólidos flotantes
- Color
- Agua a temperatura elevada
- Productos químicos tóxicos
- Microorganismos
- Materiales radiactivos
- Compuestos que producen espumas.

### **Las Sales Inorgánicas:**

Están presentes en la mayor parte de los residuos industriales, lo mismo que en la propia naturaleza “endurecen” el agua y hacen que no sea utilizable para usos industriales, domésticos o agrícolas. Se indican a continuación solamente algunos de los problemas que genera la utilización de agua dura.

Las aguas cargadas de estas sales producen incrustación en los sistema de distribución de aguas aumentando la resistencia de la circulación y disminuyendo su capacidad de transporte. Las aguas dificultan al teñido en la industria textil, la elaboración de la cerveza y rebajan la calidad del producto en la industria de conservas. El sulfato de magnesio un constituyente que es particularmente molesto en las aguas duras, tienen efectos purgantes en las personas. El ión cloruro aumenta la conductividad del papel aislante eléctrico; el hierro produce señales y manchas en las telas blancas manufacturadas en las fabricas textiles y en los papeles de calidad producidos en las fabricas de papel y los carbonatos originan una capa dura en los guisantes tratado en las fabricas de conservas. Otros tipos de agua dura producen incrustaciones en los tubos de calderas de forma que dificultan la transmisión de calor. Esta situación llamada “incrustación de calderas” disminuye su rendimiento y aumenta el costo de producción.

Otra desventaja es que bajo condiciones adecuadas, las sales inorgánicas, especialmente nitrógeno y fósforo aumenta el crecimiento de los seres de vida microscópica y algas en las aguas superficiales. Aunque las algas son una forma secundaria de contaminación, pueden ser de extrema importancia, tienen la ventaja que añaden oxígeno disuelto a la corriente, pero es perjudicial la carga orgánica con que contribuyen después de su muerte.

### **Los Acidos y Alcalis**

Descargados por plantas industriales o de otro tipo hacen que un río no sea utilizable para usos recreativos como el baño o pasear en la barca, o para la propagación de los peces o de forma de vida acuática. Con concentraciones altas de ácido sulfúrico para bajar el

pH a menos de 7,0 cuando no hay cloro libre presente se ha demostrado, que causan irritación a los ojos de los nadadores, rápida corrosión en los cascos de los barcos y el rápido deterioro de las redes de los pescadores. La toxicidad del ácido sulfúrico para la vida acuática es función del pH que resulte. El pH en una corriente no debe ser menor de 4,5 ni mayor de 9,5 si se pretende que los peces sobrevivan. Sin embargo se puede encontrar valores de pH tan bajos como 2 y tan altos como 11 en las proximidades de los vertidos industriales.

El hidróxido de sodio muy soluble en el agua, afecta la alcalinidad, se encuentra en aguas residuales de muchas industrias incluyendo la de producción de jabón, tintes de reutilización de neumáticos y curtido de pieles. Se ha encontrado que corrientes que contengan tan solo 25 ppm de NaOH son mortales para los peces. Este álcali en aguas de caldera puede por su acción cáustica causar fragilidad en las conducciones, las plantas de tratamiento de agua pueden estar peligrosamente afectadas por estos contaminantes; por ejemplo las plantas de tratamiento que utilizan sulfato de alúmina como coagulante, a menudo se encuentran con concentraciones de ácidos o álcalis que dificultan la formación de flóculos.

### **La Materia Orgánica**

Consumo el oxígeno de los ríos, crea olores y gustos desagradables. Los peces y la mayor parte de la vida acuática se asfixian por falta de oxígeno y la concentración de este combinada con otras condiciones determina en los ríos la vida o la muerte de los peces. Se sabe que en general, el límite para la supervivencia de los peces es de 3 ó 4 ppm de oxígeno disuelto. Sabemos que algunas especies de peces no pueden sobrevivir en aguas que contienen 3 ppm de

oxígeno disuelto, mientras que otras especies pueden no ser afectadas, ni siquiera levemente, por la misma cantidad tan baja en el nivel de oxígeno disuelto; por ejemplo la trucha es un pez muy sensible y que necesita por lo menos 5 ppm de oxígeno disuelto mientras que la carpa es un pez que se alimenta de peces muertos y es capaz de sobrevivir con apenas 1 ppm de oxígeno disuelto.

Este déficit de oxígeno causado por la materia orgánica, se considera como el factor más importante en la contaminación de los ríos.

### **Sólidos en Suspensión**

Precipitan en el fondo o se depositan en las orillas y se descomponen causando olores y la disminución de oxígeno en las aguas del río. Frecuentemente, los peces se mueren a causa de esta súbita baja del contenido de oxígeno en la corriente y los sólidos que precipitan en el fondo pueden cubrir las zonas de desove y reducir la propagación. Si hay lodos apreciables a simple vista, se crean condiciones desagradables e impiden la utilización del río como recreo. Estos sólidos también aumenta la turbidez del agua, aunque en cada corriente es diferente la cantidad de sólidos que pueden transportar sin peligro. La mayor parte de las autoridades de control de la contaminación, especifican, que los sólidos en suspensión pueden ser vertidos únicamente si su concentración no impide el uso adecuado de las aguas.

### **Los Sólidos y Líquidos Flotantes**

Comprenden aceites, grasas y materiales que flotan en la superficie, dan al río un aspecto desagradable e impiden el paso de la luz a través del agua, retardando el crecimiento de las plantas.

Algunas objeciones específicas a las grasas en las corrientes son: interfieren con la recreación natural, son tóxicos a ciertas especies de peces y de vida acuática, destruyen la vegetación a lo largo de los cauces con la consecuente erosión, causan dificultades en los tratamientos de aguas, dando olor y sabor y produciendo una capa en los filtros de una película muy fuerte, crea una película muy desagradable en la superficie del agua.

### **Agua a elevadas temperaturas**

Un incremento en la temperatura de la corriente producido por un vertido, como agua de condensadores, tiene diferentes aspectos adversos. Las aguas de los ríos que varían de temperatura rápidamente son de tratamiento difícil a las plantas municipales e industriales. Por otra parte como el agua caliente tiene una densidad menor que la fría se produce una estratificación que es causa de que la mayor parte de los peces se retiren a la zona profunda de la corriente, puesto que hay menos oxígeno para la degradación natural biológica de cualquier contaminación orgánica descargada en las aguas superficiales calientes. También se incrementa la acción bacterial en altas temperaturas, lo que produce una acelerada disminución de los recursos de oxígeno en el río.

### **Productos Químicos Tóxicos**

Tanto los productos orgánicos como los inorgánicos incluso a unas concentraciones extremadamente bajas, pueden ser peligrosas para los peces de agua dulce y para diferentes microorganismos acuáticos. Muchos de estos compuestos no se eliminan en plantas urbanas de tratamiento, y tienen un efecto acumulativo en el sistema biológico.

Casi todas las sales, incluso en bajas concentraciones son tóxicas, para cierta forma de vida acuática. Así se sabe, que los cloruros son tóxicos para los peces de agua dulce en concentraciones de 400 ppm, como son los compuestos de cromo hexavalente en concentraciones de 5 ppm. Concentraciones de cobre tan bajas como 0,1 a 0,5 ppm son tóxica para las bacterias y otros microorganismos aunque las larvas de ostras para desarrollarse necesitan una concentración de cobre de unas 0,05 a 0,06 ppm. Concentraciones mayores de 0,1 a 0,5 ppm son tóxicas para algunas especies. Otros iones metálicos tóxicos son  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+6}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{CN}^-$ , que impiden la oxidación biológica limitando la acción de los enzimas para oxidar la materia orgánica.

#### **2.1.4.- Efectos nocivos producidos por los metales en el hombre**

Tenemos el antimonio, el arsénico, el bismuto, la sílice, el selenio y el telurio.

Son nocivos para todo tipo de vida al ingerirse de algún modo, al llegar a los cursos superficiales se mantienen en solución dispuestos a combinarse con cualquier elemento, siempre que den las condiciones específicas, corriendo el riesgo además de ser ingeridas por animales o lo que es peor arriesgando la salud pública al contaminar las fuentes de abastecimiento de agua potable. Un metal puede penetrar en los tejidos sin actuar como veneno. Así la plata no produce síntomas tóxicos, origina deformaciones que duran toda la vida en la argiria generalizada. Otros metales que por si mismo no son venenosos, pueden sin embargo, tomar ciertos compuestos tóxicos. Así el níquel es inocuo en lo que se refiere a efectos tóxicos pero la inhalación del carbóxilo de níquel ocasiona lesiones destructivas en los pulmones.

Cantidades relativamente grandes de zinc pueden ser disueltas por los materiales ácidos conservados en vasijas de este metal sin comunicar sabor alguno a los productos alimenticios ni producir la menor alteración tras la ingestión pero el tetrametilo de zinc es más tóxico que el arsénico incluso.

Un metal o un compuesto metálico puede tener un efecto diferente según que existan en forma orgánica, según que sus propiedades físicas sean las de un sólido, un líquido o un gas lo cual depende de que la valencia del radical metálico sea alta o baja o de que entre en contacto con la piel o penetre en el organismo a través del tacto respiratorio o digestivo. Así el arsénico actúa como un veneno hemolítico poderoso, mientras que los compuestos arsenical inorgánicos nunca produce este efecto. En los intoxicados por el tetraetilo de plomo se aprecian síntomas y signos cerebrales, estando ausentes los conocidos síntomas de intoxicación por los compuestos inorgánicos de plomo. Así mismo, las personas intoxicadas por los compuestos metálicos de mercurio no muestran los síntomas y signos de intoxicación por el mismo metal, sino que presenta cuadro de una enfermedad única del sistema nervioso. Un tercer metal que se distingue por una selección específica por ciertas partes del cerebro es el manganeso, que ataca el globo pálido y los núcleos lenticulares.

## **2.2.- IMPACTO SOBRE EL AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA**

Los residuos de curtiembre 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 irreversible.

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.

### **2.2.1 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 esta 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 aguas subterráneas, su contaminación es más problemática y persistente porque su autodepuración es lenta debido a que no presenta corrientes que le confieren una adecuada aireación. Esto se agrava cuando es la única fuente de abastecimiento de agua para una población. Los efluentes de curtiembres no tratados ocasionan salinidad en las aguas subterráneas debido a la alta concentración de cloruros.

Una evaluación sobre el potencial de contaminación de los cuerpos de agua causada por efluentes de curtiembre en función de sus características principales muestra lo siguiente:

**DBO y DQO:** Son 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 curtiembre presentan variaciones entre 2,5 y 12,5. 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 es muy tóxico.

**Amonio:** Es tóxico para los peces. Es un nutriente que puede causar proliferación de las 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 las plantas acuáticas y algas.

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

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

**Sólidos sedimentables:** Ocasionan la formación de bancos de lodos que producen olores desagradables.

### **2.2.2.- 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 descomposición 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.

### **2.2.3.- Efectos sobre el suelo**

El suelo tiene cierta cantidad para neutralizar la carga contaminante recibida. Consecuentemente, la descarga de un efluente tratado puede ser beneficioso para la irrigación de un terreno agrícola. Sin embargo, los niveles de contaminación deben controlarse cuidadosamente para evitar el daño de la estructura del suelo, la consecuente disminución de la producción agrícola y la aceleración de la erosión. Por otra parte, debe tomarse en cuenta que la recuperación de un terreno deteriorado demanda un período de largo tiempo.

El suelo alrededor de estas industrias y de los sistemas de tratamiento de sus efluentes, así como el de las áreas de almacenamiento y disposición de sus residuos puede deteriorarse si no se toman medidas preventivas. De igual manera, el suelo contaminado podría interferir en futuros usos del mismo y contribuir a la contaminación de cursos de aguas cercanos.

#### **2.2.4.- Efectos sobre la calidad de aire**

La descomposición de la materia orgánica, así como la emisión de sulfuro de las aguas residuales causan el característico mal olor de una curtiembre. Por ello, la localización de este tipo de industria es motivo de controversias en muchos países, de ahí que se le destina áreas específicas.

Las emisiones de sulfuro provenientes del pelambre y de las aguas residuales, las emisiones de amoníaco y vapores de solventes que provienen del desencalado y de la etapa de acabado, así como las carnazas y grasas del descarnado, son fuentes importantes de producción de olores que podrían eliminarse mediante un buen control de las operaciones de la industria.

#### **2.2.5.- El impacto sobre la salud**

El riesgo para la salud se presenta por el manejo descuidado de los insumos químicos que se emplean en el proceso de producción de cueros, así como por una inadecuada disposición de los residuos al interior y fuera de la planta industrial.

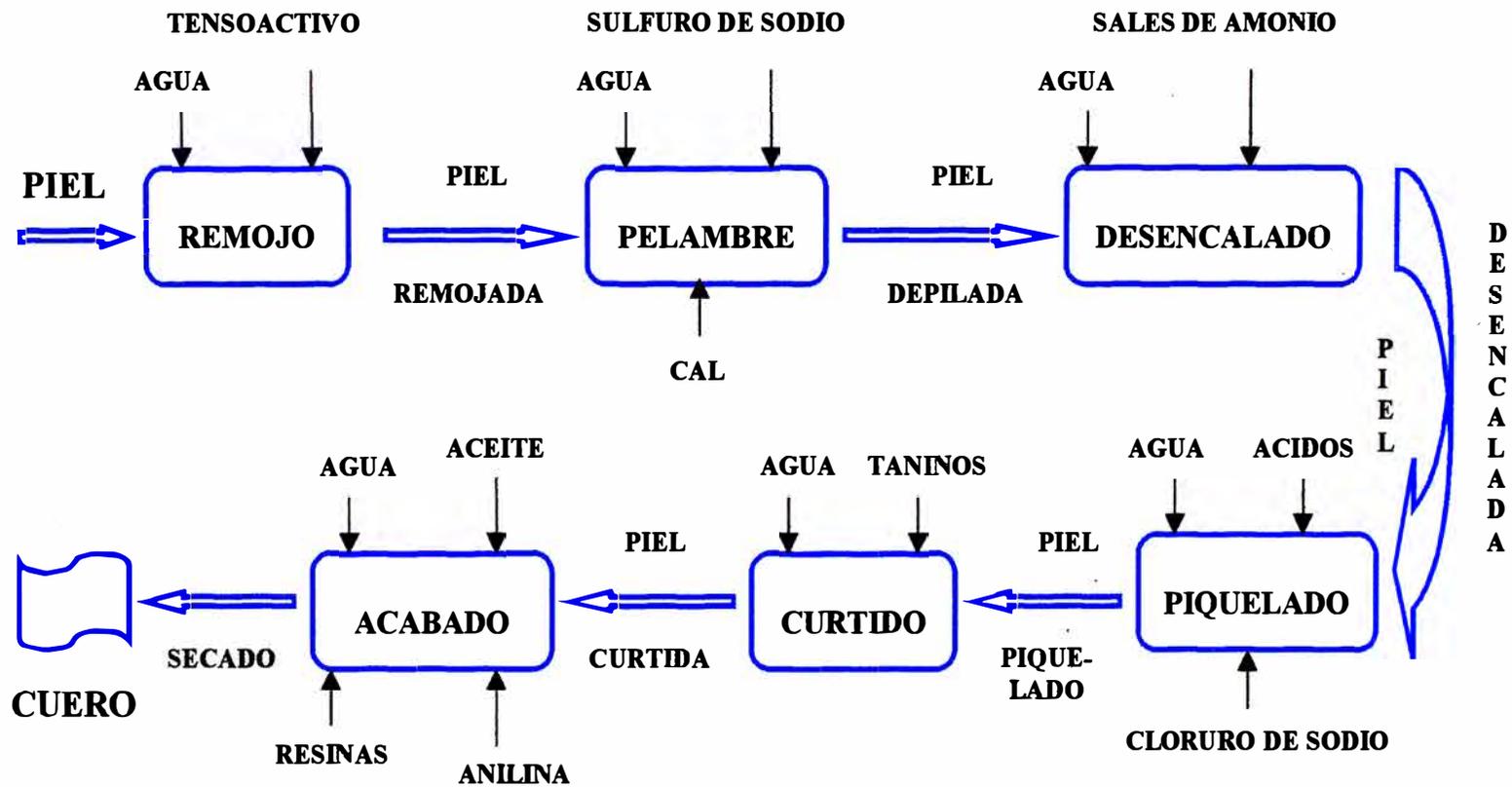
El riesgo de accidentes por derrames de insumos químicos empleados en el proceso productivo y que pueden causar daño a la salud de los trabajadores, demanda un especial cuidado en el transporte, almacenamiento y manipulación de estos productos. El sulfuro de sodio, las sales de cromo, las bases o álcalis, los ácidos, así como los solventes y pesticidas, son algunos de los insumos que requieren un manejo cuidadoso porque pueden causar intoxicaciones o accidentes a los empleados expuestos a ellos. El buen manejo de los insumos químicos al interior de la industria debe formar parte de un programa de control de la producción industrial.

También existe el riesgo que algunos residuos dentro de la industria sean nocivos para la salud de los trabajadores, tal es el caso de aquellos que contienen sulfuro, potenciales formadores de gas sulfhídrico que muchas veces ha provocado desmayos y accidentes fatales durante la limpieza de las canaletas y tanques recolectores de efluentes. Los gases o vapores de solventes de la etapa de acabado son también nocivos para la salud si son inhalados por largos periodos de tiempo.

### **2.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

La industria de Curtiembre consiste en la transformación de la piel en cuero. Las principales etapas o procesos industriales son las siguientes: pretratamiento y almacenamiento, ribera, curtido y acabado (fig. 1).

**Fig.1. DIAGRAMA DE LOS PROCESOS PARA LA FABRICACION DE CUEROS VACUNO**



### **2.3.1.- PRE-TRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO**

El procesamiento del cuero puede empezar poco después del sacrificio del animal, pero en muchos casos se almacenan las pieles por tiempo prolongado. Cuando ellas son almacenadas, deben recibir un tratamiento para impedir el desarrollo de microorganismos con consecuente putrefacción de las mismas.

**Pieles Saladas.-** La preservación se realiza inicialmente por inmersión en salmuera. Las pieles se apilan, intercalándolas con una capa de sal. En estas condiciones se pueden guardar por meses previo al proceso de curtición, ya que saladas presentan una fuerte resistencia a los microorganismos. Por otro lado, salar le permite a la empresa tener en stock que no es afectado por problemas de escasez o por ciclo de estación.

**Pieles Verdes.-** Cuando el tiempo entre el sacrificio del animal y el procesamiento de la piel es corto, la curtición se puede iniciar sin ningún tratamiento. En este caso, las pieles se denominan “pieles verdes”.

### **2.3.2.- RIBERA**

El objetivo de la ribera es limpiar y preparar la piel para facilitar la etapa de curtido. Las operaciones son comunes a la mayoría de las pieles, independientemente del proceso de curtido posterior o al tipo de producción son: reverdecimiento o remojo, caleado y pelambre, descarnamiento o descarnado y división (cuando se producen vaquetas).

La mayor cantidad (aproximadamente 65%) de los efluentes líquidos generados en curtiembres proviene de los procesos de ribera (reverdecimiento, pelambre, descarnado y división). El resto proviene

del curtido, lavado final y de la limpieza de la planta. En la ribera los efluentes líquidos presentan altos valores de pH considerable contenido de cal y sulfatos libres, así como sulfuros y una elevada DBO debido a la presencia de materia orgánica y grasas animales provenientes de los sólidos suspendidos generados durante este proceso.

**Remojo.-** El objetivo esta operación es rehidratar los cueros. Los cueros verdes se lavan simplemente para quitar la sangre y materias orgánicas adheridas al pelo. Los cueros salados son remojados con varios baños de agua enriquecidos con humectantes, bactericidas, detergentes y desinfectantes. La operación de remojo se lleva a cabo en tambores rotativos (botales) o en tanques donde se generan los efluentes líquidos que contienen sal, sangre, tierra, heces, sebo y grasas que aumentan la DBO. La operación dura de seis a 24 horas, los efluentes se desechan de manera intermitente.

**Pelambre.-** Después del remojo, las pieles pasan al proceso de pelambre. Esta operación tiene por objetivo hinchar la epidermis, retirar el pelo del cuero, saponificar las grasas naturales y entumecer las fibras para facilitar el efecto del curtido. Se utiliza un baño con agitación periódica en una solución que contiene sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) y cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), durante un período que varía entre 17 a 20 horas. Puede reducirse el tiempo del caleado aumentando la concentración de sulfuro de sodio.

Las aguas residuales de esta operación son las más concentradas de todas las generadas en el proceso de la fabricación del cuero y presentan un 70% a 80% de toda la contaminación de la carga originada en los efluentes principalmente como DBO, sólidos

suspendidos y sulfuro. Presentan valores elevados de pH (superiores a 11) y resto de carnaza, pelo, sulfuro y proteínas solubles.

El sulfuro de sodio, en medio alcalino, no libera ácido sulfhídrico. Sin embargo, en presencia de pH bajo (efluente ácido) hay fuerte desprendimiento de ácido sulfhídrico con el olor característico y un gran poder de corrosión. Con un pH por debajo de 8,0 se inicia el desprendimiento de ácido sulfhídrico en suficiente cantidad que causa incomodidad por su fuerte olor a huevo podrido. Es importante mantener el pH por encima de 8 para que esto no suceda. Una forma alternativa de lograr esto consiste en diluir el caldo con otros efluentes para bajar su concentración.

Esta etapa del proceso, además de aportar 70% de la carga orgánica al efluente, aporta la totalidad de los sulfuros residuales y representa el 50% del volumen del efluente.

**Descarne.-** La operación de descarne involucra la remoción de los tejidos adiposos, subcutáneos, musculares y el sebo adheridos a la cara interna de la piel, para permitir una penetración más fácil de los productos curtientes.

Esta operación puede llevarse a cabo con máquinas o manualmente en curtiembres. Algunas curtiembres realizan un predescarne con pelo antes del caleado, tratando de reducir el consumo de los químicos (cal y sulfuro de sodio) y agua, y así, recuperar las grasas naturales de las carnazas lo cual presenta obtener todas las ventajas mencionadas en el descarnado en verde.

Los efluentes líquidos resultantes del descarne presentan concentraciones altas de sólidos en suspensión (proteínas disueltas) y pH alcalino y deberían de ser tamizados para incorporarse al efluente de pelambre. Los sebos y piltrafas resultantes son utilizados por los

fabricantes de cola después de un lavado de la cal ya que son puro colágeno y grasas. Hay empresas de gran producción que obtienen una ganancia marginal de la recuperación de las grasas de cuero la cual es utilizada para cosméticos finos y el colágeno lo procesan en alimentos balanceados para el ganado. En países en desarrollo la cola es utilizada para la fabricación de pinturas o gelatinas de baja concentración que son vendidos a fábricas de caramelos.

**Dividido.-** Se puede hacer en la ribera o después del curtido con el cuero en “wet-blue”. Esta operación consiste en dividir en dos capas la piel hinchada y depilada, separando la flor, que es la parte externa de la piel, de la parte que esta en contacto con la carne. Aquí además de partir el cuero en dos capas. También se generan piltrafas además de los recortes de la parte inferior o carnaza.

### **2.3.3.- Curtido**

El curtido comprende los siguientes pasos: Desencalado, Piquelado, y el curtido propiamente dicho.

**Desencalado.-** El desencalado es la preparación de las pieles para la curtición, mediante lavados con agua limpia, tratando de reducir la alcalinidad y removiendo los residuos de cal y sulfuro de sodio. Se utilizan aguas que contienen sulfato de amonio y ácidos. Esta operación se lleva a cabo en tambores rotativos. Esto genera parte del efluente con cargas de cal y sulfuro de sodio que deberán ser procesadas en el efluente posteriormente.

**Piquelado.-** La operación de piquelado se realiza en los tambores rotativos como preparación para el curtido. Consiste en la acidulación de las pieles, con el objeto de llegar al pH adecuado para curtir y fijar las sales de cromo entre las fibras del colágeno.

**Curtido.-** Este proceso tiene por objetivo convertir las pieles en materiales fuertes y resistentes a la putrefacción. Existen tres tipos de proceso de curtido, según el curtiente empleado:

**Curtido Vegetal:** emplea taninos vegetales, este tipo se utiliza para la producción de suelas. Las fuentes de tanino más empleadas son el extracto de quebracho y corteza de acacia negra y mimosa.

**Curtido Mineral:** emplea sales minerales, se usa para la producción de cueros para la fabricación de calzado, guantes, ropa, bolsas, etc. La ventaja de este proceso es la reducción del tiempo de curtido a menos de un día, además de producir un cuero con mayor resistencia al calor y al desgaste. Se utilizan sales de cromo. Típicamente se usan sales de cromo trivalente con una concentración que varía de 1,5 a 8% de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

**Curtido Sintético:** emplea curtientes sintéticos. Se usa curtientes orgánicos sobre la base del formol, quinona y otros productos. Estos curtientes proporcionan un curtido más uniforme y aumentan la penetración de los taninos. Debido a sus costos elevados, son poco usados.

#### **2.3.4.- ACABADO**

En esta etapa se puede procesar el cuero curtido al vegetal o curtido al cromo. En el curtido vegetal se procesa el cuero para la fabricación de suelas, de cuero para talabartería, monturas, usos industriales y de cuero para repujados.

El acabado de suela comprende: prensado, blanqueado engrase, secado y estiramiento (proceso opcional).

El acabado de curtido al cromo comprende: prensado, rebajado, neutralización, recurtido, teñido, engrase, secado y pulido (proceso opcional).

**Prensado.-** Después del curtido, se realiza un prensado del cuero (llamado escurrido), para retirar la humedad, estirar las partes arrugadas y mantener un espesor uniforme del mismo.

**Rebajado.-** Los cueros se raspan y se rebajan en las mismas máquinas. Este procedimiento le da al cuero un espesor uniforme y lo deja en la medida escogida. En esta etapa se generan cerros de viruta del rebajado que contienen el cromo del curtido. Esta viruta se realiza para fabricar falsas o para recuperar el cromo. Si se hace esto, el cuero que queda sin cromo se usa en alimento para ganado procesándolo con otros productos o se descompone o se usa como fertilizante.

**Neutralización.-** Los cueros se sumergen en tambores para realizar las operaciones arriba citadas. Estas operaciones se llevan a cabo de manera consecutiva, cambiando solamente la composición de los baños después de descartar el baño anterior. El baño de neutralización se realiza con agua, formiato de calcio, carbonato o bicarbonato de calcio.

**Recurtido.-** El curtido al tanino produce un cuero más fácil de ser prensado. Por esta razón, muchas veces, el cuero curtido al cromo, denominado “wet blue”, recibe un segundo curtimiento, el cual puede ser cromo o al tanino vegetal o sintético.

Cuando este segundo curtido es realizado luego del primero, se llama “curtido combinado”, su práctica sirve para reducir cromo en el efluente. Estos procesos son realizados en la producción de cueros, dependiendo del tipo de producto final que uno desea obtener. El proceso es prácticamente el mismo de curtido.

**Teñido.-** El teñido se realiza luego de la neutralización en baño que contiene agua, colorantes (natural, artificial o sintético) y ácido fórmico. Este baño se desecha después de cada operación.

Los efluentes en esta etapa del proceso son mínimos en comparación al de pelambre y no justifica acción alguna de tratamiento. Los ácidos que contienen sirven para neutralizar el efluente general.

**Engrase.-** El engrase se realiza con el objeto de evitar el cuarteamiento del cuero, volviéndose suave, doblable, fuerte, flexible y resistente. Este proceso consiste en la impregnación al cuero con grasas o aceites . Estas sustancias se depositan en las fibras del cuero dónde son fijadas.

El engrase se lleva a cabo en los mismos tambores de las operaciones anteriores. Algunas curtiembres recuperan el sebo y las grasas naturales contenido en las carnazas de las pieles. Estos materiales pueden aprovecharse en el proceso de engrase luego de una sulfonación. La piel verde contiene de 0,5 a 1,5 kilogramo de sebo.

**Secado.-** La operación de secado se realiza luego del teñido. Los procesos usados para realizar esta operación son secados al vacío, secado en secotérmica, empastado o pasting, secado por templado en marcos (togging).

**Lijado.-** Los cueros de calidad inferior deben lijarse para corregir los defectos eventuales, pasando previamente por un humedecimiento y suavizado. Pueden recibir acabados, como diseños en relieve; tales acabados son realizados en las máquinas de estampado y pintado mediante la aplicación de tinta y barnices.

Aquí se genera polvo en cantidades, la habitación donde se encuentra esta máquina debe de estar bien aislada, tener extractores y el personal debería de usar mascarar. El polvo se desecha quemándolo y aún no se ha encontrado una solución práctica para la eliminación.

**Estiramiento.-** Los cueros pueden ser sometidos a una etapa de estiramiento para recuperar algo del área perdida por su encogimiento durante los procesos en húmedo y esta técnica no sólo se utiliza para ganar área sino también para conferir un tacto parejo ya que por su constitución las faldas son suaves, el cogote duro y se quiere que todo el cuero obtenga la misma suavidad.

Es distinto el caso de las suelas. Primero es estirar para eliminar las arrugas y pliegues, se aplica óleo luego y se plancha para aumentar su resistencia.

## **2.4.- TECNOLOGIAS PARA EL CONTROL DE EFLUENTES LIQUIDOS**

### **2.4.1.- TRATAMIENTOS FISICO-QUIMICOS PRIMARIOS**

#### **TRAMIENTO PREVIO**

La selección de los procesos de tratamiento de aguas residuales depende de un cierto número de factores que incluyen:

Características del agua residual como DBO, sólidos suspendidos, pH, grasas, y productos tóxicos.

- Calidad del efluente de salida requerido
- Costo y disponibilidad de terrenos
- Consideración de las futuras ampliaciones o previsión de límites de calidad de vertidos más estrictos.
- Costo del agua.

Los pre-tratamientos o tratamiento previo de aguas residuales, implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga en los receptores.

Los procesos de coagulación y floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos.

Una parte considerable de estos sólidos que no se asientan pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repela las partículas vecinas, como se repelen mutuamente dos polos magnéticos. Ya que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamados flóculos, las partículas no se asientan. La coagulación desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantiene separados. Esto se logra, añadiendo

coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polieléctrolitos.

El proceso de desestabilización es la coagulación (neutralización de la carga); la etapa de formación de flóculos es la floculación.

**Tabla 1. Propiedades de los coagulantes comunes**

Nombre	Fórmula	pH (1%)	Peso equivalente
Alumbre	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	3,4	100
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	12	40
Cloruro Férrico	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	3-4	91
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	3-4	51,5
Caparrosa verde	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3-4	139
Aluminato sodio	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$	11-12	100

Nota: La disponibilidad de estos coagulantes, se encuentra en forma líquida, polvo, granular, etc.

### **COAGULACION:**

La coagulación es la precipitación de coloides, consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado.

Las especies coloidales halladas en el agua cruda y en agua de desecho incluyen arcillas, sílice, hierro y otros metales pesados, color y sólidos orgánicos, como los residuos de organismos muertos. Cuando en una planta de tratamiento no se dispone de tiempo

suficiente para extraer sólidos suspendidos, la coagulación y floculación pueden provocar asentamiento (Tabla 2)

**Tabla 2. Sedimentación de partículas pequeñas de sílice**

Típico	Micras ( $\mu$ )	Area de la superficie (Total)	T. de asent. 1 m. de caída.
Grava	10 000	3,14 cm <sup>2</sup>	1 s
Arena gruesa	10 00	3,14 cm <sup>2</sup>	10 s
Arena fina	100	3,14 cm <sup>2</sup>	125 s
Limo	10	0,314 m <sup>2</sup>	108 min.
Bacterias	1	3,14 m <sup>2</sup>	180 h
Mat. Coloidal	0,1	31,4 m <sup>2</sup>	755 días

**Nota :** Las partículas mayores de 100 micras pueden observarse a simple vista y son consideradas como sólidos asentables. En el intervalo de 10 a 100 micras se las considera turbidez. Por debajo de las 10 micras se las considera coloidales. Las partículas mayores de 0,1 micras son visibles con el microscopio óptico; para menores de 0,1 micras se usa el microscopio electrónico para detectarlas.

#### **FLOCULACION:**

Se llama así al flóculo formado por la aglomeración de varios coloides. Formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados.

Los lodos y las lechadas, cuando han sido floculados, se desecan con mayor rapidez.

El objetivo principal de la floculación es reunir a las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimentan con mayor eficiencia.

En esta unidad se proporciona a la masa de agua una agitación lenta que debe promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que salgan de ella. La energía que produce la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico.

**Ventajas de un floculador hidráulico:**

- Son muy confiables, garantizan el funcionamiento continuo  
Se economiza energía eléctrica
- Carecen de elementos móviles o mecánicos, de tal modo que la operación y mantenimiento son muy simples y poco costosos, reduciéndose básicamente a la limpieza de las unidades.

## **FLOTACION**

Es una operación de separación muy empleada. La separación se consigue haciendo flotar en la superficie de un líquido, determinados componentes sólidos de una suspensión, mientras que otros se hunden.

El objetivo de este proceso es promover condiciones de reposo, para que los sólidos cuya densidad es menor que la del agua, asciendan a la superficie de la unidad de donde son retirados. Se emplean agentes de flotación para mejorar la eficiencia del proceso.

En el campo de los tratamientos de aguas residuales, la flotación se usa para lo siguiente:

- Separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad de las aguas residuales.
- Espesado de los lodos procedente de los procesos de lodos activos

- El espesamiento de los lodos floculados químicamente resultantes de los tratamientos de coagulación química

Los componentes básicos de un sistema de flotación son:

- 1) Bomba de presurización
- 2) Sistema para inyección de aire
- 3) Tanque de retención
- 4) Válvula reductora de presión
- 5) Tanque de flotación

Las celdas de flotación son aparatos en el cual se efectúa la flotación de material separándolo de las colas residuales (productos que se hunden en el agua y se descargan por el fondo). En esencia, está formado por un recipiente o depósito, provisto lateralmente de un canal alimentador, un rebosadero para la espuma y un dispositivo de descarga para las colas en el lado opuesto, así como de una conducción apropiada para la introducción de aire necesario a la formación de las espumas y a la agitación.

## **NEUTRALIZACION**

Es la reacción entre ácidos y bases con formación de agua.

El tratamiento de neutralización se utiliza en los siguientes casos que se presentan en la depuración de aguas residuales:

- Antes de las descargas de aguas residuales en un medio receptor. La justificación para la neutralización es que la vida acuática es muy sensible a las variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a  $\text{pH}=7$ .
- Es más económico hacer una neutralización de las corrientes de las aguas residuales antes de la descarga en el alcantarillado municipal, que intentar hacer una neutralización de los mayores volúmenes de las aguas residuales mixtas combinadas domésticas e industriales.

- Antes del tratamiento químico o biológico el pH del sistema se lleva a un intervalo comprendido entre 6,5 y 8,5 para asegurar una actividad biológica óptima.

Las reacciones ácidos y las bases se encuentran entre los procesos químicos más comunes empleados en el acondicionamiento del agua como:

Acido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

Acido clorhídrico (HCl)

- Cal viva ( $CaO$ )

Lechada de cal ( $Ca(OH)_2$ )

- Caliza ( $CaCO_3$ )

- Sosa comercial ( $Na_2CO_3$ )

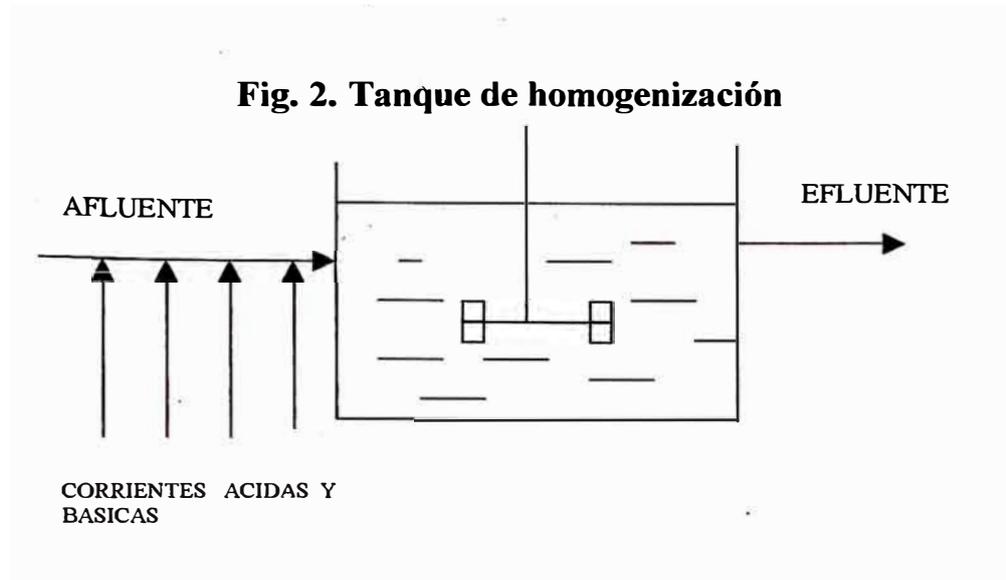
- Sosa cáustica (NaOH)

- Amoníaco ( $NH_3$ )

Además de estos productos químicos, existen desechos químicos que poseen valores residuales de ácidos o base que pueden ser empleados para la neutralización en el tratamiento de desechos. En el caso de curtiembre dado que las cargas varían continuamente en calidad y cantidad es necesario homogenizarlas mezclando los desagües alcalinos (pelambre) y ácidos (curtido). El progreso en la neutralización de un ácido o de una base se mide fácilmente por el pH.

Sin embargo, la utilidad de emplear el pH para controlar la reacción de neutralización está condicionada en gran medida por la capacidad amortiguadora del agua.

Se utiliza tanques de homogenización, para mezclar corrientes de aguas residuales ácidas y alcalinas (Fig. 2).



#### 2.4.2.- TRATAMIENTO SECUNDARIOS (BIOLOGICOS)

La expresión de tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios.

Este proceso nació de la observación de que si cualquier agua residual urbana o industrial se somete a aireación durante un período de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo flocculento.

#### LODOS ACTIVADOS

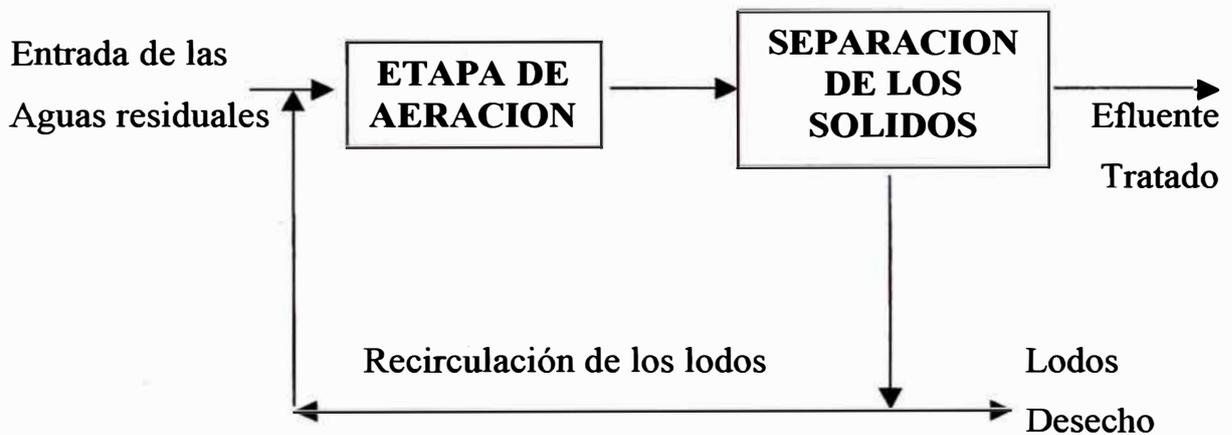
El proceso de los lodos activados es quizás el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales, orgánicas e industriales.

El principio básico del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión flocculenta en un sistema aerado y agitado. La materia en suspensión y la coloidal se eliminan rápidamente de las aguas residuales por adsorción y aglomeración en los flóculos microbiano, proceso conocido como estabilización. En este proceso, parte del material nutriente se oxida a sustancias simples como el

anhídrido carbónico, un proceso denominado mineralización, y parte se convierte en una materia celular microbiana, llamada asimilación. Parte de la masa microbiana se descompone también de la misma manera, un proceso llamado respiración endógena. El proceso oxidativo suministra la energía necesaria para la operación de los procesos de adsorción y asimilación. Una vez que se alcanza el grado de tratamiento que se desea, la masa microbiana floculenta conocida como lodo, se separa del agua residual por asentamiento, por lo general, en un recipiente separado, especialmente diseñado. La etapa de separación se conoce también como clarificación, asentamiento o sedimentación. El sobrenadante de la etapa de separación resulta entonces el agua residual tratada y debe ser virtualmente libre de lodos. La mayor parte de lodo asentado en la etapa de separación se regresa a la etapa de aeración para mantener la concentración de los lodos en el tanque de aeración al nivel necesario para un tratamiento efectivo y para que actúe como un inóculo microbiano. Parte de los lodos se descarga, y se conoce como lodos activados desechados o excedentes. En un sistema balanceado, el lodo desechado representa la cantidad neta de masa microbiana por asimilación en la etapa de aeración y es efectivamente el concentrado de contaminación del sistema. La naturaleza floculenta de los lodos activados resulta entonces importante, en primer lugar para la absorción de las materias coloidales, iónicas y en suspensión dentro del agua residual, y en segundo lugar para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. La alimentación de aguas residuales al tanque de aeración pasa corrientemente por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos, y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el asentamiento y el cribado. El agua residual pasa

entonces a la etapa de aeración, de manera que el proceso de lodos activados se le llama a veces un tratamiento secundario. Las características esenciales del proceso de lodos activados son una etapa de aeración, una etapa de separación y un sistema de reciclaje de los lodos.

**Fig.3. Características de los procesos de lodos activados**



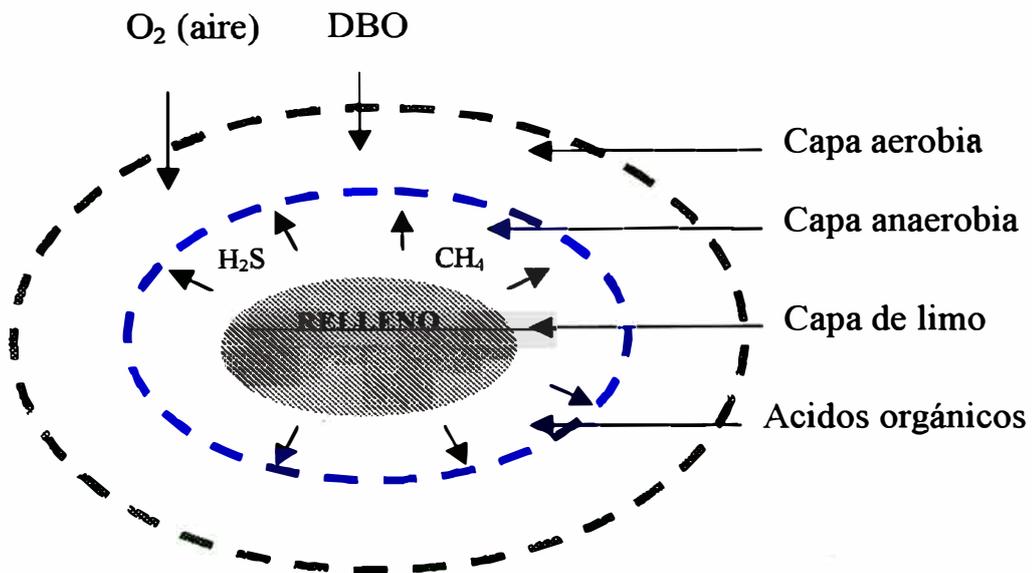
El método de activación de lodos constituye una técnica completa para el tratamiento de agua residual y cuenta con las siguientes ventajas:

- Es factible lograr un nivel adecuado de clarificación en las aguas residuales tratadas, pudiendo controlar factores importantes tales como el flujo de agua residual, el oxígeno y la densidad bacteriana (lodo activado)
- No produce olores desagradables, tampoco atrae moscas.
- Períodos cortos aproximadamente 2 semanas, en comparación de otros procesos biológicos.
- Mayor independencia de temperatura.

## FILTROS PERCOLADOS

El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo.

La capa de limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 0,1 y 2,0 mm está formado de una subcapa aerobia y otra anaerobia (Fig. 4).



**Fig. 4 . Esquema de las subcapas aerobia y anaerobia de un filtro percolador.**

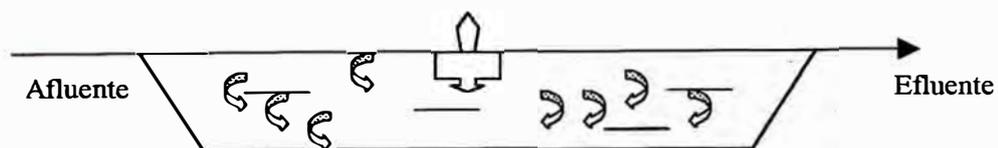
## LAGUNAS DE AIREACION

Las lagunas aireadas son balsas con 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 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. Las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodos.

El nivel de turbulencia en las lagunas es la base para su clasificación en 2 categorías:

### - 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. En esta laguna todos los sólidos se mantienen en suspensión, el efluente contendrá una concentración mucho mayor que la correspondiente a las lagunas facultativas.

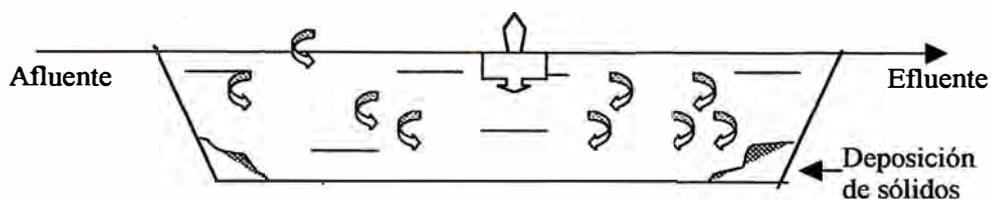


**Fig. 5. Laguna de mezcla completa**

**- 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 del líquido. Parte de los sólidos decantan en el fondo de las lagunas donde sufren descomposición anaerobia.

El crecimiento de algas en las 2 lagunas es prácticamente inexistente debido a la turbiedad provocada por los sólidos en suspensión y a la turbulencia presente.



**Fig. 6. Laguna Facultativa**

**DIGESTION ANAEROBIA**

Es una fermentación, en ausencia de oxígeno, estabiliza la materia orgánica, transformándolas en el mayor grado posible en gas metano y anhídrido carbónico. La digestión se lleva a cabo en unos depósitos circulares cerrados, llamados digestores.

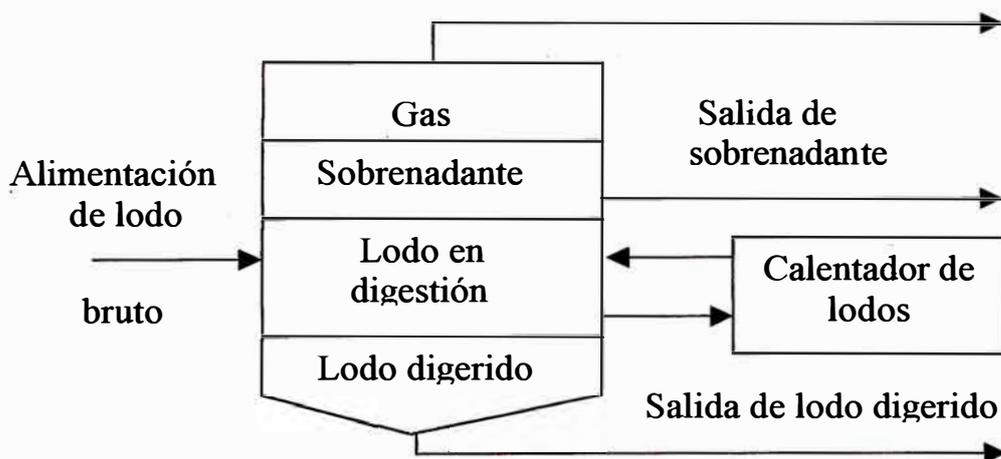
Los digestores son normalmente de dos tipos:

**- Digestores de una etapa:** el lodo bruto se introducen en la zona donde hay digestión activa y se está produciendo gas. Al elevarse el gas arrastra partículas de lodo y otras materias (grasas, aceites, etc)

formando un sobrenadante que se separa del digestor. El lodo digerido se extrae por el fondo del tanque.

El proceso de digestión se favorece por la alta temperatura (24 °C – 40 °C), lo que exige que el lodo en digestión se caliente mediante serpentines de vapor dentro del reactor, o por medio de un calentador externo de lodos. El gas se recoge por la parte superior del digestor, y se utiliza como combustible debido a su alto contenido de metano.

El tiempo de residencia en los procesos de una etapa es alto, del orden de 30 a 60 días, aun para digestores calentados. La razón para este tiempo de retención tan largo es el hecho de que solamente 1/3 aproximadamente del volumen del tanque se utiliza una digestión activa. Como resultado de este uso tan pobre del volumen, este proceso no se recomienda para plantas de digestión de lodos con capacidad superior a 4000 m<sup>3</sup>/d.



**Fig. 7. Digestión Anaerobio de lodo.**

- **Digestores de dos etapas:** El objetivo fundamental de este proceso es conseguir una mejor utilización volumétrica.

La primera etapa se usa únicamente para digestión. La segunda sirve como separador sólido-líquido y permite la recogida de gas. El tiempo de retención para la primera etapa es normalmente 10 a 15 días. Sólo se calienta la primera etapa. La mezcla se hace en la primera etapa por medios mecánicos o por recirculación de gas.

La digestión anaerobia se suele usar en instalaciones de gran tamaño, es costosa por tener gastos de energía.

#### **2.4.3.- TRATAMIENTO TERCIARIO**

El tratamiento terciario se conoce también como tratamiento avanzado, es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional.

Muchos de estos tratamientos que explicaremos a continuación, no se emplean demasiado en el tratamiento de aguas residuales, pero su empleo a mayor escala está previsto conforme las exigencias de calidad de los efluentes se hagan más estrictas en el futuro.

#### **ADSORCION EN CARBON ACTIVADO**

Adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con una solución.

El sólido (por ejemplo carbón activado) se denomina adsorbente y el soluto a adsorber se denomina adsorbato. La capacidad de adsorción es función de la superficie total del adsorbente, ya que cuanto mayor sea esta superficie se dispone de mayor número de fuerzas residuales no equilibradas para la adsorción.

Los carbones activados, granulares o en forma de polvo se han empleado profundamente como adsorbentes en las plantas de tratamiento de agua para eliminar los olores y sabores que producen los contaminantes.

Los carbones activos se preparan a partir de materias primas carbonosas tales como madera, lignito, carbón y cáscaras de nuez mediante procesos térmicos que implican la deshidratación y carbonización, seguidos por la aplicación de vapor caliente.

La gran ventaja del carbón activo como adsorbente descansa en la posibilidad de reactivación hasta 30 veces sin pérdida apreciable de adsorción. Usualmente la reactivación se lleva a cabo calentando el carbón agotado hasta 930°C aproximadamente en una atmósfera aire-vapor (reactivación térmica). Los productos orgánicos adsorbidos se queman y el carbón activo se restaura básicamente hasta su capacidad inicial de adsorción.

En la práctica, la adsorción en carbón activo se lleva a cabo bien en forma continua o bien en forma discontinua. En la operación discontinua, el carbón en polvo se mezcla con el agua residual y se deja decantar. La operación continua se lleva a cabo en columnas conteniendo carbón granulado (de 40 a 80 mallas). Es más económica que la operación discontinua y ha encontrado mayores aplicaciones.

La eliminación de los contaminantes en las columnas de carbón activo se lleva a cabo mediante tres mecanismos:

- Adsorción
  - Fijación de partículas grandes
- Deposición parcial de partículas coloidal

## INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución.

Existen dos tipos de intercambio iónicos:

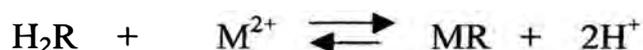
- Catiónicos
- Aniónicos

**Intercambiadores Catiónicos.-** Las resina de intercambio catiónico separan los cationes de una solución, intercambiándolos por iones sodio (ciclo de sodio) o por iones hidrógeno (ciclo de hidrógeno). La separación se representa: R indica la resina y  $M^{+2}$  el catión (por ejemplo:  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ).

Ciclo del sodio:



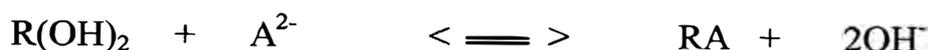
o Ciclo del hidrógeno:



Los iones de  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  quedan retenidos sobre la resina y se produce un efluente ablandado. Este efluente ablandado contiene principalmente sales de sodio (si se emplea el ciclo de sodio) o ácido (si se emplea el ciclo del hidrógeno).

Cuando la capacidad de la resina se agota, la resina debe regenerarse. Antes de la regeneración, la columna debe lavarse a contracorriente para eliminar los depósitos sólidos. La regeneración consiste en el paso a través de la columna de una solución de salmuera ( $NaCl$  para el ciclo del sodio) o de una solución ácida, normalmente  $H_2SO_4$  o  $HCl$  (para el ciclo de hidrógeno).

**Intercambio Aniónico.-** Las resinas intercambiadoras aniónicas separan aniones de una solución intercambiándolos por iones oxhidrilos. La separación viene representada por  $A^{2-}$  (un anión).



De esta forma aniones tales como  $SO_4^{2-}$ ,  $CrO_4^{2-}$ , etc., se eliminan de la solución.

La regeneración se hace después de la ruptura, normalmente precedida por lavado a contracorriente para eliminar los depósitos sólidos. Los regenerantes normalmente usados son hidróxido de sodio y amonio.

Normalmente los intercambiadores catiónicos y aniónicos se emplean en serie.

## **OSMOSIS INVERSA**

En el tratamiento de las aguas residuales mediante ósmosis inversa, el afluente contaminado se pone en contacto con una membrana adecuada a una presión superior a la presión osmótica de la solución. Bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminante pasa a través de la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimiento del agua residual. Este concentrado que posiblemente sea una pequeña fracción del volumen total de agua residual a tratar, se descarga. Se obtiene agua purificada en el otro compartimiento.

Algunos contaminantes (por ejemplo compuestos de nitrógeno y fósforo, cromatos y algunos compuestos orgánicos) no se separan por otros procesos. En consecuencia los procesos normales pueden

ser complementados por la ósmosis inversa, siempre que la economía del conjunto resulte favorable.

### **PROCESOS DE OXIDACION QUIMICA (CLORACION)**

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas. Los objetivos de la cloración son:

Desinfección.- Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.

Reducción de la DBO.- El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.

Eliminación o reducción de colores y olores.- Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales.

### **NANOFILTRACION**

La Nanofiltración puede rechazar contaminantes tan pequeños como de  $0,001\mu\text{m}$ . Puede describirse como procesos de difusión controlado en que la transferencia de masa de iones a través de las membranas está controlada por difusión.

Consecuentemente, este proceso puede llevar a la remoción de sales, dureza, patógenos, turbidez, compuestos orgánicos sintéticos, pesticidas, y la mayoría de contaminantes del agua potable conocido hoy en día.

La mayoría de los gases disueltos, como el sulfuro de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y algunos pesticidas pasan a

través de las membranas de Nanofiltración. Sin embargo, la tecnología de las membranas puede utilizarse para tratar un mayor número de contaminantes de agua potable, más que ninguna otra tecnología de tratamiento.

Las membranas de difusión controlada, necesitan ser selectivas, permeables, mecánicamente estables y resistentes a los cambios químicos y de temperatura.

Estas superficies están hechas para ser asimétricas y homogéneas. Las capas asimétricas homogéneas tienen normalmente de 0,1 a 0,5 mm de espesor.

Las membranas se fabrican a partir de un amplio rango de materiales. El material con que se fabrica la membrana de nanofiltración es esencialmente hidrofílico, lo que significa que el agua es capaz de asociarse con el material de la membrana.

La membrana de nanofiltración no tiene poros; el soluto y el disolvente pasa a través de un film no poroso por difusión y no por convección.

## **ULTRAFILTRACION**

La ultrafiltración es un proceso conducido por presión a través de la membrana que emplea de 0,5 y 5,0 bar, por lo cual coloides, las partículas y las especies solubles de elevada masa molecular son retenidas por un mecanismo de exclusión por tamaño y como tal suministra medios para concentrar, fraccionar o filtrar especies disueltas o en suspensión. La ultrafiltración generalmente permite pasar a la mayoría de especies iónicas inorgánicas y retienen partículas discretas de materia, especies iónicas y no iónicas, dependiendo del peso molecular de corte de la membrana.

La mayoría de las membranas sintéticas de ultrafiltración son hidrofóbicas y deben almacenarse húmedas, llenas de agente humidificador, ya que, si se deja secarse o estar sin tratamiento adecuado, se reproduce una pérdida de flujo irreversible; la estructura de la membrana puede colapsarse y la humedad original no será alcanzada.

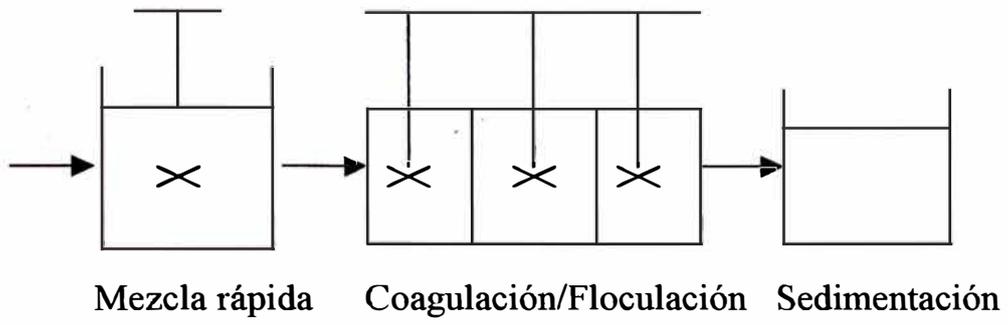
En la ultrafiltración el diámetro de poro está entre 0,1 a 10  $\mu\text{m}$ .

### **MICROFILTRACION**

La microfiltración es más antigua de las cuatro tecnologías de membrana actuadas por presión, que también incluyen la ósmosis inversa (OI), nanofiltración (NF) y ultrafiltración (UF).

En contraste con el concepto de eliminación absoluta de contaminantes de una corriente de alimentación por un proceso de separación basado en la retención de contaminantes sobre una superficie de membrana. Es el más libre de los procesos de membrana, teniendo un tamaño de poro desde 0,05 a 5,0  $\mu\text{m}$ .

La microfiltración elimina partículas y microorganismos de los suministros de agua potable tratada. Con la eliminación de microorganismos, con esta tecnología se precificaría menos desinfectantes primarios. Como se ve en la figura 8 este proceso de membrana está dirigido a reemplazar cuatro procesos unitarios en el tratamiento convencional del agua: mezcla rápida, coagulación, floculación y medios filtrantes. Una aplicación implica el uso de la microfiltración como pretratamiento para ósmosis inversa y nanofiltración. Otra aplicación de microfiltración incluyen la deshidratación de los lodos y la eliminación de material coloidal en corrientes de rechazo antes del tratamiento por ósmosis inversa.



**Fig. 8. Tratamiento Convencional**

### **3.- MARCO LEGAL**

### **3.- MARCO LEGAL - SECTOR INDUSTRIA MANUFACTURERO CURTIEMBRE**

#### **3.1 OBJETIVOS**

Dar a conocer el marco legal sobre la Ley General de Aguas y Efluentes Industriales, así como los Límites Máximos Permisibles (LMP) del Sector Curtiembre.

#### **3.2 MARCO LEGAL**

##### **3.2.1.- Reglamento de Desagües Industriales (Decreto Supremo No 28-60-SAPL)**

- 1º. Apruébase el Estudio de los Desagües Industriales de Lima Metropolitana, formulado por la Comisión de Ingenieros: Edmundo V. Aspíllaga Navarro, Enrique Bielichv y Alejandro Vinces Aráoz.
  
- 2º. Queda terminantemente prohibido descargar en el alcantarillado público residuos que puedan causar el deterioro de sus estructuras u originar obstrucciones, trayendo como consecuencia la elevación del costo normal de operación y mantenimiento.
  
- 3º. Bajo ninguna circunstancia será permitido descargar en las redes públicas de desagües los siguientes residuos:
  - a. Basuras o restos de comidas
  - b. Gasolina o solventes industriales
  - c. Barros y arena
  - d. Alquitrans, materiales bituminosos y viscosos
  - e. Pegamentos y cementos
  - f. Plumas, huesos, trapos e hilazas

- g. Trozos de metal, vidrio, madera, cerámica y materiales similares capaces de producir atoros
  - h. Gases peligrosos para la vida y la salud
  - i. Productos residuales del petróleo
  - j. Aquellos que pueden ser tóxicos o convertirse en tales al mezclarse con los ácidos naturales del líquido cloacal, cianuros, fenoles, arseniato, etc.
  - k. Aquellos que sean corrosivos e incrustantes o que puedan convertirse en tales al reaccionar con los gases ácidos naturales de los líquidos cloacales.
  - l. Aquellos que contengan en elevada concentración sulfuros, sulfitos y sulfatos.
  - m. Aquellos que sean radioactivos en condiciones y concentraciones superiores a los establecidos por los reglamentos internacionales.
  - n. Aquellos que contengan iones de metales pesados.
- 4º No se aceptará en ningún caso el ingreso directo a las redes públicas de desagüe de:
- a. Las aguas de lavado de pisos de talleres y fábricas
  - b. Las aguas sobrantes de la construcción civil
  - c. Sustancias volátiles
  - d. Minerales precipitables o solubles
  - e. Los residuos de camales, caballerizas, establos y similares.
- Al efecto los interesados deberán instalar los dispositivos necesarios para evitar ese ingreso directo, consistentes en trampas, retenedores y otros.

- 5° Todo residuo industrial que ingrese a las redes públicas de desagüe deberán cumplir, sin excepción con las siguientes normas:
- a. Temperatura que no sobrepase de los 35° C.
  - b. Los vapores deberán ser condensados para ingresar al desagüe.
  - c. Los líquidos grasos que ingresen al colector, deberán tener una concentración menor de 0,1g/L en peso.
  - d. Las sustancias inflamables que ingresen al desagüe deben tener un punto de ignición superior a los 90° C y concentración inferior a 1g/L.
  - e. El pH deberá estar comprendido entre 5 y 8,5. Las industrias que evacuen ácidos minerales o sustancias fuertemente alcalinas, deberán tener tanques de suficiente capacidad donde sean neutralizados.
  - f. La D.B.O (Demanda Bioquímica de Oxígeno), no sobrepasará las 1 000 ppm.
  - g. Los sólidos sedimentables no tendrán concentración mayor a 8,5 mL/L/H (Mililitros/Litros/Hora).
- 6° Los industriales deberán tomar las medidas necesarias para cumplir con los requisitos señalados en los Art. 3°, 4°, 5°, debiendo presentar a la superintendencia del Agua Potable de Lima, para su aprobación, los diseño a adoptar, elaborados por profesional especializado, inscrito en el Registro Oficial de Ingenieros del Ministerio de Fomento y Obras Públicas, para lo cual contará con 120 días posteriores a la aprobación del proyecto la obra deberá quedar ejecutada.

- 7° Los industriales que infrinjan los Art, 3°, 4° y 5° y que el vencimiento de los plazos indicados no hubieran cumplido con ejecutar las obras pagarán multas de S/.1 000,00 a 10 000,00 quedando facultada la Superintendencia del Agua Potable de Lima, en caso de incumplimiento para suspender el servicio público de abastecimiento de agua potable y gestionar la clausura de la industria renuente.
- 8° La Superintendencia del Agua Potable de Lima, procederá a efectuar los análisis de laboratorio y los estudios de descarga de los desagües de las fábricas de Lima, por cuenta de los industriales, quedando obligados a permitir el ingreso a sus locales al personal autorizado por la Superintendencia del Agua Potable de Lima, para la toma de muestras necesarias.
- 9° En la jurisdicción del Callao, será la Junta de Obras Públicas, la entidad encargada de la aplicación de las disposiciones del presente Decreto, con excepción del sector de influencia del Interceptor de la Av. Argentina hasta la cámara de reunión, punto inicial del Emisor General de Desagües del Callao.
- 10° En las ciudades y los pueblos de la República, la aplicación del presente Decreto estará a cargo de las Oficinas Departamentales de Obras Sanitarias, de las administraciones de servicios de agua potable y desagües o de los Municipios respectivos, según sea la entidad que opere el servicio de desagüe establecido en su jurisdicción.

- 11º** Las industrias quedan obligadas a instalar una Cámara para la inspección, muestreo y verificación del volumen de los líquidos que evacuen y a pagar los gastos, que los análisis y estudios de sus desagües originen.
- 12º** Terminados los estudios a que se refiere el Art. 8 y dentro de un plazo que no será mayor de un año, la Superintendencia del Agua Potable de Lima, formulará la escala del aporte de los establecimientos industriales para la conservación de los colectores públicos de desagüe.

### 3.2.2.- La Ley General de Aguas

**Tabla 3. Clases de aguas**

<b>Tipo de Agua</b>	<b>Clasificación (D.S N°007-83-S.A)</b>
Clase I	Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
Clase II	Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla rápida y coagulación, sedimentación, filtración y cloración.
Clase III	Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
Clase IV	Aguas que previo tratamiento serán utilizadas en zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
Clase V	Aguas que previo tratamiento serán utilizadas en crianza de peces, de mariscos bivalvos.
Clase VI	Aguas que previo tratamiento serán utilizadas en zona de preservación de fauna acuática y pesca comercial.

### **3.2.3.- Código Penal**

## **CAPITULO XIX DEL AGUA Y ALCANTARILLADO**

**Artículo 107.-** Derogado Decreto Legislativo 757 (13-11-91), Ley Marco para el crecimiento de la inversión privada, primera disposición final.

SUSTITUIDO TACITAMENTE POR:

Decreto Legislativo 757, art 53: Las empresas que presten servicios de abastecimiento de aguas potable y alcantarillado deberán contar con el correspondiente certificado de que cumplen con las normas de calidad físico, química y bacteriológica del agua potable y las condiciones de tratamiento de desagües para su disposición final. Los directores de dichas empresas, en caso de que las mismas no cuenten con los certificados de calidad con la periodicidad requerida por el Ministerio de Salud, incurrirán en el delito previsto en el artículo 305 del Código Penal.

El control de la calidad del agua para consumo humano estará a cargo de empresas o instituciones públicas o privadas especializadas en saneamiento ambiental, que serán debidamente calificadas y registradas en un registro especial que para el efecto abrirá el Ministerio de Salud, el que establecerá los requisitos que deberán cumplirse para el efecto y supervisará las actividades de las referidas empresas o instituciones.

**Artículo 108.-** El Estado debe fijar el destino de las aguas residuales, estableciendo zonas en las que quede prohibido descargar aguas

residuales de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales y subterráneas, interiores o marinas, sin tratamiento previo y en cantidades y concentraciones que sobrepasen los niveles admisibles.

**Artículo 109.-** Para iniciar la construcción, ensanche o alteración de asentamientos humanos, se requerirá de planes de desagüe, cañerías, alcantarillado y métodos de tratamiento y disposición de aguas residuales, previamente aprobado.

**Artículo 110.-** Las industrias grandes, medianas, pequeñas o artesanales, sólo podrán descargar sus efluentes en el sistema de alcantarillado público, previa aprobación de la autoridad competente.

**Artículo 111.-** El Estado fomenta el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando éstas recuperen los niveles cualitativos que exige la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública.

**Artículo 112.-** Cuando las aguas residuales no pueden llevarse al sistema de alcantarillado debe hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos, la flora o la fauna. Las obras deben ser previamente aprobadas.

### **3.2.4.- Límites Máximos Permisibles del Sector Industria Manufacturero Curtiembre**

#### **1.- Objetivos:**

Proponer LMP para la Industria Manufacturera del Subsector Curtiembre, con la finalidad de asegurar una eficaz y eficiente adecuación progresiva de la gestión ambiental de esta actividad.

#### **2.- Marco Legal**

La propuesta se enmarca dentro de las siguientes normas:

- D. Leg. N° 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales.
- D. S. N° 044-98-PCM, Reglamento Nacional para la Aprobación de LMP.
- D. Leg. N° 757, Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada.
- D. S. N° 019-97-ITINCI, Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera.
- D. Leg. N° 17752, Ley General de Aguas.
- D. S. N° 28/60-ASPL, Reglamento de Desagües Industriales.
- Declaran Inicio de Actividades Conducentes a la Aplicación de Programa Anual para Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles (Resolución Presidencial N° 025-99 del CONAM).

#### **3.- Alcances**

Los LMP establecidos son aplicables a nivel nacional para el Subsector de Curtiembre.

#### **4.- Metodología**

La metodología aplicada para el establecimiento de los LMP fue la siguiente:

- Determinación del número de establecimientos del Subsector, en base a información del MITINCI.
- Definición de la muestra estadísticamente válida para el estudio.
- Recopilación y procesamiento de la información de los Informes Ambientales y de los expedientes (Monitoreos, DPA, PAMA, DIA Y EIA).
- Control de calidad correspondiente. Elaboración de cuadros conteniendo el promedio, número de muestras, rango, desviación estándar y coeficiente de variación, para los efluentes líquidos.
- Realización de un segundo Control de Calidad de los datos.
- Digitación de los datos por parámetro, tanto para alcantarillado como para aguas superficiales, a fin de seleccionar las escalas de rangos de concentraciones, calculándose el promedio de rangos.
- Elaboración de gráficos para cada uno de los parámetros, número de empresas vs concentración promedio.
- Recolección información de LMP disponibles de países de la comunidad Europea USA, Japón, Canadá, Países Latinoamericanos, entre otros.
- Elaboración de cuadros comparativos de LMP disponibles en diversos países así como en el Perú.
- Determinación de los LMP propuestos.
- Elaboración de un cuadro final conteniendo el resumen comparativo de los LMP propuestos.
- Elaboración del Informe Final de propuesta de LMP para el Subsector Curtiembre.

## **5.- Criterios para el Establecimiento de los Límites Máximos Permisibles.**

Los Límites Máximos Permisibles de los diferentes países han sido elaborado considerando no solo su realidad tecnológica, sino además los aspectos socioeconómicos y la situación del sector productivo.

Existen varios criterios para la elaboración de los LMP, entre ellos tenemos:

- Establecimiento de LMP en base a información de Monitoreos para lo cual se requiere por lo menos información de plantas con los mejores rendimientos.
- Elaborar LMP en base a monitoreos de plantas con los mejores rendimientos.
- Aplicar los LMP de algún país, bastante similar a la situación tecnológica y socio - económica del Perú.
- Elaboración de los LMP en base a un estudio comparativo de los LMP de varios países y con LMP e información existente en el País.

Este último criterio ha sido aplicado para la selección de los LMP del Perú, dadas las limitaciones de información base existentes en el país (salud, tecnología, efluentes líquidos).

## **6.- Límites**

Más del 70% de las industrias tienen descargas al Alcantarillado.

- Límites Máximos Propuestos para el Sub-sector Curtiembre:

**Tabla 4. Límites máximos permisibles  
(sector curtiembre)**

<b>Parámetros</b>	<b>Límites Máximos permisibles propuestos (2005)</b>
pH	6,0 - 9,0
Temperatura °C	30
Aceites y Grasas (mg/L)	100
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	500
Sulfuro (mg/L)	10
Cromo total (mg/L)	3

**\* pH y Temperatura:**

Los LMP para el pH y la temperatura de varios países de la comunidad Europea, países Sudamericanos y otros, son similares a los LMP propuestos, los cuales se consideran razonables y no superan los LMP de SEDAPAL.

**\* Aceites y grasas:**

Los promedios de varios países de la comunidad Europea, países Sudamericanos y otros son menores que 100 mg/L. En cambio los promedios en los países Sudamericanos son un 20% aproximadamente superior a los LMP propuestos.

**\* DBO<sub>5</sub>:**

En los países de Sudamérica en promedio es de 475 mg/L. Los LMP propuestos son 500 mg/L son ligeramente superiores. Todas las curtiembres generalmente se encuentran por encima de este valor,

pero cuyas concentraciones se puede alcanzar mediante la aplicación de un tratamiento primario.

**\* Sulfuros:**

El LMP propuesto es de 10 mg/L es tres veces mayor que el promedio de varios países y cuatro veces de los de Sudamérica y similar al de España (10,5 mg/L).

**\* Cromo Total:**

El promedio para las plantas peruanas es muy por encima de los promedios de varios países y países sudamericanos. El LMP propuesto es de 3 mg/L. Estos pueden ser reducidos mediante fijación del cromo, reciclaje, optimización en el uso de insumos (mejor dosificación), y tratamiento primario.

**7.- Justificación para la propuesta de LMP-Curtiembre para la propuesta de los LMP se ha considerado:**

**- Impacto en la Salud Humana**

El impacto en la salud humana se determina en los análisis de estudios de carácter epidemiológico y toxicológico, sin embargo, en nuestro país no se ha llevado a cabo estos estudios que caractericen estos impactos.

Estos estudios científicos relacionan las concentraciones de los contaminantes en diferentes niveles con los efectos observados sobre la salud.

**- Inventario de las Fuentes y Análisis de Datos**

A pesar que los datos de los efluentes líquidos presentan vacíos en su recopilación de los datos, los contaminantes tradicionales, como

el pH, temperatura, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas cuentan con datos desde 1996. Los contaminantes de mayor prioridad con frecuencia carecen de datos, como es el caso de los metales.

EL MITINCI ha recopilado expedientes de estudios ambientales y monitoreo para establecer estos límites.

#### **- Costos y Beneficios Económicos y/o Sociales**

El análisis de costo-beneficio constituye un elemento fundamental para la determinación de los LMP. Estos deben ser orientados hacia aquellos contaminantes específicos que requieren atención prioritaria en las áreas urbanas, a fin de establecer medidas para reducir los niveles de los contaminantes seleccionados.

Sin embargo el país no cuenta con estudios de costo-beneficio de las acciones de prevención y/o mitigación y/o corrección de los efluentes líquidos, por lo que es importante investigaciones de estudios de países similares.

Dar a conocer consideraciones relativas al bienestar público (impactos sobre la flora, fauna, infraestructura, paisajes, etc).

#### **- Problemas Tecnológicos**

En casi toda la totalidad de empresas de este sector se viene utilizando una tecnología obsoleta, por lo que una disminución drástica involucraría grandes costos por lo que algunos de los LMP propuestos por el Ministerio de Industria, Turismo, Integración y negociaciones Comerciales Internacionales (Dirección de Asuntos Ambientales) no son tan restrictivos como para que los cambios tecnológicos y sociales necesarios impidan su cumplimiento en el plazo establecido por la normatividad ambiental sectorial.

## **4.- MONITOREO DE EFLUENTES**

#### **4.- MONITOREO DE EFLUENTES**

Se desarrolla sobre la base del protocolo para el monitoreo de emisiones atmosféricas y efluentes líquidos R.M. N<sup>o</sup> 026-2000-ITINCI/DM

El monitoreo es un instrumento para tener un diagnóstico actual de una situación ambiental específica.

##### **4.1 SELECCIÓN DE LOS PARAMETROS**

El muestreo constituye una parte básica de trabajo de control de contaminación hídrica; esta etapa debe ser cuidadosamente efectuada a fin de obtener resultados confiables en los parámetros a medir.

La selección de los parámetros dependerá de los objetivos del monitoreo y de la actividad industrial desarrollada. Para lo cual es necesario conocer los insumos empleados en la producción industrial y sus posibles efectos en la calidad de agua.

Actualmente el CONAM tiene a su cargo el establecimiento de los límites máximos permisibles de los contaminantes para cada sector .

Para una buena caracterización de los efluentes, la toma de muestra se debe realizar:

Parámetros a considerar en el monitoreo:

Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, pH, Sólidos en suspensión, Aceites y grasas, y dos parámetros específicos según el tipo de industria.

##### **4.2 REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA**

La descarga de aguas residuales varían en su composición cuantitativa y cualitativa con el tiempo puede no estar uniformemente mezclados en el sitio donde se tome la muestra. El localizar un sitio de muestra donde la misma sea representativa de la descarga que se quiere analizar puede ser difícil, en muchas

ocasiones no se encuentran sitios apropiados y dependerá de la habilidad y conocimiento del proceso para determinar el sitio de muestreo adecuado.

De estos cambios en la composición de un desecho dependerá del tipo de muestra que puede ser instantánea o compuesta.

#### **a.- Muestra Instantánea**

Una muestra instantánea representa las condiciones de una corriente de agua residual en el momento de ser tomada. Este tipo de muestra se aconseja cuando:

- Las descargas de aguas residuales son intermitentes. En muchos procesos industriales los desechos no fluyen continuamente sino obedecen a cambios continuos en el proceso industrial durante el día.
- Cuando un agua residual representa variaciones extremas en su composición una muestra instantánea es necesaria.

Las características de desechos son constantes en ciertos casos. Las descargas de aguas residuales son muy constantes con el tiempo. Cuando esta situación se presenta, una o pocas muestras serán representativas del desecho.

#### **b.- Muestra Compuesta**

Cuando la composición de un desecho presenta cierta variabilidad el uso de muestras compuesta es aconsejado. Una muestra compuesta consta de muestras pequeñas o individuales que se toman ya sea proporcionales, ya sea al tiempo, al flujo y son mezclados para formar una mezcla total que es la que se somete a un análisis posterior.

Cuando las muestras se toman cada hora se recomienda que el volumen de muestra no sea inferior a 200 mL.

#### **4.3.- MODO DE MUESTREO**

Existen dos modos de muestreo: el muestreo manual y el muestreo automático.

El primero es recomendado cuando se tiene punto de fácil acceso, el segundo cuando se tiene puntos de muestreo de difícil acceso.

Además el muestreo manual tiene como ventaja permitir tomar nota de cualquier característica especial de la muestra. Es así como un muestreo manual se facilita la apreciación de sustancias flotantes, cambios de color, olor, etc.

#### **4.4.- IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS**

Toda muestra que se tome debe ser identificada inmediatamente con los siguientes datos:

Localidad donde se efectúa el muestreo

Sitio exacto de recolección de la muestra

Origen del desecho (caso de una descarga)

Fecha de recolección (hora, día, mes, año)

Tipo de muestra (simple o compuesta)

Datos medidos en situ (pH, temperatura, conductividad)

Observaciones (apariencia, olor, color, etc)

Nombre de la persona que tomo la muestra

Todos estos datos deben ser analizados ordenadamente a fin de evitar confusiones.

#### 4.5.- PRESERVACION DE LAS MUESTRAS

Para la caracterización de efluentes líquidos se tomaron 2 litros de muestra.

En general mientras menos tiempo transcurra entre el muestreo y el análisis de las aguas, serán más dignos de confianza los resultados analíticos. Se considerarán razonables los siguientes límites máximos para muestras de análisis físicos-químicos.

Aguas no poluídas .....	72 horas
Aguas ligeramente contaminadas ..	48 horas
Aguas contaminada .....	12 horas

Francamente, resulta imposible enumerar todos los cambios que pueden sobrevenir a las muestras, como resultado de su almacenamiento.

Algunos cationes pueden sufrir pérdidas por adsorción o por permutación iónica con las paredes de los recipientes, como: Fe, Cu, Al, Cr, y Zinc

La temperatura y el valor pH deben practicarse “in situ”, porque puede cambiar cuándo llegue al laboratorio.

El color, olor y la turbiedad pueden aumentar o disminuir.

Antes del llenado de muestra, el recipiente debe enjuagarse 2 o 3 veces con el agua en estudio

Para obtener muestras representativas, serán porciones que se han recolectado durante un período determinado o en diferentes estaciones de muestreo, aunque algunas veces se logra una mejor información con los análisis de numerosas muestras separadas, que con el análisis de una muestra aislada.

**Tabla 5. Conservación de muestras**

<b>Parámetro</b>	<b>Medio de Conservación</b>	<b>Período máximo</b>	<b>Material</b>	<b>Volumen</b>
DBO	Refrigeración a 4 °C	6 horas	Plástico ó Vidrio	1 litro
Aceites y grasas	2 mL/L (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) a 4 °C	24 horas	Vidrio	1 litro
Sólidos suspendidos		6 horas	Plástico ó Vidrio	1 litro
Cromo	HNO <sub>3</sub> (2mL/L)	2 meses	Plástico ó Vidrio	1 litro
Sulfuro	Acetato de Zinc (2ml/l)	7 días	Vidrio con ta- pón de caucho	100 mL

#### **4.6.- METODOLOGIA DE LOS ANALISIS**

Para los análisis de laboratorio se utilizó *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*, el cual ofrece los métodos de análisis y límites de detección para determinar la concentración de diferentes elementos presentes en los efluentes líquidos.

También se utilizó Bibliografías del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS).

## **5.- CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE CURTIEMBRE**

## 5.- CARACTERISTICAS DE LOS EFLUENTES DE CURTIEMBRE

Desde el punto de vista de la contaminación, los procesos que más contribuyen a la carga orgánica e inorgánica del efluente total son el remojo, el pelambre y el curtido.

En la Tabla 6, presenta las características generales de los efluentes de curtiembre según PNUMA (1990). Por otro lado Cantera y Agelinetti, demuestra que estos valores pueden variar significativamente.

**Tabla 6. Características de los efluentes de las curtiembres**

<b>Parámetro Tipo de curtido</b>	<b>Curtido Vegetal (mg/L)</b>	<b>Curtido al Cromo (mg/L)</b>
DBO <sub>5</sub>	1 000	900
DQO	3 000	2 500
Sulfuro	160	160
Sulfato	2 000	2 000
Cloruro	2 500	2 500
Nitrógeno total	120	120
Aceites y grasa	200	200
Cromo(III)	-	70
Sólidos totales	10 000	10 000
Sólidos suspendidos	15 00	2 500
pH	9	9
Ceniza total	6 000	6 000
Sólidos Sedimentables	50	50

## **5.1.- PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS EFLUENTES DE CURTIEMBRE**

Entre los principales contaminantes tenemos:

- Materiales en suspensión, por ejemplo: pelos parcialmente degradados, cal no disuelta, compuestos químicos insolubles (hidróxidos metálicos), etc.
- Componentes oxidables, por ejemplo: proteínas, materias grasas, productos de degradación de proteínas, etc.
- Sustancias tóxicas, principalmente sulfuros y cromo trivalente.

Un efluente con tales características puede causar efectos adversos sobre los distintos cuerpos receptores (aguas superficiales, sistemas de tratamiento de líquidos domiciliarios, etc), deteriorando las cualidades físicas, químicas y biológicas de los mismos.

### **Sector de la ribera**

Los procesos de ribera (remojo y pelambre) son los responsables del 80% de la carga contaminante total expresada en términos del parámetro Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), debido esencialmente a la elevada polución orgánica por la presencia de proteínas y sus productos de degradación. Especialmente cuando se emplea un sistema de pelambre destructor del pelo. Además contribuyen con el 60% de los sólidos suspendidos. (Según referencias).

Cuando se emplea un sistema de pelambre a base de sulfuro (el cual está muy generalizado en nuestra industria) se incorpora al efluente final el sulfuro residual alcanzando concentraciones muy superiores a las permisibles.

El sulfuro y en especial el ácido sulfhídrico, es muy tóxico pudiendo causar serios inconvenientes en los cuerpos receptores (por ejemplo en la vida acuática de los ríos, en los sistemas biológicos de purificación, etc.). Aquí debe señalarse y destacarse además las serias consecuencias sobre los operarios de la curtiembre, que pueden tener lugar cuando por distintas causas se produce la formación de ácido sulfhídrico en el ambiente de trabajo. Especialmente cuando se mezclan fracciones residuales alcalinas conteniendo sulfuro con líquidos ácidos. En la tabla 7, se indican al respecto datos muy elocuentes.

**Tabla 7. Concentración de ácido sulfhídrico en el aire y su efecto sobre la salud humana.**

Umbral olfatorio ....	Aproximadamente 0,1 ppm
Menos 10 ppm .....	Sin señales de intoxicación
100-150 ppm .....	Irritación de los ojos y de vías respiratorias.
200-300 ppm .....	Grave intoxicación local de las mucosas con signos generales de intoxicación luego de 30 minutos.
300-700 ppm.....	Intoxicación sub-aguda de las mucosas.
700-900 ppm .....	Grave intoxicación, muerte después de 30-60min.
1 000-1 500 ppm ..	Desmayo y calambres, muerte después de pocos minutos.

El efluente proveniente del proceso de curtido contiene menor cantidad de sustancias orgánicas disueltas y suspendidas que el sector anterior, pero que contribuye con la presencia de cromo

trivalente, en general la toxicidad de las sales de cromo respecto a la vida acuática, plantas, sistemas biológicos de purificación, etc., varía apreciablemente con el valor de pH y el estado de oxidación del mismo.

## **5.2.- GENERACIÓN DE EFLUENTES LIQUIDOS Y SOLIDOS**

La industria curtidora pertenece al grupo de industrias que descargan un volumen considerable de aguas residuales contaminadas.

En términos generales, el efluente de curtiembre está caracterizado por una elevada concentración de componentes orgánicos e inorgánicos, y sólidos en suspensión; presenta además un color oscuro y olor desagradable. Entre las sustancias inorgánicas contaminantes, los sulfuros y sales de cromo trivalente siempre reciben especial atención debido a que son nocivas para los tratamientos biológicos de purificación del efluente o para los cuerpos receptores cuando los líquidos residuales se descargan sin ningún tratamiento previo.

El grado de contaminación del efluente de una curtiembre depende de la materia prima piel que se procese (vacuna, ovina, caprina, etc.) y del tipo de cuero elaborado a partir de la misma, dado que los proceso y productos a emplear varían acentuadamente según el caso. La industria de curtiembre se sustenta mayormente en la producción de cueros diversos, cuyo volumen promedio anual es de 11 millones de pies cuadrados, en segundo lugar lo ocupa la producción de suelas de quebracho con 669 toneladas métricas anuales, en el mismo periodo.

### **Efluentes líquidos**

En el procesamiento de pieles se generan residuos líquidos altamente contaminados por productos químicos. Los principales contaminantes presentes en estos efluentes son de acuerdo a su origen los siguientes:

- Sangre, proteínas solubles y otras impurezas orgánicas, cloruro de sodio, carbonato de sodio y otras sales inorgánicas resultantes de las operaciones de remojo y lavado.
  
- Hidróxido de calcio, sulfuro de sodio, sulfhidrato de sodio, sebo, pelo, proteínas queratinicas y otros sólidos orgánicos disueltos en altas concentraciones provenientes de las operaciones de pelambre, calado, lavado y descarte. Tales sustancias confieren al efluente una coloración intensa, fuertes olores y un pH elevado.
  
- Sulfuro de sodio, cloruro de sodio, sales de amonio, ácidos inorgánicos (HCl), ácidos orgánicos (láctico, fórmico) y enzimas oriundas de la operación de purga y piquelado.
  
- Carbonatos, sulfato de sodio y sales de cromo que confieren el efluente una coloración verde.
  
- Grasas y colorantes sintéticos, ácidos orgánicos e hidróxido de amonio provenientes de la operación de acabado.
  
- El pH en las descargas de una curtiembre es variable (desde 3,5 hasta 12,5), presentándose un medio desfavorable para gran parte de los microorganismos, presentes en el agua.

- Sólidos, que generalmente forman depósitos, embancando los cursos receptores y si éstos sólidos son de origen orgánico, se crean luego condiciones anaérobicas con el consiguiente desprendimiento de olor.
- Metales pesados, especialmente cromo, mercurio, arsénico y plomo; dependiendo de su concentración, pueden ser extremadamente nocivos al medio ambiente.

### **Efluentes sólidos**

Todo tratamiento del efluente líquido de curtiembre conduce a la formación de barros con un alto contenido de materia orgánica y componentes inorgánicos (cal, cromo III, etc).

La disposición de los sólidos que surgen de los tratamientos de purificación presentan básicamente tres aspectos:

- Cantidad
- Materia orgánica no estabilizada (admite degradación biológica en condiciones determinadas).
- Componentes inorgánicos tóxicos, en especial sulfuros y sales de cromo trivalente.

Estos sólidos pueden dirigirse a distintos cuerpos receptores: tierra preparada para la agricultura, sitios destinados a rellenos sanitarios provistos de compactadores de residuos (exclusivos para desechos domésticos), tierra de la propia curtiembre o tierras municipales que son rellenas junto con residuos domésticos.

A esto debe adicionarse la descarga directa a aguas superficiales (arroyos, ríos, mares, etc) o a conductos cloacales que en la mayoría de los casos llegan finalmente a los mencionados cuerpos receptores

de forma que la contaminación si bien no llega con el efluente líquido lo haría a través de una mal disposición de sólidos.

Todos estos cuerpos receptores deben por supuesto ser controlados para permitir un adecuado funcionamiento de los mismos, evitar interferencia en las distintas descargas que originan a su vez un líquido contaminado con compuestos tóxicos, caso de lixiviados con cromo III que podrían afectar aguas subterráneas.

En nuestro caso, a diferencia de los efluentes que son lanzados al alcantarillado, son retirados por un servicio particular de limpieza y dispuestos, generalmente, en las márgenes del río Rimac, convirtiéndose en un riesgo potencial de contaminación. El río Rimac atraviesa la ciudad de Lima y es su principal fuente de agua potable.

## **6.- EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES EN EL PROCESO DE PELAMBRE**

## **6.- EVALUACION DE LOS EFLUENTES EN EL PROCESO DE PELAMBRE**

### **6.1 TRATAMIENTO PREVIO**

El tratamiento de los efluentes líquidos esta orientado a eliminar la toxicidad debido a productos químicos específicos tales como sulfuros y cromo trivalente y a reducir la demanda biológica de oxígeno y la cantidad de sólidos suspendidos.

Otro aspecto para analizar es la posibilidad de evitar la descarga de sulfuro residual por medio de las técnicas de reutilización, que es el objetivo de los tratamientos preventivos.

En la práctica de los tratamientos preventivos es condición necesaria aislar el efluente del proceso en estudio.

### **6.2.- RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE PELAMBRE**

Se divide en tres partes:

6.2.1- Investigación sobre efluentes en la etapa de pelambre

6.2.2- Investigación a nivel laboratorio

6.2.3- Resultados y conclusiones

#### **6.2.1- Investigación sobre efluentes en la etapa de pelambre**

**Objetivo.-** Reutilización parcial como un tratamiento previo de los licores de descarga de la operación de pelado, eliminando así su gran caudal contaminante y disminuyendo el consumo de agua.

Para llevar acabo el objetivo mencionado fue necesario tomar íntimo contacto con la naturaleza de la operación de pelambre para determinar con precisión la forma que dicha operación es llevada a cabo.

Antes de la operación de pelado, se realiza la operación de remojo cuyo principal objetivo es reponer la humedad de las pieles y eliminar el cloruro de sodio (en las pieles saladas) que fue agregado para evitar su descomposición. La eliminación de cloruro de sodio es fundamental pues esta sal inhibe el efecto de pelado de las drogas utilizadas en la operación posterior (pelado). Esta operación tiene mayor duración para cueros salados que para cueros frescos, agregándose agua en forma permanente durante la carga de los cueros y al finalizar la operación por espacio de ½ hora.

El pelado se opera en equipos denominados botales el cual se indica (Fig. 9).

El pelado se inicia inmediatamente después de la operación de remojo que se realiza en el mismo botal, es decir no se descargan los cueros, y se realiza el agregado de drogas.

Las drogas que se utilizan son:

- Sulfuro de sodio: aproximadamente 3% con respecto al peso de la piel fresca.
- Hidróxido calcio, cal hidratada sólida: aproximadamente 3,3% con respecto al peso de la piel fresca.

La duración aproximada de la operación es de 16 a 18 horas.

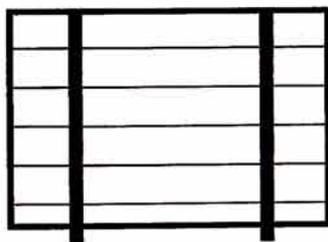
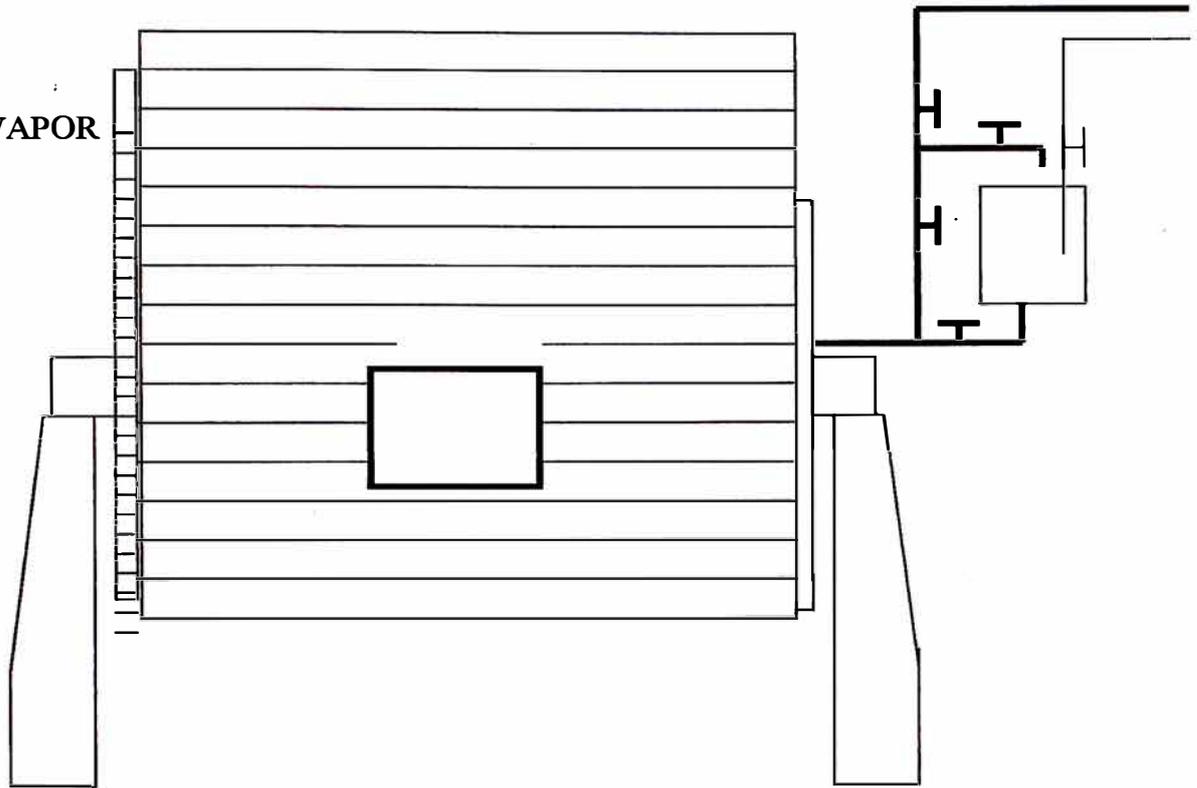
El objetivo del proceso de pelambre es:

- Eliminación de la piel superior (epidermis).
- Eliminación de los pelos.
- Relajamiento y esponjamiento de la estructura fibrosa de la dérmis (piel de curtido).
- El emulsionado de la grasa natural de la piel.

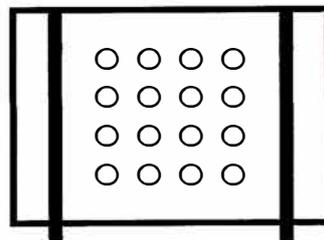
**Fig. 9 BOTAL**

AGUA

VAPOR



**TAPA FIJA**



**TAPA REJA**

### 6.2.2.- Investigación a nivel laboratorio

**Caracterización de los licores de pelambre.-** Esta agua presenta una coloración verde oscura, con gran cantidad de sólidos sedimentables y suspendidos, de olor muy desagradable. Los resultados de la caracterización de las aguas residuales de la etapa de pelambre se presenta, en la siguiente tabla.

**Tabla 10. Caracterización de los licores de pelambre**

PARAMETRO	UNIDAD	LICOR DE PELAMBRE	
		M1	M2
Temperatura	°C	20	20
pH		13	13
Turbiedad	NTU	>> 1 000	>> 1 000
Sólidos Sedimentables	mL/L/h	>> 40	>> 40
Aceites y Grasas	mg/L	1 785	2 085
D.B.O <sub>5</sub>	mg/L	29 998,60	28 999,30
Sulfuros	mg/L	2 261	2 694

NOTA: M1, M2 muestras.

Según resultados de caracterización, de los efluentes de la etapa de pelambre, puede ser sometidos a decantación y posterior recirculación, debido a las elevadas concentraciones de sulfuro.

En esta serie de ensayos se trató de encontrar una técnica de laboratorio que permitiera reproducir las condiciones físicas, químicas y de agitación mecánica de la operación industrial. Para lo cual se trabajo con 2 horas de agitación rápida, luego cada hora 5

minutos hasta completar las 24 horas en que se logró obtener el pelado completo y la penetración de los productos químicos.

Como parámetro para determinar la reposición de líquidos y drogas, se determinaron los volúmenes inicial y final, las concentraciones de sulfuros y las indicaciones de pH en el líquido recirculado.

En los ensayos se utilizó aproximadamente 538,37 gramos de piel fresca cortados en trozos de 10 cm x 10 cm aproximadamente. La finalidad de estos ensayos es determinar el número de ciclos para el rehuso del licor de pelambre, de tal manera de poder obtener un buen pelado.

### **6.2.3.- Resultados**

Condiciones de trabajo:

- Tipo de piel: ganado vacuno.
- Peso de la piel fresca: 538,37 g.
- Volumen de flote: 130% con respecto a la piel fresca.
- Peso del sulfuro de sodio: 3% con respecto a la piel fresca.
- Peso de la cal: 3,3% con respecto a la piel fresca.

**Tabla 11. Cantidad de reactivos agregados por ciclos.**

ciclos	Volumen líquido (mL)		Sulfuro de sodio (g)		Cal hidratada (g)	
	Recirculado	Agregado	Recirculado	Agregado	Recirculado	Agregado
1		699,88		16,15		17,76
2	300	399,88	6,44	9,7	8,76	9
3	210	489,88	4,17	12,33	7,76	10
4	248	451,88	5,17	11,33	5,26	12,5
5	377	322,88	7,96	8,55	4,76	13

- La calidad de pelambre examinada en cada ciclo resultó ser adecuada hasta el cuarto ciclo, en el quinto ciclo se observó problemas de manchas y arrugas en la piel, como consecuencias de un pelado deficiente.

#### **6.2.4.- Conclusiones**

- Se ahorraría el 23,35 % de sulfuro.
- Se ahorraría el 30,68 % de hidróxido de calcio.
- Se ahorraría el 27,08% de agua.
- El DBO<sub>5</sub> bajo a 18 999,10 mg/L.
- Mediante este proceso se observa un efluente sólido que sería fácilmente manipulable para su disposición final.
- La turbidez bajo considerablemente teniendo un valor de 3,44 NTU.
- Los sólidos sedimentables bajo a un valor de 2,4 mL/L/h
- El volumen del efluente final es mucho menor.
- De los resultados obtenidos se demuestra que es factible recircular el licor original de pelambre por espacio de cuatro ciclos, con los debidos refuerzos de insumos químicos.

## **7.- EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES EN EL PROCESO DE CURTIDO**

## **7.- EVALUACION DE LOS EFLUENTES EN EL PROCESO DE CURTIDO**

El tratamiento de los líquidos residuales para eliminar al mínimo la concentración del cromo se hace necesario teniendo en cuenta cuatro aspectos:

### **7.1.- INVESTIGACION SOBRE EFLUENTES EN LA ETAPA DE CURTIDO**

Para reducir la concentración de cromo en el efluente total, podemos comenzar con optimizar las variables que gobiernan el proceso de curtido, a fin de lograr un mayor agotamiento del agente curtiente.

La alternativa de precipitar cromo contenido en los baños residuales, y regenerar la sal de cromo curtiente a partir del precipitado obtenido resulta ser la más efectiva desde el punto de vista de la curtiembre dependiendo de la capacidad de producción y de la diversidad de artículos a producir.

En la recuperación de cromo por el método de precipitación debe considerarse los siguientes puntos:

- Naturaleza del reactivo precipitante
- Control analítico del licor de cromo
- Adición del reactivo
- Variables del proceso de precipitación: En las que podemos citar: concentración del licor residual, tiempo de agitación, temperatura, pH, etc.

Respecto al valor del pH de precipitación cabe mencionar que para precipitar completamente las sales de cromo enmascaradas es necesario elevar el pH a valores comprendidos entre 8 y 9 como mínimo (según Cantera C. 1978). Según bibliografía consultada, los reactivos precipitantes son: NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> y MgO.

## 7.2.- CARACTERIZACION DE LOS EFLUENTES EN LA ETAPA DE CURTIDO

Las aguas residuales de curtido presentan una coloración verdosa con poco sólidos sedimentables además de tener un olor poco penetrante. Los resultados de la caracterización fisicoquímica de los efluentes en la etapa de curtido se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 12. Caracterización de efluentes de curtido**

PARAMETRO	UNIDAD	CURTIDO	
		M1	M2
TEMPERATURA	°C	20	20
pH		3,6	3,4
S.S.S	mL/L/h	20	30
TURBIEDAD	NTU	110	100
GRASAS Y ACEITES	mg/L	155	45
DBO <sub>5</sub>	mg/L	209	399,3
CROMO	mg/L	3 992,5	4 586

Nota: S.S.S = sólidos suspendidos sedimentables

M1 y M2 = muestras

## 7.3.- DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Antes de empezar a desarrollar el trabajo experimental, es importante definir algunos términos como:

- **Basicidad:** La basicidad de un curtiente mineral es la proporción de grupos hidroxilicos (grupos- OH) en la molécula, referida a las valencias del cromo, o de otras sales curtientes minerales formadoras de complejos.

**Tabla 13. De basicidades**

<b>Fórmula</b>	<b>Números protec Cr:SO<sub>4</sub></b>	<b>Grados Schorlemmer %</b>	<b>Grados Freiberg En dozavos</b>
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>12</sub>	144	0	0/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>11</sub> (OH) <sub>2</sub>	132	8,3	1/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>10</sub> (OH) <sub>4</sub>	120	16,7	2/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>9</sub> (OH) <sub>6</sub>	108	25	3/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>8</sub> (OH) <sub>8</sub>	96	33,3	4/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>7</sub> (OH) <sub>10</sub>	84	41,7	5/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>12</sub>	72	50	6/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> (OH) <sub>14</sub>	60	58,3	7/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>16</sub>	48	66,7	8/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>18</sub>	36	75	9/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>20</sub>	24	83,3	10/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>1</sub> (OH) <sub>22</sub>	12	93,7	11/12
Cr <sub>8</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>0</sub> (OH) <sub>24</sub>	0	100	12/12

En el caso de estudio, el producto comercial utilizado como curtiente es el sulfato de cromo III de 33,3% de basicidad, llamado también “sal de cromo” este producto se presenta en forma de polvo de color verde, su composición es la siguiente:

Oxido de cromo	24%-25%
Contenido de sulfato de sodio	26%
pH	2,6

- **Cantidad teórica del reactivo precipitante:** Es la cantidad de álcali que debe agregarse al licor residual para elevar su basicidad al 100% condición en que teóricamente todo el cromo presente precipitaría como hidróxido.
- **Cantidad práctica:** Es la cantidad de álcali que se debe agregar para alcanzar los valores de pH comprendidos entre 8 y 9 necesarios para la precipitación.
- **Fórmula general de cálculo para aumentar la basicidad**

$$\boxed{(x-a) \cdot \text{g Cr}_2\text{O}_3/\text{L} \cdot \text{factor} = \text{g álcali/L}}$$

Donde:

x = basicidad deseada

a = basicidad presente

Factores de los álcalis más usuales:

Carbonato sódico (100%) = 0,02092

Carbonato sódico cristalizado = 0,05647

Bicarbonato sódico = 0,03316

Hidróxido sódico (50%) = 0,03158

### 7.3.1.- Tratamiento con hidróxido de sodio

#### 7.3.1.1.- Cantidad del reactivo precipitante:

En las experiencias de laboratorio se utilizó 1 litro de licor agotado, la cantidad teórica se calculó en base a la composición de licor residual de cromo empleado ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 3,947 \text{ g/L}$ , basicidad 40,8%)

Luego se determinó la cantidad teórica para elevar su basicidad a 100%. Lo cual según fórmula sale 7,431 g/L, pero en nuestro caso tenemos un hidróxido de sodio al 98% de pureza lo cual nos da como cantidad teórica 3,8 g/L.

Para nuestro estudio observamos que la adición del reactivo lenta y rápida variaba considerablemente nuestros resultados por lo cual se trabajó disolviendo las cantidades agregadas en 300 mL de licor y agregando lentamente durante el tiempo de agitación.

**Tabla 14. Concentraciones de hidróxido de sodio**

<b>Cantidad de NaOH (g/L)</b>	<b>Tiempo de Agitación (min)</b>	<b>pH</b>	<b>T (°C)</b>
3,8	30	7,532	25
4,0	30	8,000	25
4,3	30	8,362	25
4,5	30	8,566	25
4,8	30	9,028	25
5,0	30	9,200	25
5,3	30	9,486	25

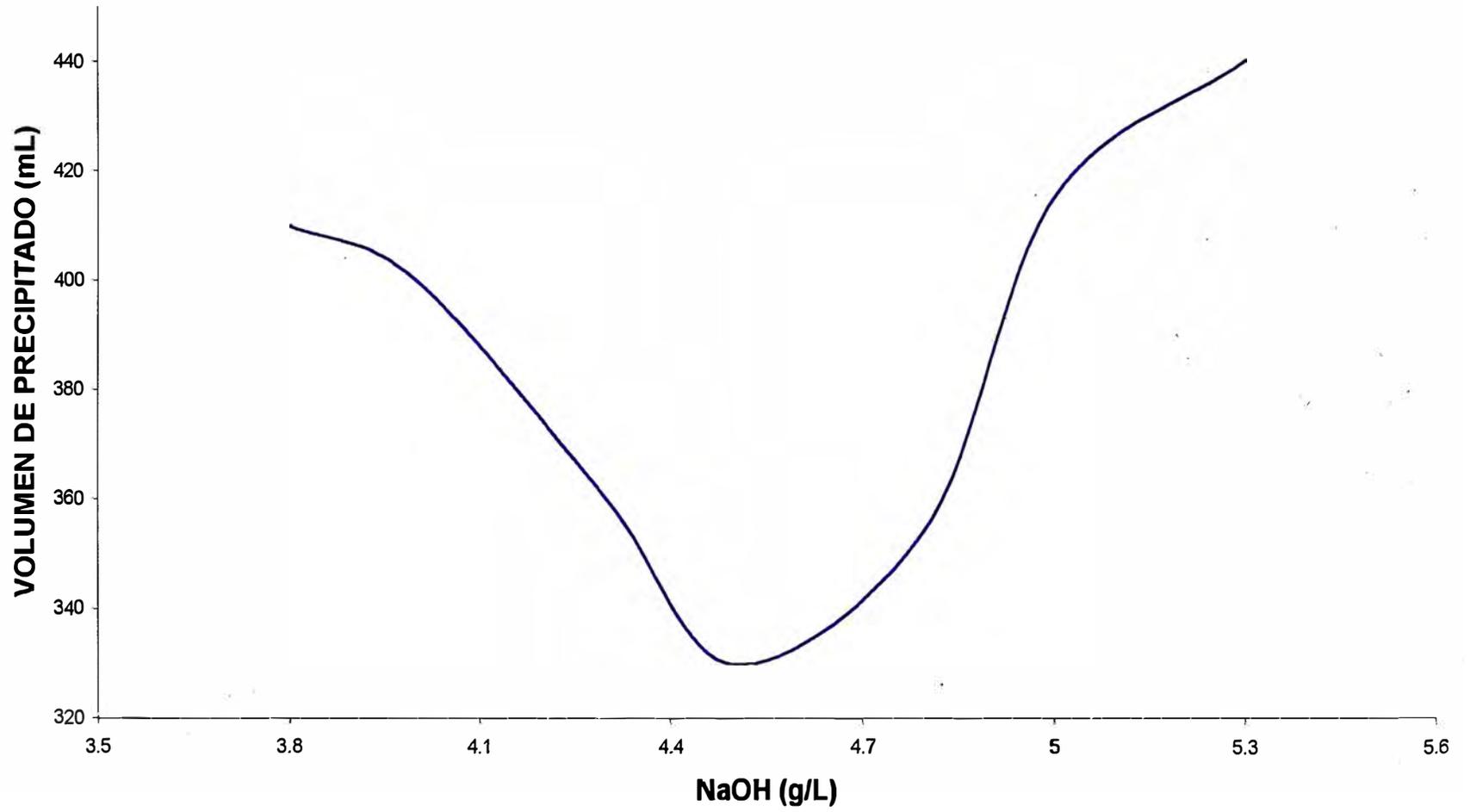
**Tabla 15. Dosis óptima de NaOH**

<b>3,8 ( g/L)</b>	<b>4,0 ( g/L)</b>	<b>4,3 ( g/L)</b>	<b>4,5 ( g/L)</b>	<b>4,8 ( g/L)</b>	<b>5,0 ( g/L)</b>	<b>5,3 ( g/L)</b>
1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
970	970	970	965	970	975	1 000
930	930	910	900	910	930	970
880	860	840	840	835	875	910
820	780	775	760	750	820	845
760	700	720	690	695	755	770
700	620	660	610	640	690	710
650	530	610	540	580	630	640
590	510	560	475	530	565	570
500	470	510	440	470	510	510
470	450	440	400	410	460	480
440	430	400	365	370	430	450
410	400	360	330	355	415	440

Con estos valores obtenemos una dosis óptima, considerando un tiempo de compactación del precipitado de 2 horas.

Además hallando el contenido de cromo en cada probeta y dejándolo decantar por 24 horas, obtenemos las siguientes eficiencias:

**Fig. 10 DOSIS OPTIMA DE NaOH**



**Tabla 16. Eficiencias**

<b>NaOH (g/L)</b>	<b>2 h</b>	<b>V1 (mL)</b>	<b>Vg (mL)</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g/L)</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g)</b>	<b>Eficiencia</b>
3,8	410	196	17,0	17,20	3,37	85,38%
4,0	400	200	16,9	17,10	3,42	86,65%
4,3	360	220	15,7	15,8	3,49	88,42%
4,5	330	166	21,0	21,25	3,53	89,44%
4,8	355	188	17,8	18,01	3,39	85,88%
5,0	415	190	17,4	17,61	3,35	84,87%
5,3	440	232	14,1	14,27	3,31	83,86%

Donde: Vg = Volumen gastado de tiosulfato de sodio 0,1 N.

V1 = Volumen de muestra.(decantar 24 horas)

Con lo cual obtenemos como dosis óptima la concentración de hidróxido de sodio de 4,5 g/L de licor decantado.

### 7.3.1.2.- Tiempo de agitación:

La cantidad práctica del reactivo se adicionó durante el tiempo total de agitación, el cual fue de 30, 60 y 90 minutos.

**Tabla 17. Tiempo de agitación**

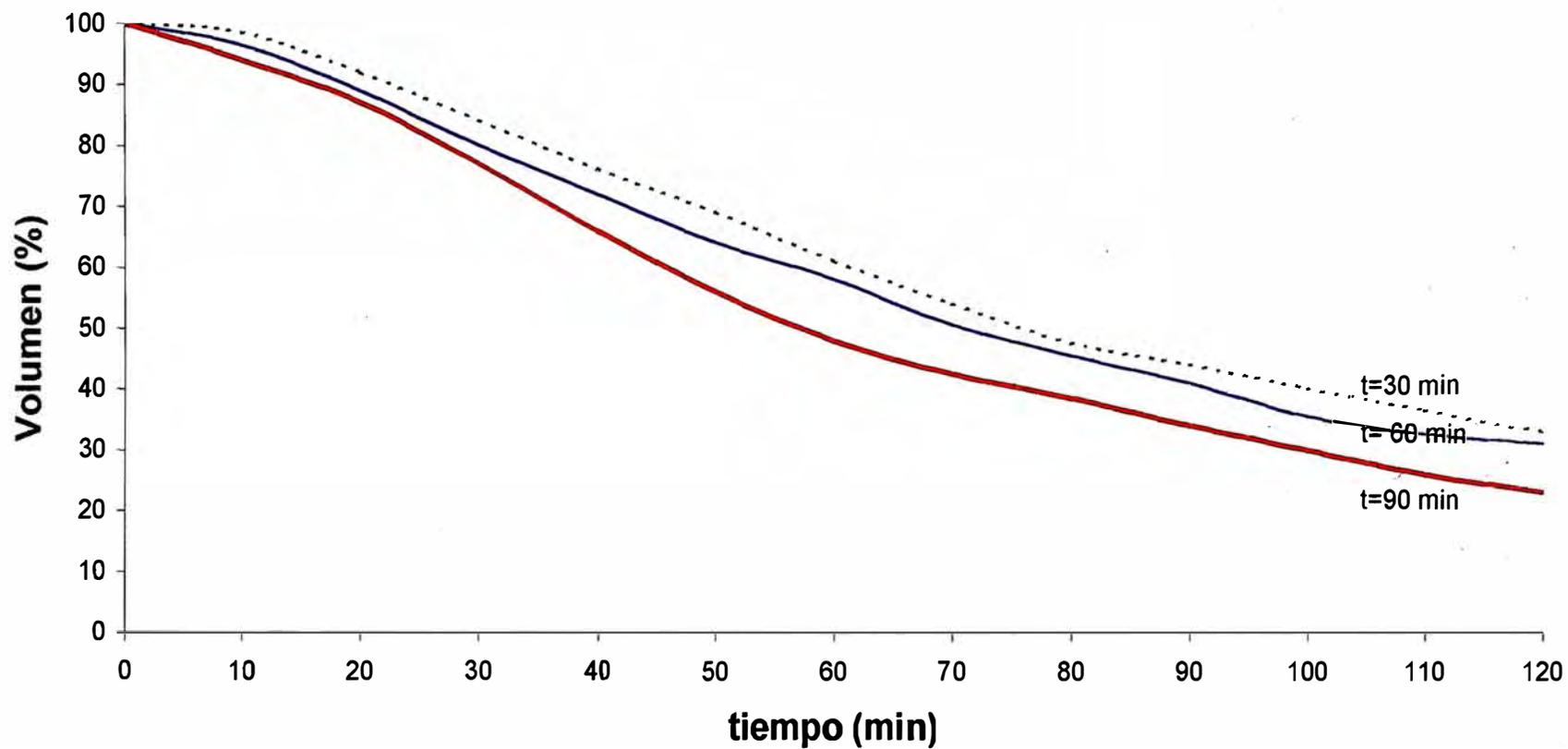
<b>NaOH (g/L)</b>	<b>Tiempo de agitación (min)</b>	<b>pH Final</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
4,5	30	8,566	25
4,5	60	8,546	25
4,5	90	8,531	25

**Tabla 18. Tiempo de agitación óptimo**

<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
1 000	1 000	1 000
985	965	940
920	890	870
840	800	770
760	720	660
690	640	560
610	580	480
540	505	425
475	455	385
440	410	340
400	355	300
365	325	260
330	310	230

Para la obtención de la Fig. 11 se midió el volumen del precipitado cada 10 min durante 2 h y se sacó un porcentaje en volumen considerando 1 L como un 100%, con lo cual obtenemos como tiempo de agitación óptimo de 90 min.

**Fig. 11 TIEMPO DE AGITACION (NaOH)**



**7.3.1.3.- Temperatura:**

Se estudio el comportamiento de cada sistema a la temperatura de 25 °C, 40 °C y 50 °C utilizando el tiempo total de agitación de 90 minutos. Antes de iniciar el proceso de precipitación el licor se calentó a la temperatura correspondiente, la cual se mantuvo durante el agregado del reactivo.

**Tabla 19. Temperatura**

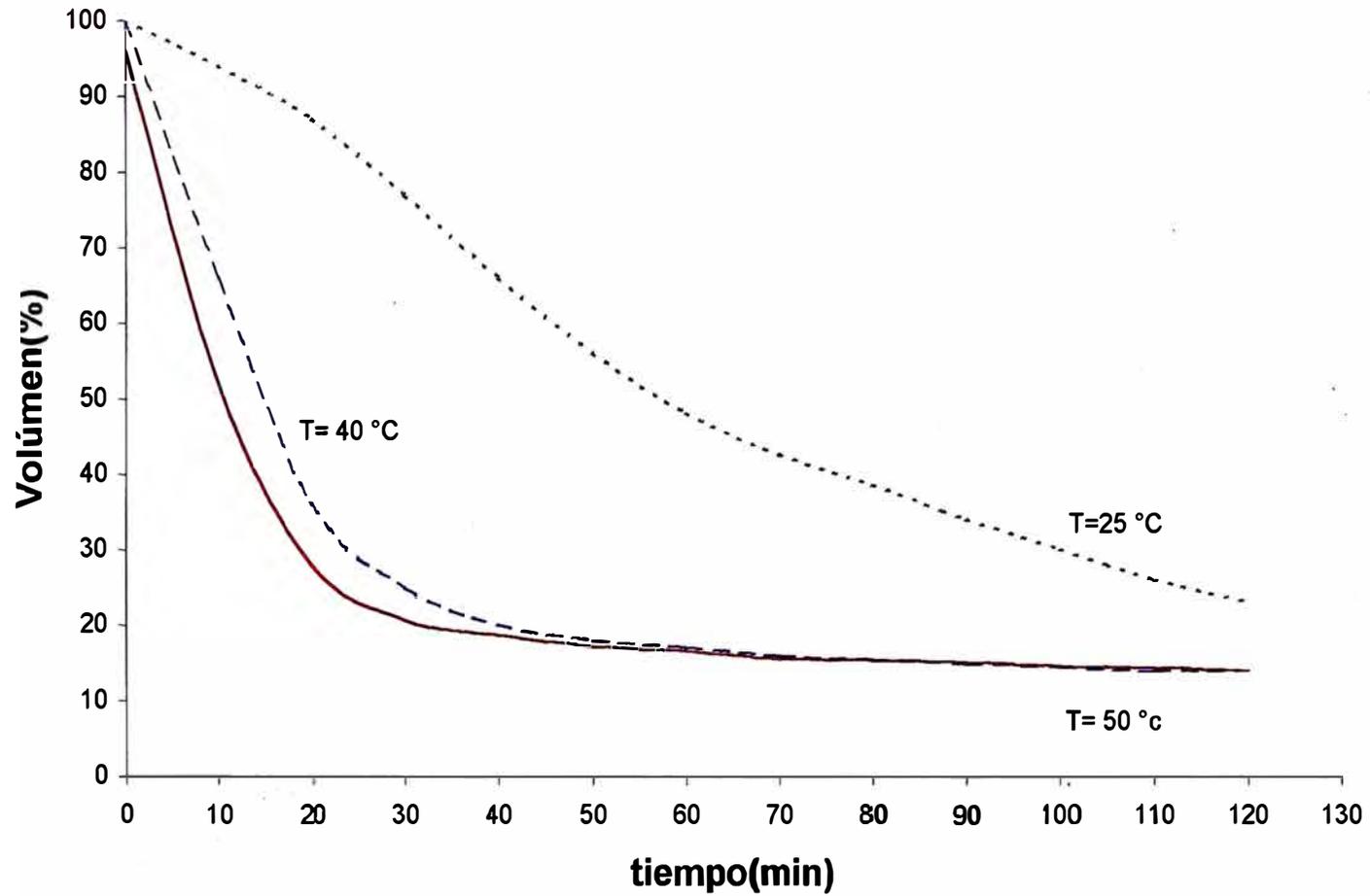
<b>NaOH (g/L)</b>	<b>Tiempo de Agitación (min)</b>	<b>pH Final</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
4,5	90	8,531	25
4,5	90	8,116	40
4,5	90	7,960	50

**Tabla 20. Temperatura óptima**

<b>Temperatura 25 °C</b>	<b>Temperatura 40 °C</b>	<b>Temperatura 50 °C</b>
1 000	1 000	960
940	660	500
870	360	270
770	250	200
660	200	180
560	180	165
480	170	160
425	160	150
385	155	148
340	150	145
300	145	140
260	140	138
230	140	135

Con estos valores obtenemos una temperatura óptima de 40°C, considerando un tiempo de compactación del precipitado de 2 horas.

**Fig. 12 TEMPERATURA OPTIMA (NaOH)**



El precipitado se dejó decantar durante un tiempo de 24 horas, con la finalidad de aumentar la compacidad del hidróxido formado.

Se separó el sobrenadante y el precipitado se disolvió con ácido sulfúrico comercial hasta alcanzar un pH de 2,6 y obtener la sal de cromo curtiembre de 33,3% de basicidad.

El cual obtenemos la siguiente eficiencia:

**Tabla 21. Eficiencia con los parámetros óptimos**

<b>NaOH g/L</b>	<b>Tiempo de agitación</b>	<b>T °C</b>	<b>V1 mL</b>	<b>Vg mL</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> g/L</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> g</b>	<b>Eficiencia</b>
4,5	90 min	40	140	25,8	26,11	3,65	92,48%

Se simuló con éxito en laboratorio las técnicas de curtido que se emplean industrialmente, para esto se utilizó un recipiente cilíndrico de plástico de 3 litros de capacidad con tapa hermética en el que se agitó por aproximadamente 8 horas (5min/hora).

Se trabajó con trozos de cuero piquelado de aproximadamente 10x10 cm con un peso de 128,32 gramos.

Posteriormente se trabajó en un vaso de vidrio y se llevo la solución aproximadamente a 40 °C por 1 hora. Adicionándole bicarbonato para fijar el cromo.

#### **7.3.1.4.- Conclusiones:**

- Desde el punto de vista de la curtiembre este método presenta una ventaja de que casi no es necesario modificar los procesos de producción ya que el cromo recuperado ingresa al ciclo en la misma forma que el cromo fresco. La única modificación es que se debe adaptar al manejo de la sal de cromo en forma líquida, lo cual no representa a priori mayores dificultades.
- Se observa que al aumentar el tiempo de agitación, se obtiene una mayor compactación del cromo precipitado.
- Al aumentar la temperatura a 50 °C, el licor de cromo empieza a evaporarse. Por lo cual se elige como temperatura óptima de 40 °C debido que la variación del porcentaje en volumen nos es significativo.

La separación fue satisfactoria. Se observa una buena compactación del hidróxido formado, permitiendo la separación sin filtración.

- El pH del líquido sobrenadante es 7,5 y una turbidez de 5,96 NTU.
- La concentración de óxido de cromo fue de 26,11 g/L
- Basicidad 30%
- Rendimiento del 92,48%, respecto a la cantidad de cromo inicial.
- El cuero resultó correctamente curtido, “prueba de ebullición” (análisis necesario y suficiente a escala industrial).

### 7.3.2.- Tratamiento con hidróxido de Calcio

#### 7.3.2.1.- Cantidad del reactivo precipitante:

Se utilizó un 1 L de baño de cromo residual del proceso de curtido (que es de color verde) para esta muestra se dio como resultado el contenido de óxido de cromo 3,947 g /L y una basicidad de 40,38%.

La cantidad de reactivo precipitante lo determinaremos por reacciones químicas. Como la concentración de cromo esta en forma de óxido debemos hallar su equivalente en forma de sulfato al 40,38%, pero en la tabla de basicidades el que más se acerca a nuestro valor teórico es 41,7%.



607,92 g

1 257,92 g

3,947 g

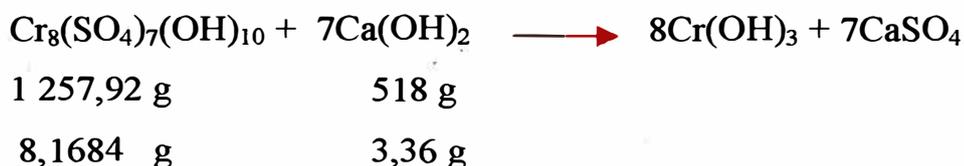
8,1672 g

Según la reacción se tiene que para 1g de sulfato de cromo se requiere 0,4832 g de óxido de cromo.

Para 1 L de muestra que tiene 3,947 g. de óxido de cromo la concentración equivalente de sulfato de cromo de 41,7% de basicidad es:

$$3,947 \text{ g Cr}_2\text{O}_3 * \frac{1 \text{ g Cr}_8(\text{SO}_4)_7(\text{OH})_{10}}{0,4832 \text{ g Cr}_2\text{O}_7} = 8,1684 \text{ g}$$

Siendo la reacción inicial con el hidróxido de calcio la siguiente:



Se requiere 3,36 g de hidróxido de calcio puro, pero considerando su concentración industrial de 95,58 % la cantidad real será 3,51 g de hidróxido de calcio industrial (cal apagada).

La cal se agrega en forma de polvo donde la velocidad de reacción dependerá de la solubilidad de la cal.

Considerando igualmente como en el caso del hidróxido de sodio, se trabajó con lechada de cal disolviendo la cantidad requerida en 300 mL de licor agotado y agregando lentamente durante el tiempo de agitación.

**Tabla 22. Concentración del hidróxido de calcio**

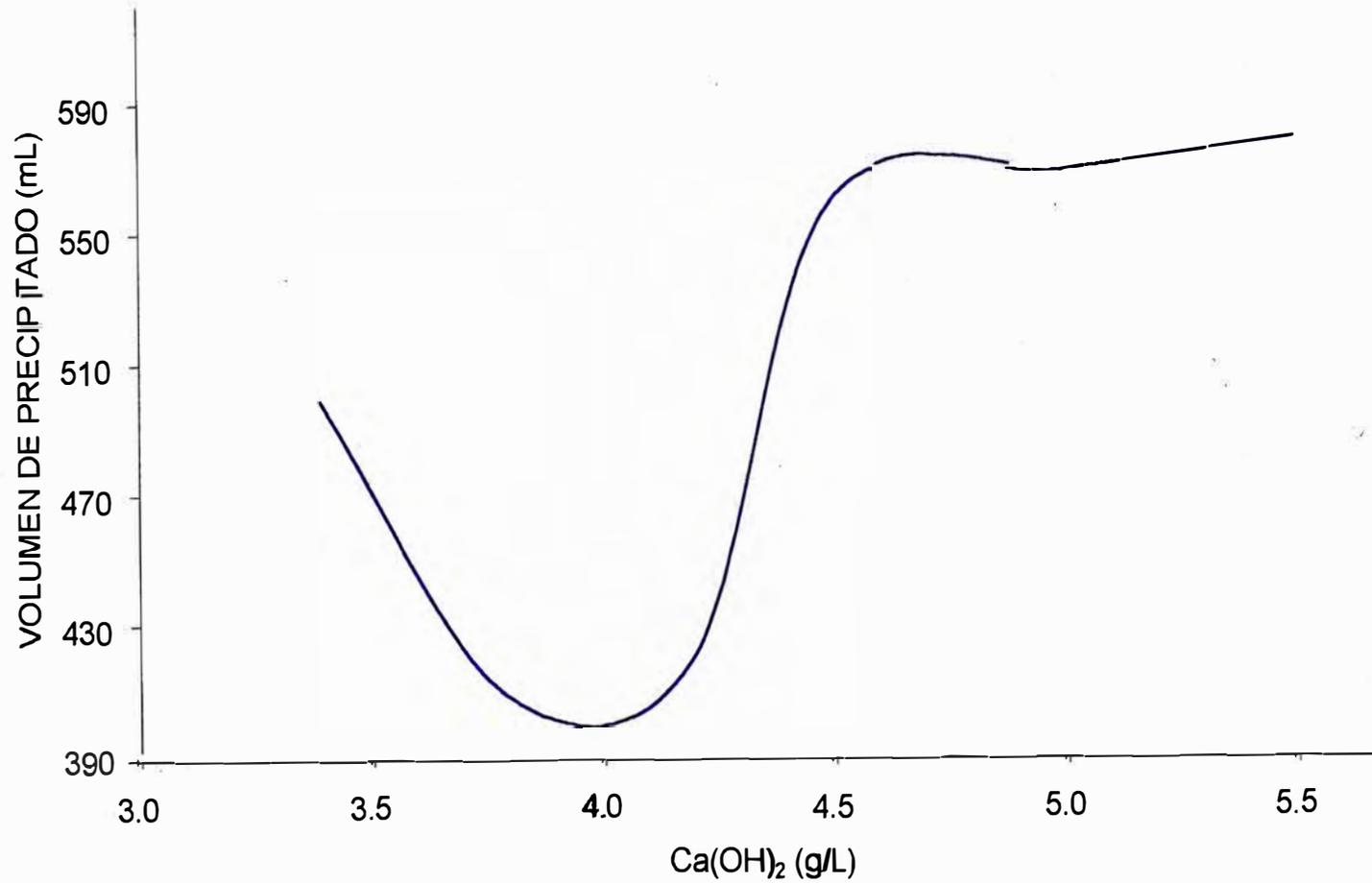
Cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (g/L)	Tiempo de Agitación (min)	pH	T (°C)
3,4	30	7,251	25
3,8	30	7,517	25
4,0	30	7,500	25
4,2	30	8,020	25
4,5	30	8,110	25
5,0	30	8,580	25
5,5	30	8,953	25

**Tabla 23. Dosis óptima del hidróxido de calcio**

<b>3,4 ( g/L)</b>	<b>3,8 ( g/L)</b>	<b>4,0 ( g/L)</b>	<b>4,2 ( g/L)</b>	<b>4,5 ( g/L)</b>	<b>5,0 ( g/L)</b>	<b>5,5 ( g/L)</b>
1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
970	980	970	970	980	980	980
930	940	930	930	945	950	955
870	890	880	875	920	925	930
820	820	810	800	885	885	890
760	800	760	750	850	850	855
720	725	720	680	810	820	825
660	690	650	630	770	780	780
600	630	600	570	720	750	755
560	600	560	530	685	700	710
530	560	520	490	650	670	680
510	520	480	450	610	640	650
500	410	450	420	560	570	580

Con estos valores obtenemos una dosis óptima 4,2 g/L de hidróxido de calcio, considerando un tiempo de compactación del precipitado de 2 horas.

**Fig. 13 DOSIS OPTIMA DE  $\text{Ca}(\text{OH})_2$**



Además hallando el contenido de cromo en cada probeta y dejar decantar por 24 horas. Obtenemos las siguientes eficiencias:

**Tabla 24. Eficiencias**

<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (g/L)</b>	<b>2 h</b>	<b>V1 (mL)</b>	<b>Vg (mL)</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g/L)</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g)</b>	<b>Eficiencia</b>
3,4	500	250	12,6	12,75	3,9	80,82%
3,8	410	230	13,8	13,97	3,21	81,33%
4,0	450	220	14,5	14,67	3,25	82,34%
4,2	420	210	15,5	15,69	3,29	83,35%
4,5	560	240	13,4	13,56	3,25	82,34%
5,0	570	245	13,0	13,16	3,22	81,58%
5,5	580	248	12,6	12,75	3,16	80,06%

Donde: Vg = Volumen gastado de tiosulfato de sodio 0, 1N.

V1 = Volumen de muestra.(decantar 24 horas)

Con lo cual obtenemos como dosis óptima la concentración de hidróxido de calcio de 4,2 g/L.

**7.3.2.2.- Tiempo de agitación:**

La cantidad práctica del reactivo se adicionó durante el tiempo total de agitación, el cual fue de 30, 60 y 90 minutos.

**Tabla 25. Tiempo de agitación**

<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (g/L)</b>	<b>Tiempo de Agitación (min)</b>	<b>pH Final</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
4,2	30	8,020	25
4,2	60	8,001	25
4,2	90	8,118	25

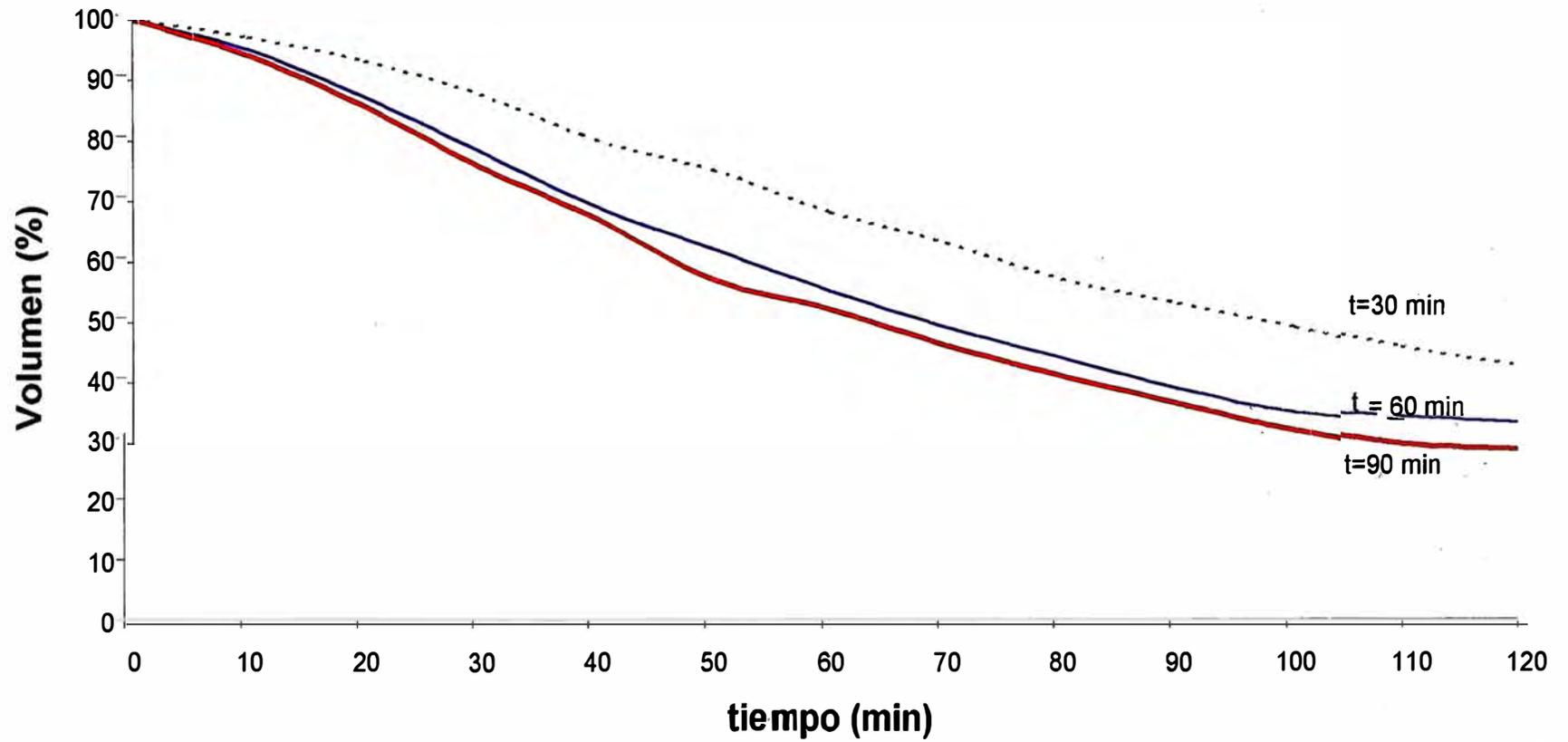
Para todos estos valores se utilizaron el mismo tipo de agitador. Terminada la agitación la suspensión de hidróxido de cromo fue transferida a una probeta graduada de 1 L de capacidad en el cual se midió la altura del precipitado a intervalos definidos de 10 minutos por espacio de 2 horas.

**Tabla 26. Tiempo de agitación óptimo**

<b>Agitación 30 min</b>	<b>Agitación 60 min</b>	<b>Agitación 90 min</b>
1 000	1 000	1 000
970	950	940
930	870	855
875	780	755
800	690	670
750	620	570
680	550	520
630	490	460
570	440	410
530	390	365
490	350	320
450	335	290
420	325	280

Con estos valores se obtiene un tiempo de agitación óptimo de 90 min

**Fig. 14 TIEMPO DE AGITACION ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )**



**7.3.2.3 Temperatura:**

Se estudio el comportamiento de cada sistema a la temperatura de 25 °C, 40 °C y 50 °C utilizando el tiempo total de agitación de 90 minutos. Antes de iniciar el proceso de precipitación el licor se calentó a la temperatura correspondiente, la cual se mantuvo durante el agregado del reactivo.

**Tabla 27. Temperatura**

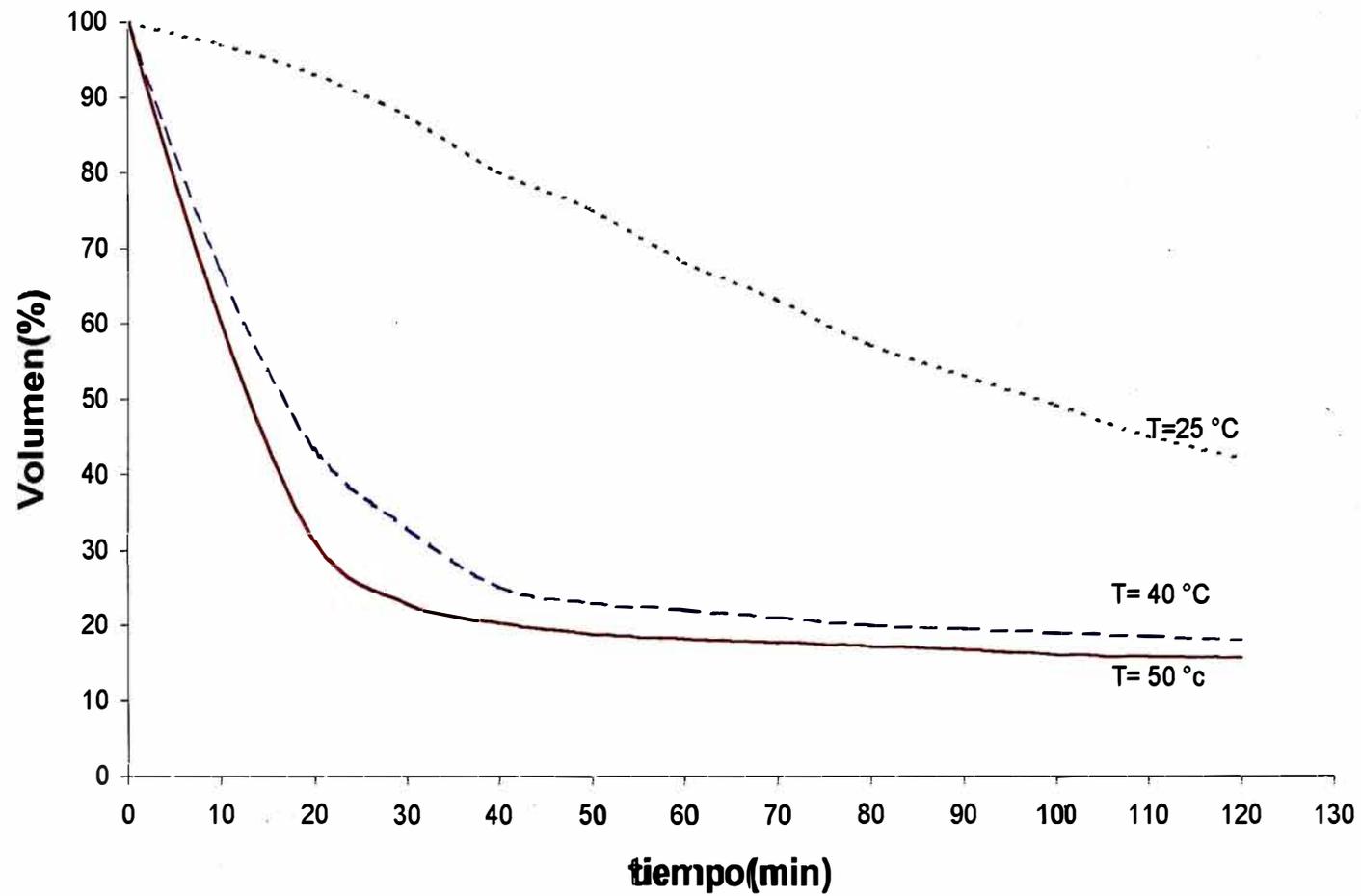
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (g/L)</b>	<b>Tiempo de agitación (min)</b>	<b>pH Final</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
4,2	90	8,020	25
4,2	90	7,753	40
4,2	90	7,498	50

**Tabla 28. Temperatura óptima**

<b>Temperatura 25 °C</b>	<b>Temperatura 40 °C</b>	<b>Temperatura 50 °C</b>
1 000	1 000	960
970	670	580
930	435	300
875	330	220
800	250	195
750	230	180
680	220	175
630	210	170
570	200	165
530	195	160
490	190	155
450	185	152
420	180	150

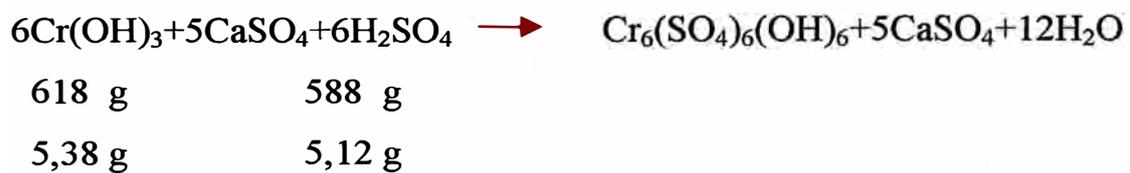
Con estos valores obtenemos una temperatura óptima de 40°C, considerando un tiempo de compactación del precipitado de 2 horas.

**Fig. 15 TEMPERATURA (Ca(OH)<sub>2</sub>)**



El precipitado se dejó decantar durante un tiempo de 24 horas, con la finalidad de aumentar la compacidad del hidróxido formado.

Se separó el sobrenadante y el precipitado se disolvió con ácido sulfúrico comercial hasta alcanzar un pH de 2,6 y obtener la sal de cromo. El ácido sulfúrico debe ser dosificado poco a poco, para evitar una reacción violenta.



Para esta reacción la cantidad a emplear de ácido sulfúrico es de 5,12 g al 100%, pero ácido sulfúrico industrial es de 98%, por lo tanto la cantidad real a emplear será:

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{5,12}{0,98} = 5,22 \text{ g}$$

Además:

Densidad del ácido sulfúrico 20° C = 1 799 g/L

$$d = m/V$$

$$1\,799 \text{ g/L} = \frac{5,22 \text{ g}}{V}$$

$$V (\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,9 \text{ mL}$$

Una vez añadido el ácido sulfúrico se deja que se forme el sulfato de cromo por un tiempo de 2 horas, verificando la presencia de un insoluble blanquecino que es el sulfato de calcio. Luego se separa el sulfato de calcio por filtración, siendo en este caso el fluido el que contiene el hidróxido de cromo.

El volumen final del fluido es de 138 mL

**Tabla 29. Eficiencia con los parámetros óptimos**

<b>Ca(OH)<sub>2</sub> g/L</b>	<b>Tiempo de Agitación</b>	<b>T(°C)</b>	<b>V1 mL</b>	<b>Vg mL</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> g/L</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> g</b>	<b>Eficiencia</b>
4,2	90 min	40°C	138	22,9	23,17	3,2	81,07%

De la misma manera que en el caso del NaOH se simuló el curtido a nivel laboratorio, con trozos de cuero piquelado de 10x10 cm con un peso de 120,83 g.

#### **7.3.2.4 Conclusiones**

- Con el hidróxido de calcio se obtiene dos precipitados el hidróxido de cromo y el sulfato de calcio.
- Se observa que al aumentar el tiempo de agitación se obtiene una mayor compactación del precipitado (hidróxido de cromo y del sulfato de calcio).
- Al aumentar la temperatura a 50 °C el licor de cromo empieza a evaporarse. Por lo cual se elige como temperatura óptima de 40 °C debido que la variación del porcentaje en volumen nos es significativo.

- La separación fue satisfactoria. Se observa una buena compacidad del hidróxido formado, permitiendo la separación del precipitado sin filtración.
- El pH del líquido sobrenadante es 7,753 y una turbidez de 12,4 NTU.
- La concentración de óxido de cromo fue de 23,17g/L
- Basicidad 38,6%.
- Rendimiento del 81,07%, respecto a la cantidad de cromo inicial
- Se tuvo que realizar una filtración para separar el sulfato de calcio formado, el cual es insoluble con el ácido sulfúrico.
- El cuero resultó correctamente curtido, “prueba de ebullición positiva” (análisis necesario y suficiente a escala industrial).

### **7.3.3.- Tratamiento con óxido de Magnesio**

Realizamos pruebas con el óxido de magnesio puro, y encontramos que el pH óptimo para precipitar el cromo fue de 8,754 con una dosis óptima de 1g/100mL de licor de cromo agotado. Lo cual significaría una cantidad excesiva de reactivo.

### **7.3.4.- Consideraciones sobre el costo**

Se elige al que ofrezca una mayor disponibilidad del producto y al mismo tiempo su empleo sea el más económico.

Para 1 000 L de licor de cromo, con una concentración de óxido de cromo de 3,947 g/L y una basicidad de 40,38%.

**Tabla 30. Evaluación de costos**

<b>Producto</b>	<b>Kg</b>	<b>Pureza Reactivo</b>	<b>Precio (\$/Kg)</b>	<b>Precio (\$)</b>
NaOH	4,5	98.0%	0,65	2,93
Ca (OH) <sub>2</sub>	4,2	95.8%	0,13	0,55
MgO	10.0	99.99%	35,0	350,0

- El MgO es muy superior, con respecto a los demás
- El NaOH presenta algunas ventajas frente al Ca(OH)<sub>2</sub> a saber:
  - a) Menor concentración de cromo (Cr<sup>+3</sup>) en el líquido sobrenadante
  - b) El precipitado sedimenta más rápidamente
  - c) No tiene el inconveniente de una filtración posterior
  - d) El volumen reducido de precipitado obtenido, posibilita la separación del mismo sin filtración.
  - e) Obtenemos mayor rendimiento.

### **Conclusiones finales**

Se trabajó a escala de laboratorio con el fin de identificar el agente precipitante más adecuado y las mejores condiciones de precipitación; buscándose obtener en un tiempo razonable de precipitación y decantación un reducido volumen de precipitado, de forma tal de evitar la filtración.

Respecto a la temperatura adecuada de precipitación (en nuestras experiencias 40°C), cabe mencionar que los líquidos residuales del curtido se vuelcan a una temperatura de 35-40°C, lo cual permitiría un tratamiento directo de estos sin gastos considerables de energía.

- En nuestro caso, escogeremos el reactivo precipitante NaOH por las ventajas dichas anteriormente.
- Se observa la posibilidad de escalar a nivel piloto el método de precipitación optimizado en el laboratorio.

### 7.3.5.- Precipitación de los baños de curtido a escala piloto

Se ensayó el sistema de recuperación a escala piloto con el objetivo de ajustar detalles del método desarrollado.

La precipitación del cromo residual de los baños curtientes fue realizada con hidróxido de sodio en cantidad estequiométrica, con agitación constante durante 90 min y temperatura 40 °C.

Luego, el precipitado se dejó durante 24 horas, se separó el sobrenante y se disolvió con ácido sulfúrico hasta alcanzar el pH de 2,7

Para hallar la eficiencia a escala piloto se trabajó considerando el valor de óxido de cromo de 3,947 g/L.

#### Condiciones de operación:

Volumen del baño de curtido	:	15 L.
Cantidad de hidróxido de sodio	:	67,5 g.
Temperatura de operación	:	40 °C
Tiempo de agitación	:	90 min para cada corrida

**Tabla 31. Eficiencia a escala piloto**

<b>V1 (L)</b>	<b>Vg (L)</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( g/L)</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (g)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
2 700	20,0	20,24	54,65	92,1
2 685	19,3	19,53	52,44	88,58
2 710	19,5	19,73	53,47	90,32

Obteniendo una eficiencia promedio 90,40% con respecto al óxido de cromo recuperado en la precipitación.

## **8.- EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES FINALES DE DESCARGA**

## **8.- EVALUACION DE LOS EFLUENTES FINALES DE DESCARGA.**

Lo dividiremos en cuatro etapas:

8.1 Equipo para determinar las variable químicas

8.2 Investigación a nivel laboratorio

8.3 Investigación a nivel planta piloto

8.4 Resultados y conclusiones

### **8.1.- EQUIPOS PARA DETERMINAR LAS VARIABLES QUIMICAS:**

Uno de los equipos, más empleados para determinar en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento a nivel laboratorio es el equipo de “prueba de jarra” como elemento para controlar la dosis correcta de sustancias químicas que debe aplicarse para tratar el agua.

Se describen los antecedentes técnicos y la evolución del ensayo de prueba de jarras, el equipo que se utiliza en la actualidad y su aplicación a la determinación de las variables químicas del proceso de coagulación, tales como: selección del coagulante, determinación de dosis óptimas, condiciones óptimas de coagulación, selección de ayudantes de coagulación y secuencia de aplicación y concentración de reactivos.

Entre las variables que influyen en la remoción de color y/o turbiedad podemos citar: tipos y dosis de coagulante empleado, el efecto del pH, alcalinidad, tipo y origen de color y turbiedad y tipos y dosis de ayudantes de coagulación.

Estos factores pueden ser determinados con mucha exactitud a nivel de laboratorio, pudiendo analizarse las siguientes variables químicas:

- a) Selección de coagulante más apropiado.
- b) Determinación de dosis óptima de coagulante.
- c) Determinación de la influencia del pH en la coagulación.
- d) Evaluación de la eficiencia de los ayudantes de coagulación y floculación.
- e) Determinación conjunta de dosis y pH óptimos.
- f) Forma y secuencia de aplicación de las sustancias químicas.
- g) Determinación de la influencia que la concentración de los coagulantes tiene en la coagulación.

Estos factores son función del tipo de problema existente en las aguas, por lo cual la revisión indicada a continuación puede servir para ayudar a decidir que investigar en los ensayos mediante las pruebas de jarras y como interpretar algunos de estos datos obtenidos.

### **8.1.1.- Coagulación de la turbiedad**

La turbiedad en el agua es causada por la presencia de materia en suspensión tal como arcilla, partículas orgánicas, plankton y otros organismos microscópicos, presentándose cuatro tipos:

**Alta turbiedad, alta alcalinidad.-** Sistema de más fácil tratamiento debido a que con esta agua muchos coagulantes son efectivos. Los polímeros catiónicos proveen una buena desestabilización y una concentración grande de partículas permite fácil floculación en los aglomerados. Puede ser también efectivos los polímeros aniónicos y no iónico, posiblemente a más bajo costo. Para tratar este tipo de agua se requiere materiales de alto peso molecular. Las sales de aluminio actúa mejor en una región de pH entre 6 y 7, y las sales férricas en una región de pH entre 5 y 7. Cuando se emplean estos

coagulantes es posible que no necesiten ayudantes de coagulación o adición de alcalinizantes para controlar el pH.

**Alta turbiedad, baja alcalinidad.-** Aquí los polímeros funcionan como en el caso anterior. También son efectivas las sales de hierro y aluminio, pero se debe controlar cuidadosamente el pH durante la prueba. La coagulación se efectúa con mayor eficiencia en los mismos rangos de pH de las aguas del caso anterior. Puede ser necesaria la adición de alcalinizantes para prevenir que baje el pH por debajo de los niveles óptimos requeridos para la formación de los polímeros de aluminio y hierro.

**Baja turbiedad, alta alcalinidad.-** En este tipo de aguas los polímeros no pueden trabajar solos. Usualmente se deben adicionar partículas antes del polímero. Se requieren altas dosis de coagulantes para producir la precipitación del  $\text{Al(OH)}_3(\text{s})$  ó  $\text{Fe(OH)}_3(\text{s})$ . Los precipitados gelatinosos pueden ser ligeramente estables. Se puede reducir la dosis de alúmina si se adiciona arcillas o sílice activada, produciendo un floc más pesado. De igual manera se puede lograr este efecto adicionando polímeros aniónicos.

**Baja turbiedad, baja alcalinidad.-** Estas aguas son las más difíciles de coagular. Debido a la baja turbiedad los polímeros no trabajan solos. Como en el caso anterior, para aumentar la turbiedad se pueden adicionar arcillas. Las sales de aluminio y hierro generalmente son inefectivas si se usan solas, debido a que el pH puede bajar a niveles más bajos que el rango de precipitación de el  $\text{Al(OH)}_3(\text{s})$  y  $\text{Fe(OH)}_3(\text{s})$  para que se produzca floculación, Similarmente, la floculación es demasiado baja para permitir la

agregación si se forman los polímeros metálicos para alcanzarla carga de neutralización.

### **8.1.2 Coagulación del color**

El color en el agua se debe en principio a la presencia de materia orgánica natural, especialmente de los ácidos húmicos y fúlvicos. Los ácidos húmicos son los componentes solubles en bases fuertes pero insolubles en ácidos fuertes; los ácidos fúlvicos son solubles en ácidos y bases. Los primeros se pueden agregar naturalmente en partículas coloidales con los pesos moleculares más altos aparentemente, los segundos tienen pesos moleculares más bajos. Debido a la presencia de los grupos carboxílicos y fenólicos, las sustancias húmicas tienen una alta capacidad de intercambio catiónico y pueden concentrar o enlazar iones metálicos. Debido a sus características orgánicas ellos pueden acumular compuestos orgánicos hidrofóbicos, incluyendo algunos pesticidas.

La coagulación es un proceso utilizado en plantas de tratamiento de agua de filtración rápida, como parte inicial de una serie de procesos que incluyen coagulación, sedimentación, filtración y floculación para la remoción de turbiedad, color, bacterias, virus, algas y otros compuestos en estado coloidal.

A nivel laboratorio, uno de los modelos más empleados es el equipo de “Prueba de Jarras” como el elemento de control del proceso de coagulación.

### **8.1.3 Descripción del equipo de prueba de jarras**

Uno de los más conocidos es el equipo de prueba de jarras de velocidad variable fabricado por Phipps y Bird.

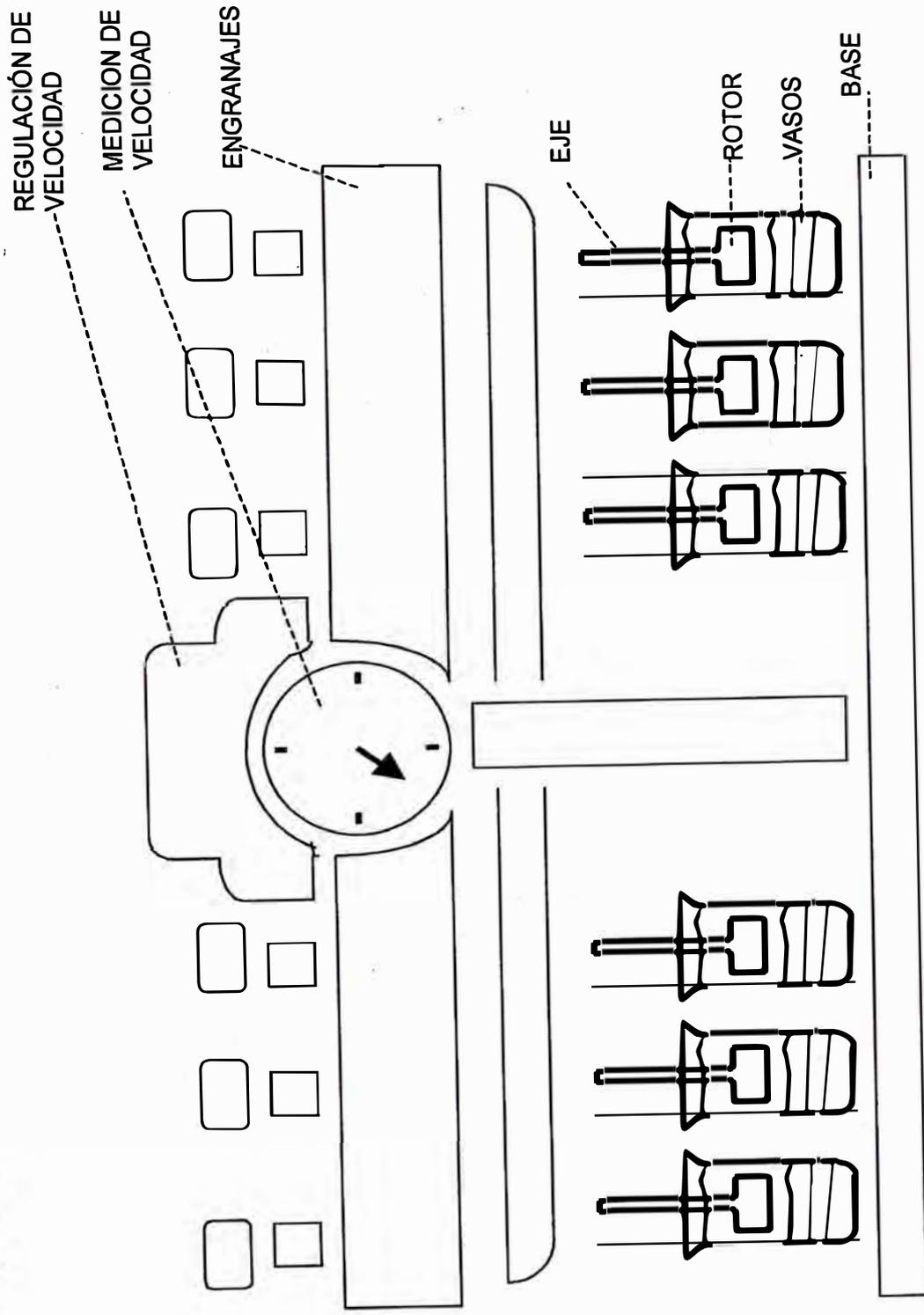
Normalmente estos equipos constan de:

Un agitador mecánico provisto con tres a seis aletas, capaz de operar a velocidades variables (0 a 100 revoluciones por minuto).

Un iluminador de flóculos localizados en la base del agitador de laboratorio.

Vasos de precipitación, de 2 000 mL, forma baja, de cristal refractario.

**Fig. 16 EQUIPO DE PRUEBAS DE JARRAS**



A continuación se analizarán algunos de los componentes más importantes.

### **Sistema de Dosificación**

Las unidades de agitación múltiple usadas en las pruebas de coagulación, debe ser equipadas con las facilidades necesarias para la adición de coagulantes químicos en forma rápida y simultánea a cada vaso o jarra.

La técnica usada en el laboratorio, consiste en colocar en seis vasos pequeños por medio de una pipeta o bureta las dosis de coagulantes que se va a agregar. El contenido de cada vaso se succiona con una jeringa hipodérmica provista de su aguja. Se retira dicha aguja de la jeringa y esta última, con su dosis completa, se pone junto a la jarra correspondiente en un soporte de madera especialmente acondicionado que va colocado en el puente superior del aparato en el cual se ha horadado seis agujeros en los que se colocan las agujas hipodérmicas. Cuando se quieren inyectar los coagulantes, todos los émbolos de las jeringas se bajan manualmente, lo más rápido posible (máximo un lapso de cinco segundos). Cuando se pone a funcionar el equipo haciendo girar las paletas a alta velocidad, se inyecta el contenido de cada jeringa en la jarra que le corresponde, cuidando que la solución penetre profundamente para que la dispersión sea más rápida.

### **Sistema de Agitación**

La variable que más importancia tiene en la “Prueba de Jarra” es la intensidad de agitación expresadas como gradiente de velocidad. En el equipo de prueba de jarras para lograr el movimiento del agua, se utilizan paletas o rotores, accionada en forma mecánica y magnética.

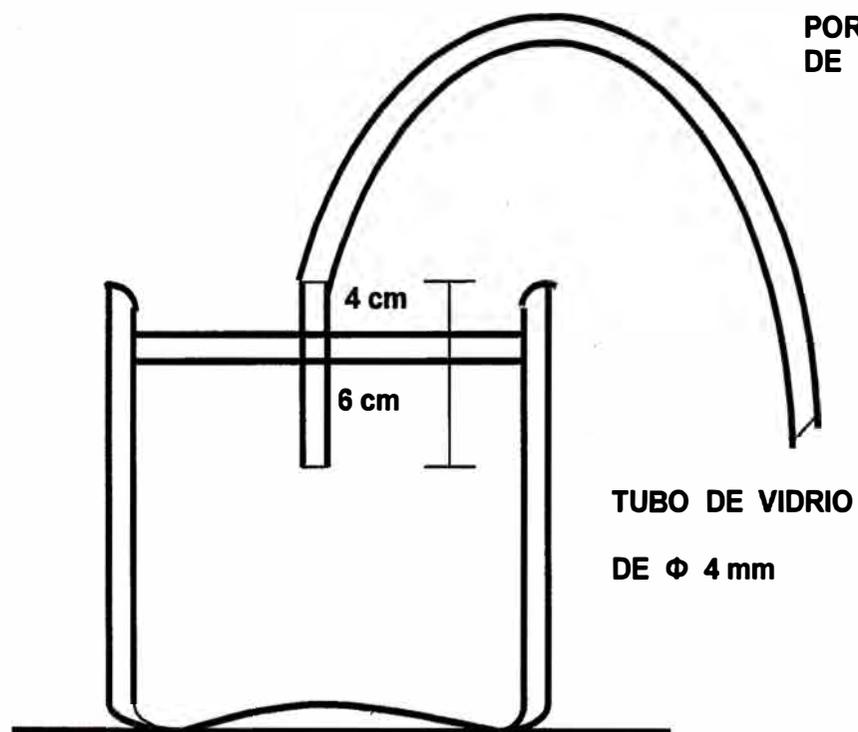
Al utilizar únicamente paletas es necesario elevar la velocidad a valores superiores a los que normalmente operan los equipos, produciendo, al detener el motor luego del ensayo de floculación, por inercia, un movimiento helicoidal del cual emanan resultados erróneos en el ensayo posterior de sedimentación por lo que se recurre al uso de deflectores fijos de tipo continuo o discontinuo. Ruey y Hundson, determinaron las gradientes de velocidad para diferentes tipos de rotores, y deflectores.

### **Sistema de Toma de Muestra**

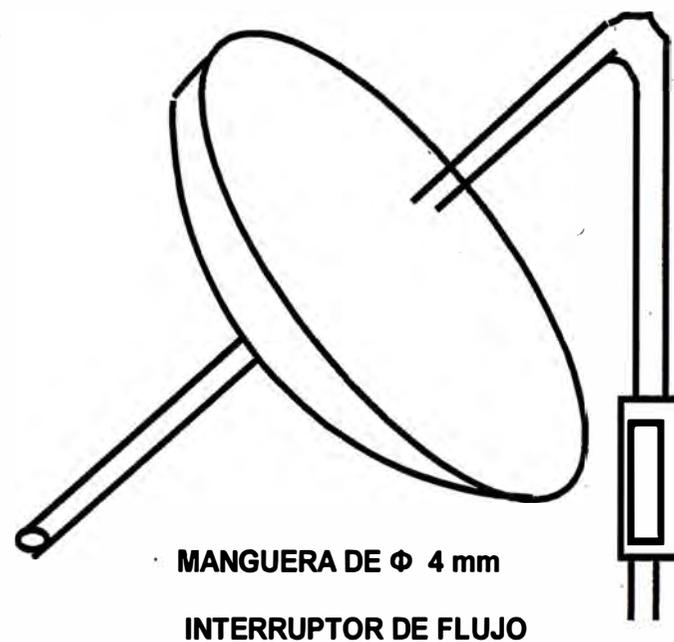
Después de la mezcla y floculación, se tiende a sedimentar en condiciones adecuadas. Luego se succiona el sobrenadante con una pipeta volumétrica de 50 mL a la misma profundidad en todos los vasos o por medio de un sifón de 3 mm de tubo de vidrio. Este sifón debe ser torcido en dirección horizontal en el punto de muestreo para que ésta sea representativa en una profundidad determinada. El sifón esta sostenido por un flotador de tecnoport el cual va a ayudar a mantener constante la altura de la toma de la muestra y el nivel del agua.

Antes de tomar la muestra se debe de descartar a través del tubo de sifoneo aproximadamente 10 mL de agua y luego tomar algo más de 30 mL de muestra para la determinación de la turbiedad.

# Fig. 17 SISTEMA DE TOMA DE MUESTRAS



POROPFLEX DE 1/2 "  
DE ESPESOR



### **Iluminación**

Para observar el floc formado en los vasos, es conveniente una buena iluminación a pesar de que no es esencial.

Idealmente los vasos deben estar provistos con una base blanca y una iluminación en ángulo recto a la dirección del observador. Se deben evitar fuentes de luz que generen mucho calor y que tienen un efecto significativo en la coagulación y sedimentación, ocasionando diferencias de temperatura entre el agua del modelo y la realidad lo cual redundaría en obtención de resultados erróneos.

### **Equipos Auxiliares**

a) Turbidímetro.- La medición de la turbiedad del agua se considera como el parámetro más importante para caracterizar el proceso. La medición de la turbiedad se logra mediante el uso de un turbidímetro convencional, que mide la intensidad de la luz que pasa a través de una muestra de agua o la intensidad de la luz que es dispersada por las partículas en suspensión que están presentes en la muestra, generalmente desde una dirección situada a  $90^\circ$  de la dirección original del haz de luz.

b) pH-metro.- Desde tiempo atrás es conocido que la efectividad de la coagulación tiene dependencia directa del pH, debido a ello la medición de este parámetro antes y después de la floculación tiene importancia básica: por lo cual de un medidor de pH de preferencia potenciométrico. Este medidor debe ser calibrado con una solución amortiguadora fresca cuyo pH está en el rango de operación deseada.

El pH es un indicador de la concentración de los iones hidrógeno en solución  $\text{pH} = \log_{10} [\text{H}^+]$ .

- c) **Comparador de color.**- Este parámetro puede ser determinado por comparación visual con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. También se puede comparar con discos especiales de color que han sido previamente calibrados. El método de comparación del platino de cobalto es el establecido como método normalizado.
- d) **Vidriería.**- Además de los seis vasos de precipitado o jarras que de preferencia son de 2 litros de capacidad, debe disponerse de pipetas de 2 y 10 mL para la adición de los coagulantes a los vasos, seis frascos de vidrio de 50 mL, y buretas con sus respectivos soportes. En lo posible, esta prueba debe efectuarse a la misma temperatura que tiene la planta de tratamiento, y controlar en los diferentes puntos del proceso, para lo cual es necesario un termómetro.

**Consideraciones generales para la ejecución de ensayos en la prueba de jarras.**

Soluciones químicas empleadas deben ser preparadas en concentraciones tales que pueden ser medidas de manera conveniente y precisa.

**Tabla 32. Soluciones patrón para la determinación de coagulación**

<b>Producto Químico</b>	<b>Concentración de la solución patrón</b>	<b>Renovar después de</b>	<b>Notas</b>
$\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	10% (0.86%Al)	1 o 2 meses	
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	10%(2%Fe)	1 mes	Renovar la solución si se pone opalescente
Almidón soluble	0,5%	2 días	Diluir 10 veces, antes de usarlo
Derivados de Poliacrilamida	0,05%	1 mes	La solución debe tener por lo menos un día.
$\text{FeSO}_4$	0,1N	3 meses	
	0,1N	1 mes	
Tierra Fuller	0,5%	3 meses	Agitar bien antes de usar.

**- Tamaño del floc producido**

Se observa el tamaño de floc producido y se le evalúa cualitativamente según sus características. Puede expresarse su tamaño según el índice de Willcomb.

**Tabla 33. Números de índices**

<b>Número del Índice</b>	<b>Descripción</b>
0	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.

## **8.2 INVESTIGACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO**

Para fines de nuestro estudio, hemos utilizado la prueba de jarras, tomando las siguientes precauciones.

- \* Respeto a las soluciones, las soluciones de coagulantes deben ser de preferencia frescas, para evitar la hidrólisis de ésta, por lo que se debe marcar la fecha de preparación. Es preferible tener una solución patrón concentrada (10%) y preparar a partir de esta las soluciones diluidas necesarias.
- \* Los coagulantes deben ser añadidos lo más rápidamente posible a las jarras y deben aplicarse dentro del líquido y junto al eje de las paletas.
- \* Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente.

Procedimiento:

1. Se tomaron 6 muestras en vasos de 2 litros de capacidad
2. Se colocaron los 6 vasos en el equipo de prueba de jarras
3. Se introducen las paletas en los vasos
4. Se enciende el equipo y se calibra a una velocidad de 100 rpm durante un tiempo de 5 segundos, a fin de crear el sistema de mezcla rápida adecuado.
5. Al inicio del procedimiento de mezcla rápida se agregó el respectivo coagulante en forma simultánea a los 6 vasos.
6. Concluido los 5 segundos de mezcla rápida, se procedió a establecer las condiciones de mezcla lenta, bajando la velocidad de las paletas a 40 RPM durante un tiempo de 20 minutos.
7. En el tiempo de floculación se ha buscado observar la formación de coloides en los diferentes vasos.
8. Al término de la floculación se dejó sedimentar los flocs formados durante 20 minutos.

9. Se tomó una muestra de cada vaso, con una profundidad de 6 cm, para determinar luego el parámetro final.

### **8.2.1 Determinación de los parámetros óptimos de coagulación**

**8.2.1.1 Determinación de la dosis óptima.-** El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis óptima de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permita la formación de un floc pesado y compacto, que pueda ser fácilmente retenido en los sedimentadores.

Se debe establecer previamente que sustancia utilizaremos como coagulante. La selección la haremos entre 3 alternativas: El sulfato de Aluminio, Sulfato férrico y Sulfato Manganoso, a través de las pruebas de dosificación óptima, determinando la eficiencia remocional en cada caso.

Las características del efluente se indican a continuación para cada prueba, en la Tabla 34.

**Tabla 34. Características del efluente final de la industria de curtiembre.**

PH	8,506
Turbiedad (NTU)	720
Temperatura	20°C
Alcalinidad como (caco <sub>3</sub> ) (mg/L)	300
Dureza (mg/L)	456
Cromo (mg/L)	55,45
Sulfuro (mg/L)	396
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	5595,4
Aceites y grasas (mg/L)	640
Sólidos sedimentables suspendidos (mL/L/h)	20

**8.2.1.1.1 Utilización del sulfato de Aluminio.-** Realizada las pruebas de jarras, según la sección 8.2, los resultados que se obtuvieron al utilizar diferentes dosis de sulfato de Aluminio se muestran en la tabla 35.

**Tabla 35. Resultados de la prueba de jarras para la dosis óptima de Sulfato de Aluminio**

Vaso	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	100	200	300	400	500	600
Turbiedad final (T <sub>f</sub> )	14,5	9,39	7,39	5,37	2,06	2,61
pH <sub>f</sub>	8,60	8,35	8,24	8,08	7,79	7,96
% T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	2,01	1,30	1,02	0,74	0,28	0,36
% Er	97,98	98,69	98,97	99,25	99,71	99,63

Donde:

$T_o$  : turbiedad inicial del efluente

$T_f$  : turbiedad de la muestra final

$\% T_f/T_o$  : porcentaje de turbiedad residual =  $100 (T_f/T_o)$

$\% Er$  : porcentaje de eficiencia remosional =  $100 (1-T_f/T_o)$

**Dosis óptima de Sulfato de Aluminio = 500 mg/L**

**8.2.1.1.2 Utilización del Sulfato ferroso.-** Procediendo análogamente, al realizarse las pruebas de jarras, se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 36.

**Tabla 36. Resultado de la prueba de jarras para dosis óptima de Sulfato Ferroso**

Vaso	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	100	200	300	400	500	600
Turbiedad final ( $T_f$ )	67,1	89,5	280	334	563	573
pH <sub>f</sub>	7,93	7,73	7,53	7,56	7,52	7,41
$\% T_f/T_o$	9,31	12,43	38,88	46,38	78,19	79,58
$\% Er$	90,68	87,56	61,11	53,61	21,80	20,41

**Nota:** Se experimentó con este coagulante, pero los resultados no fueron satisfactorios. No se produjo la coagulación - floculación y posterior sedimentación como se esperaba, dando por el contrario, una coloración negra permanente a toda la solución, color característico del sulfuro de hierro.

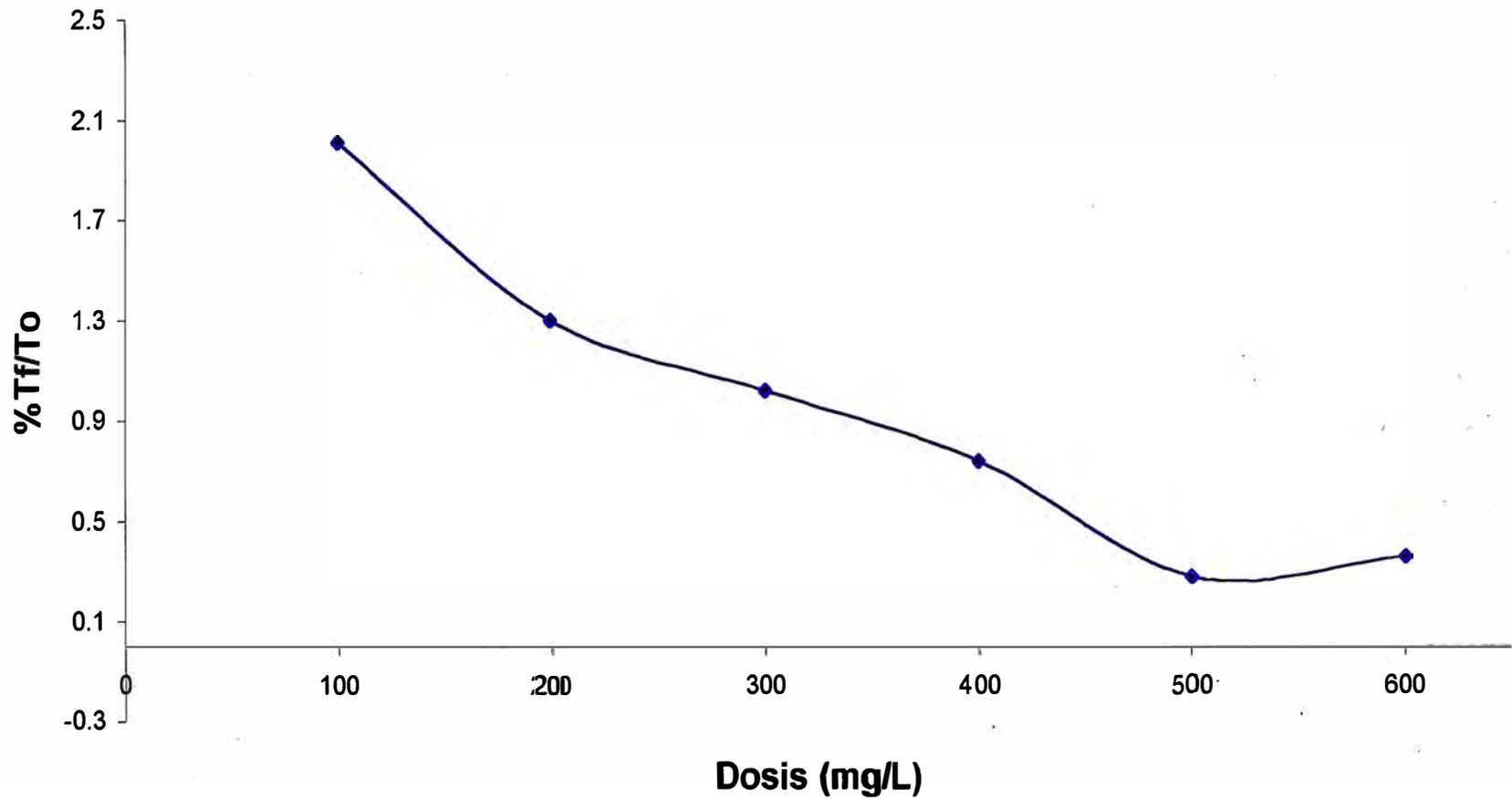
**8.2.1.1.3 Utilización del Sulfato Manganoso.-** De la misma manera, obtenemos la tabla 37.

**Tabla 37. Resultado de la prueba de jarras para dosis óptima de Sulfato Manganoso**

<b>Vaso</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis (mg/L)	100	200	300	400	500	600
Turbiedad final (T <sub>f</sub> )	74	73,9	73,5	67,8	69,5	69,8
pH <sub>f</sub>	8,09	8,08	8,06	8,03	8,02	8,00
% T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	10,27	10,26	10,20	9,42	9,65	9,69
% Er	89,72	89,74	89,79	90,58	90,35	90,30

**Dosis óptima de Sulfato Manganoso = 400 mg/L**

**Fig. 18 % TURBIEDAD RESIDUAL vs DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO**



**8.2.1.1.4 Selección del Coagulante.-** El coagulante seleccionado es el Sulfato de Aluminio, por las siguientes razones:

\*Según las tablas observamos que el porcentaje de turbiedad residual más bajo se logra con de Sulfato de Aluminio. Con una eficiencia remocional de 99.71%.

\*Además, el factor costo de coagulante resulta determinante.

El costo de sulfato de Aluminio se mantiene, en promedio a la mitad del costo de sulfato Manganoso.

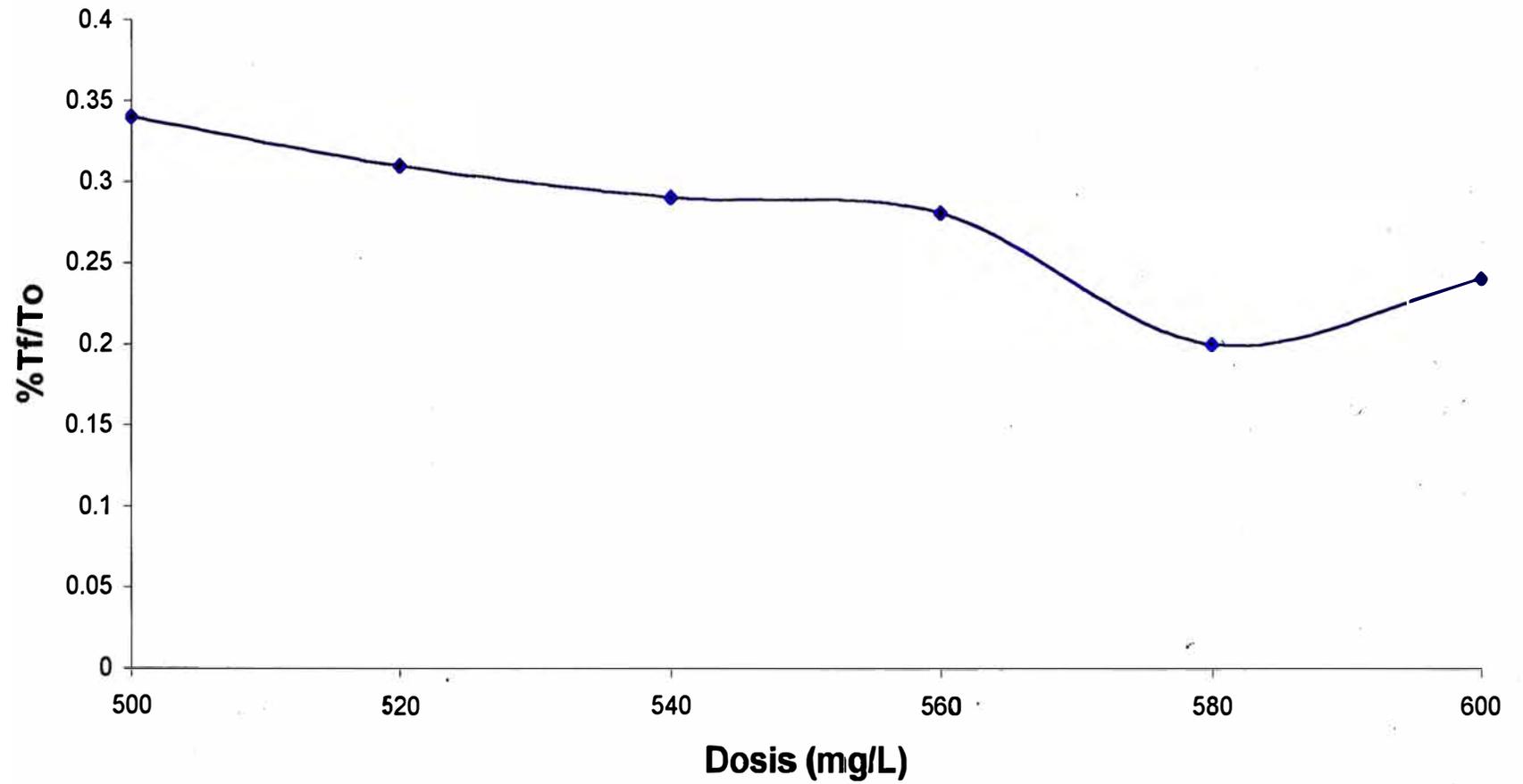
\*El sulfato de Aluminio es de uso común y posee mayor ventajas en su manejo.

**Tabla 38. Resultados de la prueba de jarras para dosis ( 500 ppm - 600 ppm) de sulfato de aluminio.**

Vaso	1	2	3	4	5	6
Dosis (mg/L)	500	520	540	560	580	600
Turbiedad final ( $T_f$ )	2,48	2,21	2,12	2,01	1,45	1,75
pH <sub>f</sub>	7,95	7,87	7,86	7,78	7,72	7,69
% $T_f/T_o$	0,34	0,31	0,29	0,28	0,20	0,24
% Er	99,65	99,69	99,70	99,72	99,80	99,75

**Dosis óptima de Sulfato de Aluminio = 580 mg/L**

**Fig. 19 % TURBIEDAD RESIDUAL vs DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO**



**8.2.1.2 Determinación de la concentración óptima del coagulante.-** El objetivo de esta prueba es determinar la concentración de la solución de sulfato de Aluminio que nos otorgue los mejores resultados al utilizarla como coagulante. A partir de una solución patrón de 10% se preparan soluciones al 8%, 6%, 5% y 4%, de modo de obtener una dosis de 580 mg/L (dosis óptima) para cada muestra.

Se tomó la muestra de efluente en cinco vasos de 2 litros procediendo a realizar la prueba de jarras con las cinco muestras como se establece en la sección 8.2.

Según la curva de % de turbiedad residual vs concentración de sulfato de aluminio, se obtiene la concentración óptima.

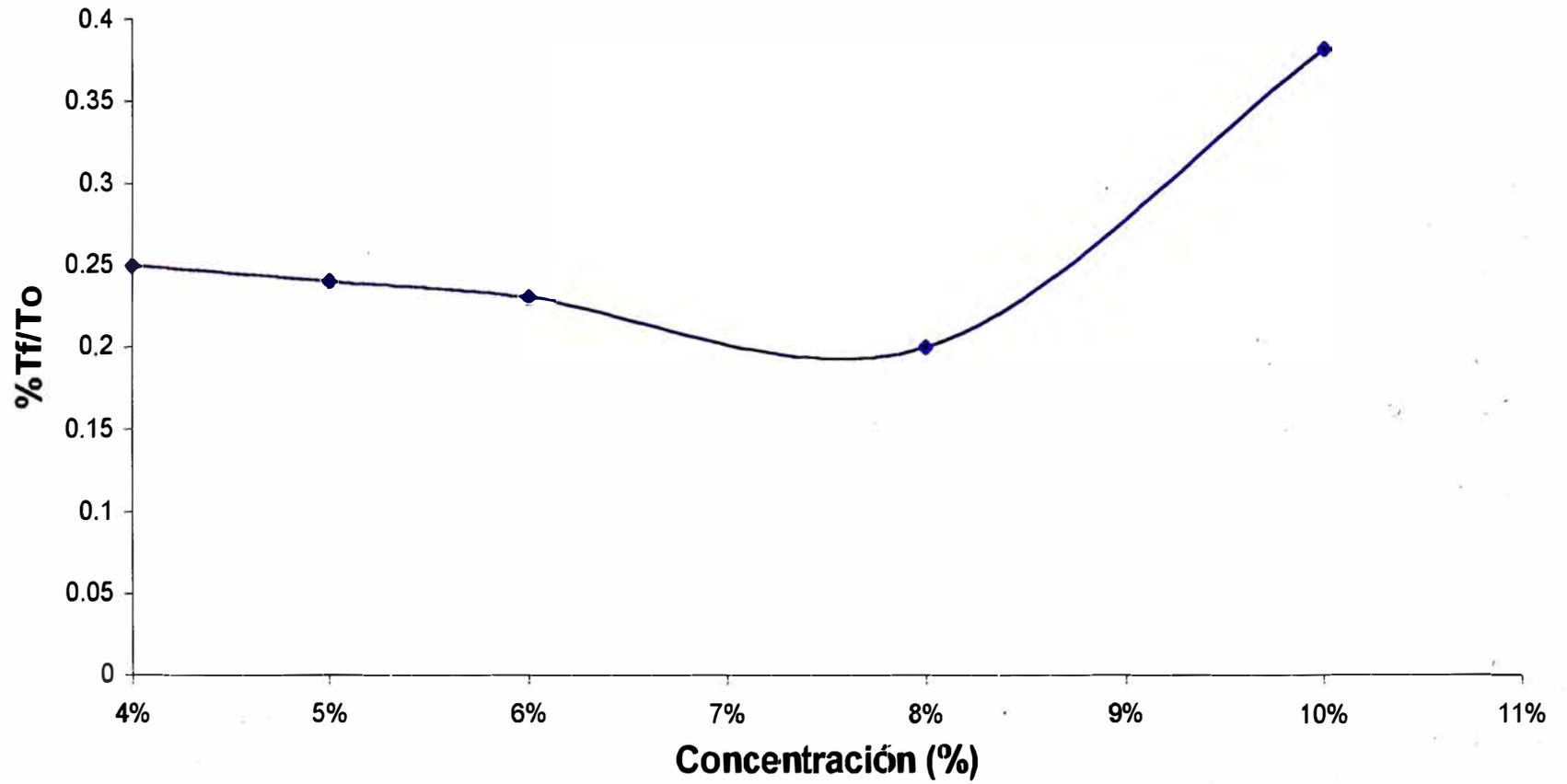
**Tabla 39. Resultado de la prueba de jarras para la concentración óptima de sulfato de Aluminio**

<b>Vaso</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Concentración	10%	8%	6%	5%	4%
Turbiedad final ( $T_f$ )	2,74	1,47	1,71	1,79	1,82
pH <sub>f</sub>	7,60	7,80	7,14	7,03	6,66
% $T_f/T_o$	0,38	0,20	0,23	0,24	0,25
% Er	99,61	99,80	99,76	99,75	99,74

Graficando estos valores obtenemos la figura 20.

**Concentración óptima de Sulfato de Aluminio = 8%**

**Fig. 20 CONCENTRACION OPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO**



**8.2.1.3 Determinación del pH óptimo.-** El objetivo de esta prueba es determinar el pH óptimo de la muestra de efluente. Se ha tomado 6 vasos de 2 litros con muestras de efluente, titulándose respectivamente con  $H_2SO_4$  o NaOH, de modo de condicionar un pH de 7, 7.5, 8, 9, 10 en los vasos 1, 2, 3, 5, 6 respectivamente. El vaso 4 se mantiene con el pH de la muestra (8.5).

**Tabla 40. Resultado de la prueba de jarras para pH óptimo con el uso de sulfato de Aluminio.**

Vaso	1	2	3	4 *	5	6
pHi	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
pH <sub>f</sub>	6,54	7,02	7,39	7,64	7,92	9,03
T <sub>f</sub>	6,58	6,48	2,76	2,09	3,38	3,51
% T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	0,91	0,90	0,38	0,29	0,47	0,49
% Er	99,08	99,10	99,61	99,71	99,53	99,51

Donde:

pHi = pH inicial de la muestra acondicionada

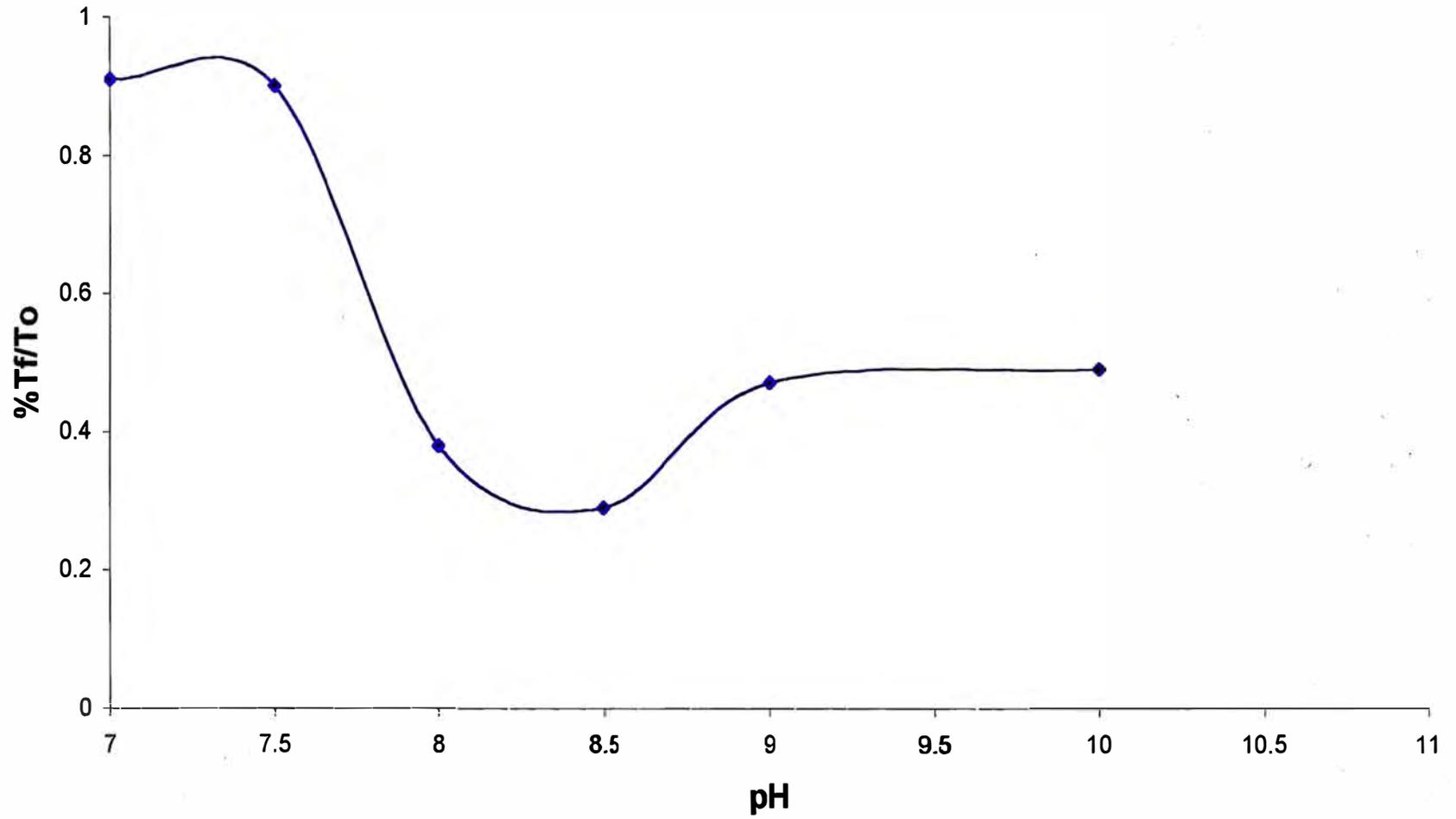
pH<sub>f</sub> = pH final de la muestra

\* = muestra sin acondicionar el pH

Los resultados muestran que no es necesario usar acondicionadores de pH para lograr una mayor eficiencia en la clarificación del efluente.

**pH óptimo de Sulfato de Aluminio = 8,5**

**Fig. 21 pH OPTIMO DE SULFATO DE ALUMINIO**



### **8.2.2 Pruebas de Laboratorio para la determinación de los parámetros óptimos de floculación.**

El propósito de este ensayo es la determinación de los parámetros óptimos de floculación “G” (gradiente de velocidad) y “t” (tiempo de floculación), con los parámetros óptimos de coagulación con sulfato de aluminio determinados en la sección 8.2.1.

Dosis óptima 580 mg/L; Concentración óptima 8%; pH óptimo 8,5.

Siguiendo con los ensayos experimentales en las pruebas de jarras a las muestras del efluente.

Al finalizar la mezcla rápida se inicia el proceso de floculación, primero para un gradiente de  $20 \text{ s}^{-1}$ , variándose los tiempos de floculación en 5, 10, 15, 20, 25, y 30 minutos para el vaso 1, 2, 3, 4, 5, y 6 respectivamente. Luego de la decantación por 20 min. Se mide la turbiedad final de cada vaso. El proceso se repite para un gradiente de 50 luego para 110 y 175. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 41.

**Tabla 41. Resultados de la prueba de jarras para la determinación de los Parámetros óptimos de floculación.**

V (RPM)	G (S <sup>-1</sup> )	Tiempo de Floculación											
		Vaso 1		Vaso 2		Vaso 3		Vaso 4		Vaso 5		Vaso 6	
		t= 5 min.		t= 10 min.		t= 15 min.		t= 20 min.		t= 25 min.		t= 30 min.	
		T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>
20	20	9,72	0,0135	5,64	0,0078	4,88	0,0067	6,60	0,0091	3,43	0,0047	4,88	0,0067
40	50	8,16	0,0113	2,53	0,0035	4,56	0,0063	5,86	0,0081	3,02	0,0041	5,49	0,0076
70	110	3,43	0,0047	2,91	0,0040	6,36	0,0088	7,51	0,0104	6,16	0,0085	6,44	0,0089
100	175	3,27	0,0045	3,06	0,0042	6,39	0,0089	6,09	0,0084	6,55	0,0091	8,31	0,0115

Donde :

V = Velocidad de floculación para la muestra que permita alcanzar el Gradiente “G”

G = Gradiente de velocidad

T<sub>o</sub> = Turbiedad de la muestra

T<sub>f</sub> = Turbiedad de la muestra al final de la prueba.

Con estos resultados, la Fig. 22 muestra las curvas de turbiedad residual vs los períodos de floculación para cada gradiente. El punto más bajo de turbiedad residual determina el tiempo óptimo de floculación.

**Tiempo óptimo de floculación – 10 minutos**

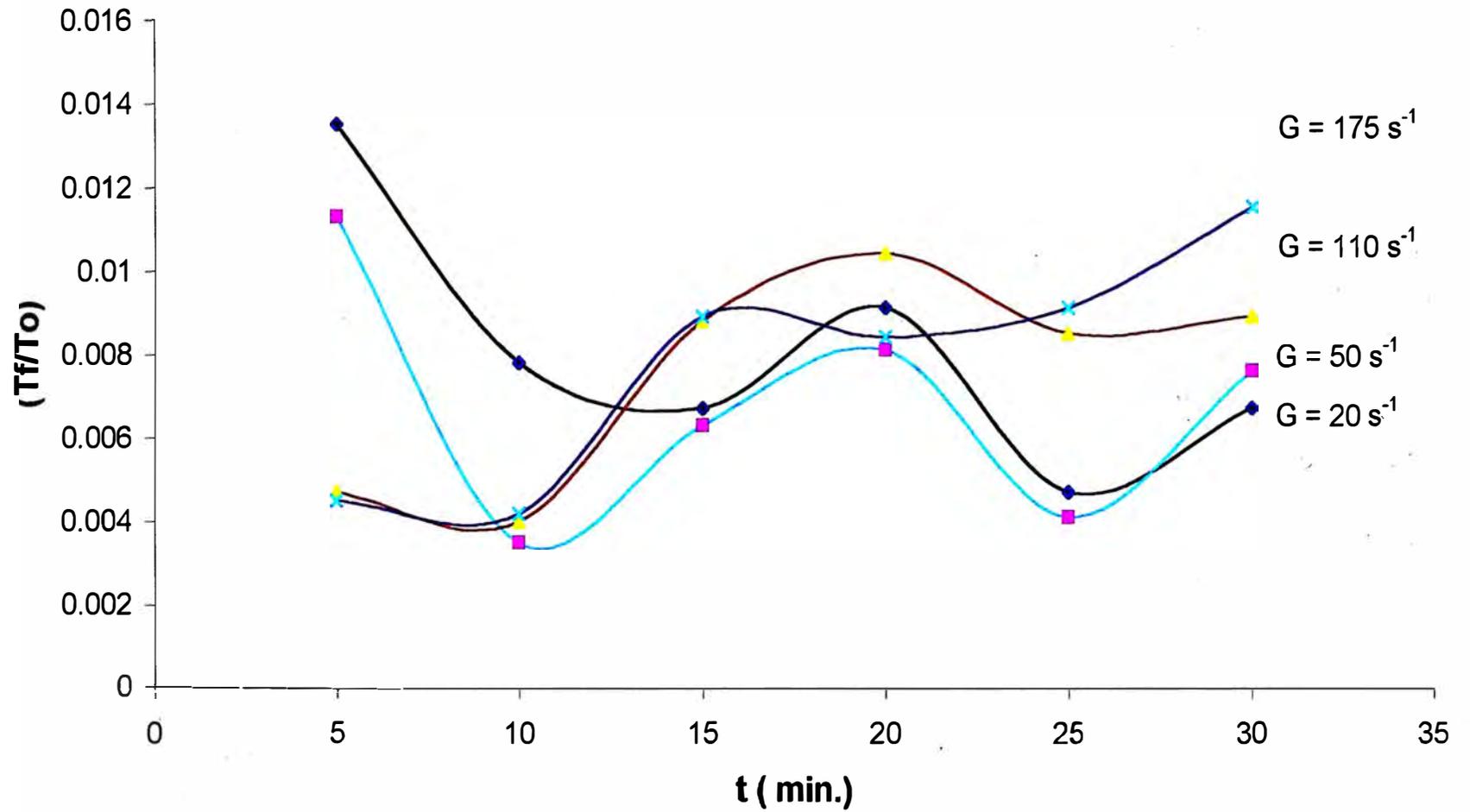
De igual modo la Fig. 23 muestra las curvas de turbiedad residual vs gradiente de velocidad para cada tiempo de floculación. Tabla 42 muestra las coordenadas de los puntos más bajos de turbiedad residual de cada curva o valores críticos de los parámetros de floculación.

**Tabla 42. Valores críticos de los parámetros de floculación.**

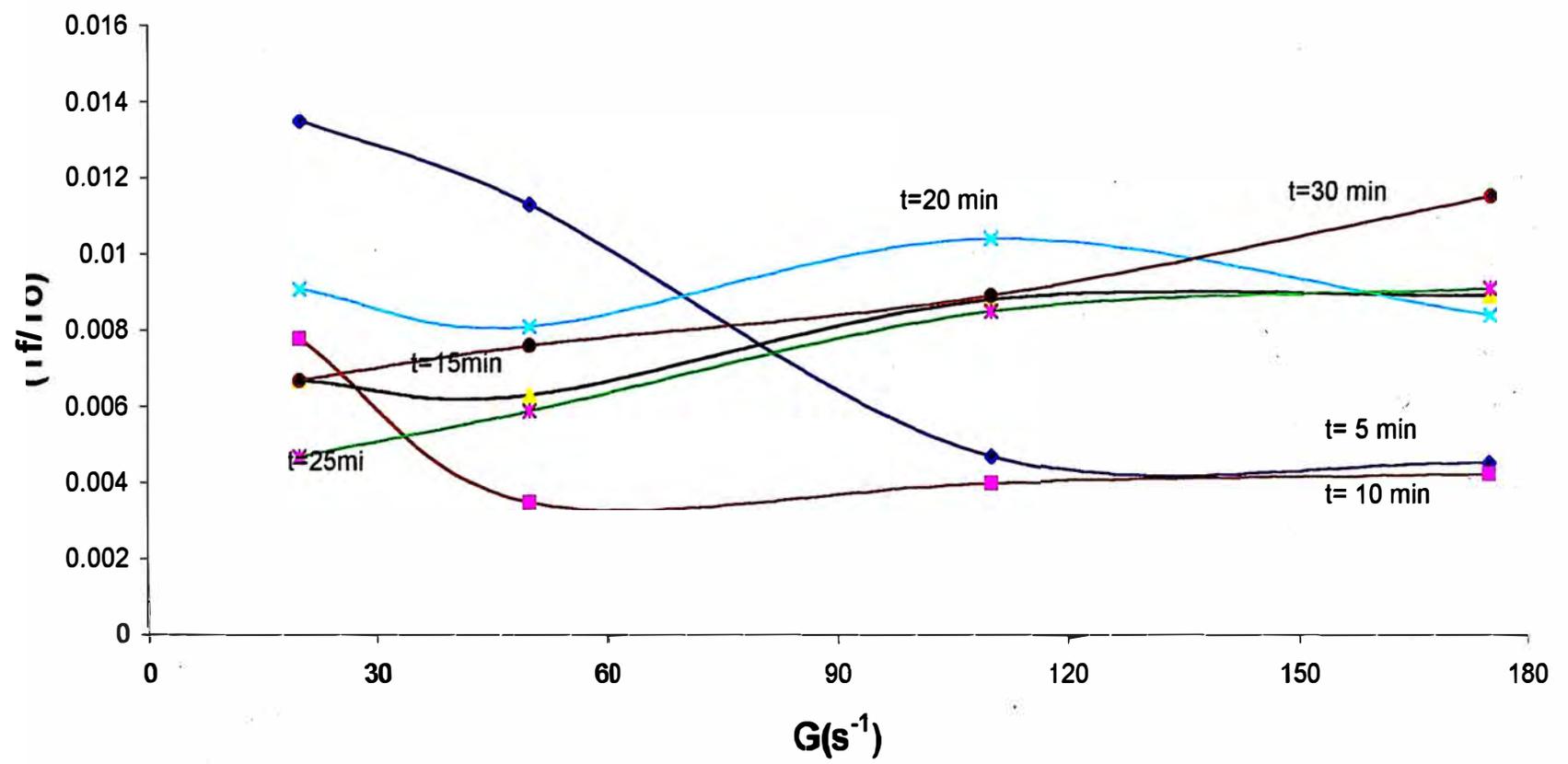
T (min.)	5	10	15	20	25	30
G (s <sup>-1</sup> )	135	63	42	40	38	20

La Tabla 43, muestra la aplicación de la teoría de los mínimos cuadrados a la ecuación de una recta  $y = a + bx$  para dichos puntos.

**Fig 22 TURBIEDAD RESIDUAL vs TIEMPO DE RETENCION**



**Fig. 23 TURBIEDAD RESIDUAL VS GRADIENTE DE VELOCIDAD**



**Tabla 43. Aplicación de la teoría de los mínimos cuadrados a los puntos críticos de los parámetros de floculación.**

G (s <sup>-1</sup> )	t (min.)	Y =log G	X =log t	Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY
135	5	2,130	0,698	4,536	0,487	1,486
63	10	1,799	1,000	3,236	1,000	1,799
42	15	1,623	1,176	2,634	1,382	1,908
40	20	1,602	1,301	2,566	1,692	2,084
38	25	1,579	1,397	2,493	1,951	2,205
20	30	1,301	1,477	1,692	2,181	1,921
Σ		10,034	7,049	17,157	8,693	11,403

N= 6 (Numero de muestras)

$$a = \frac{\Sigma X^2 \Sigma Y - \Sigma X \Sigma XY}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

$$b = \frac{N \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

$$r = \frac{N \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{[N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2] [N \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}}$$

Reemplazando obtenemos  $Y = a + bX$

$$\log G = a + b \log t$$

$$a = 2,772$$

$$b = -0,936$$

$$r = 0,978$$

Resolviendo

$$G = 10^{2,772} / t^{0,936}$$

De donde se obtiene los siguientes puntos:

**Tabla 44. Valores críticos corregidos de los parámetros de floculación**

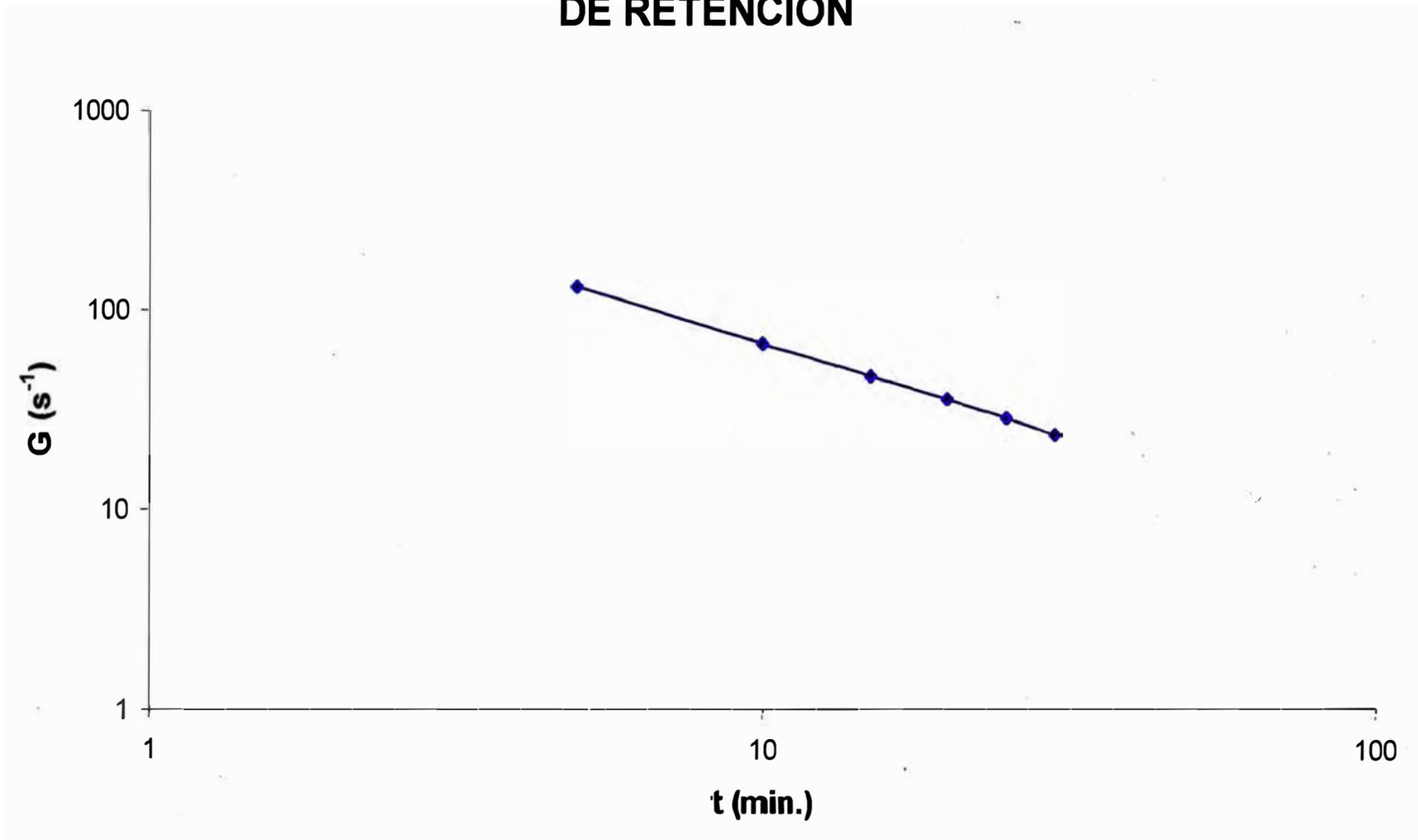
t (min.)	5	10	15	20	25	30
G (s <sup>-1</sup> )	131	68	47	36	29	24

Se selecciona 2 tramos para el floculador. Como el tiempo óptimo de floculación es de 10 minutos, se obtiene 5 minutos para cada tramo obteniendo así los parámetros de diseño indicados en la Tabla 45.

**Tabla 45. Parámetros óptimos de la unidad de floculación**

Tramo	Tiempo de retención		G (s <sup>-1</sup> )
	Parcial	Total	
1	5	5	131
2	5	10	68

**Fig. 24 RECTA DE GRADIENTE DE VELOCIDAD vs TIEMPO DE RETENCION**



### **8.2.3 Pruebas de Laboratorio para la determinación de los parámetros de decantación.**

El objetivo de estas pruebas es determinar la velocidad de sedimentación, la tasa de diseño y la eficiencia de remoción de un sedimentador laminar de placas planas en condiciones ideales.

Para el efecto, se llenan 2 vasos con el agua a flocular. Se toma un vaso de 2 litros y se enciende el equipo de prueba de jarras. Se agrega 580 mg/L de sulfato de aluminio (dosis óptima) a partir de una concentración del 8% (concentración óptima), realizando la mezcla rápida a 300 rpm durante 5 segundos. Concluido los cinco segundos se inicia la floculación con los parámetros pre-seleccionados, es decir gradientes de 131 y 68 para los tiempos respectivos de 5 y 10 minutos. Terminada la floculación se detiene el equipo y colocamos flotadores para tomar muestras a 6 cm de profundidad para lo cual se fijan a esta altura los tubos de succión de los flotadores.

Las muestras se tomaron para tiempos de sedimentación de 60, 120, 180, 240, 300, 600, 900, 1200 segundos, determinándose en cada caso la turbiedad final. Luego de un período de decantación de 30 minutos se traslado, suavemente el sobrenadante en una probeta para medir la cantidad de lodos producidos. Los resultados se muestran en la Tabla 46.

**Tabla 46. Resultado de la prueba de jarras para la determinación de los parámetros óptimos de decantación.**

Ts (seg)	Vs (cm/s)	Turbiedad (NTU)				T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>
		To	Vaso 1	Vaso 2	Promedio	
60	0,1	720	47,0	46,5	46,75	0,0649
120	0,050	720	14,4	14,0	14,20	0,0197
180	0,033	720	11,3	11,2	11,25	0,0156
240	0,025	720	8,97	8,40	8,69	0,0121
300	0,020	720	6,44	6,38	6,41	0,0089
600	0,010	720	5,61	5,50	5,56	0,0077
900	0,006	720	5,19	5,12	5,16	0,0072
1200	0,005	720	5,18	5,10	5,14	0,0071

Nota :  $V_s = H/t$  ,  $H = 6$  cm.

Donde :

T<sub>s</sub> = tiempo de sedimentación

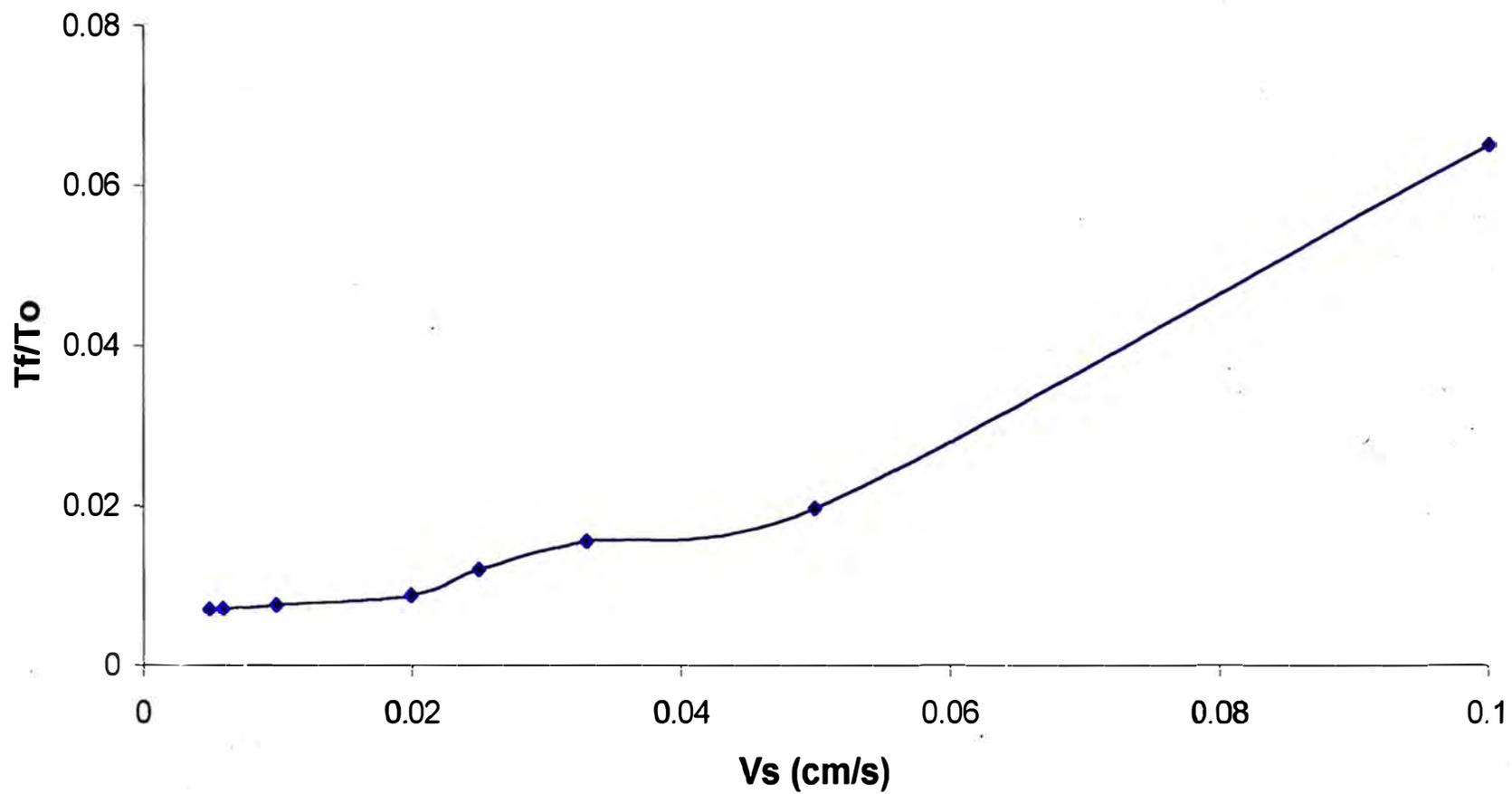
V<sub>s</sub> = Velocidad de sedimentación

T<sub>f</sub>/T<sub>o</sub> = Turbiedad residual

De donde podemos ver que la turbiedad residual más baja (0,0071) se logra con una velocidad de sedimentación de 0,005 cm/s, pero con un tiempo de sedimentación muy largo de 1200 segundos.

Mientras que  $V_s = 0,02$  cm/s, se logra casi la misma turbiedad residual y para un tiempo de sedimentación mucho más razonable (300 s). Esta turbiedad residual determina una eficiencia de remoción de turbiedad de 99,11%.

**Fig. 25 VELOCIDAD DE SEDIMENTACION vs TURBIEDAD RESIDUAL**



El análisis químico del efluente tratado se muestra en la Tabla 47.

**Tabla 47. Remoción de los factores contaminantes del efluente tratado en la curtiembre.**

<b>Parámetro</b>	<b>Efluente sin tratar</b>	<b>Efluente tratado</b>	<b>Remoción (%)</b>
pH	8,5	7,78	
Turbiedad (NTU)	720	6,41	99,11
Cromo (mg/L)	55,45	2,60	95,31
Sulfuro (mg/L)	396	2,78	
DBO5 (mg/L)	5595,4	498,7	91,09
Aceites (mg/L)	640	20	96,87

### 8.3 INVESTIGACION A NIVEL PLANTA PILOTO

Se realizarán las pruebas a nivel piloto, con los parámetros obtenidos a nivel laboratorio.

- Volumen de muestra : 15 L
- Parámetros Optimos de Coagulación
  - Mezcla Rápida : 300 rpm
  - Tiempo : 5 s
  - Coagulante : Sulfato de Aluminio
  - Dosis Optima : 580 mg/L
  - Concentración Optima : 8%
  - pH Optimo : 8,5
- Parámetros Optimos de Floculación:
  - Tiempo Optimo : 10 min.
  - Número de tramos : 2
  - Tramo 1:
    - Tiempo : 5 min.
    - Agitación : 75 rpm
  - Tramo 2
    - Tiempo : 5 min.
    - Agitación : 48 rpm
- Parámetros Optimo de Decantación:
  - Tiempo : 2 min.

**Tabla 48. Resultados de la Prueba Piloto**

<b>Parámetro</b>	<b>Corrida 1</b>	<b>Corrida 2</b>	<b>Corrido 3</b>
Volumen Lodo (L)	2,50	2,50	2,30
Ph	7,877	7,819	7,824
Turbiedad (NTU)	7,81	8,40	8,82
Cromo (mg/L)	2,70	2,74	2,84
Sulfuro (mg/L)	2,84	2,92	3,00
DBO5 (mg/L)	498,5	498,5	500,1
Aceites (mg/L)	25,0	28,0	30,0

## **9.- DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS EFLUENTES FINALES DE DESCARGA**

## 9.- DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LOS EFLUENTES FINALES DE DESCARGA.

### 9.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

Antes de empezar a diseñar los equipos, se determina el requerimiento o consumo de agua para procesar 60 125,00 Kg de piel cruda por mes para la producción del cuero.

**Tabla 49. Requerimiento de agua para una producción máxima de 24 000 pies<sup>2</sup> de cuero y 24 000 kg. de suela.**

Sección	Tasas de Consumo	Requerimiento de piel cruda	Producción máx.	Consumo (m <sup>3</sup> )
REPELO	29,50 L/kg.	60 125,00 kg.		1 774,00
CURTIDO CROMO	16,60 L/pie <sup>2</sup>		24 000,00 pie <sup>2</sup>	397,00
CURTIDO VEGETAL	82,60 L/kg.		24 000,00 kg.	1 983,00
				4 164,00

El consumo de agua máxima en la producción de cueros es 4 164,00 m<sup>3</sup> por mes, considerando 26 días de trabajo por mes tenemos:

$$Q = 160 \text{ m}^3/\text{día.}$$

Considerando 10% de seguridad

$$Q = 180 \text{ m}^3/\text{día.}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal en m}^3/\text{día.}$$

Establecido los parámetros químicos de la coagulación, se procede a desarrollar el diseño de los sistemas de tratamiento.

## **9.2 DESCRIPCIÓN DE UNIDADES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO:**

El tratamiento seleccionado para la minimización de los parámetros contaminantes, consiste en un proceso químico, el cual ha sido seleccionado en base de la disponibilidad del área. Los residuos líquidos provenientes de los diferentes procesos industriales, serán dirigidos por medio de canaleta hacia la planta de tratamiento.

Para mantener características uniformes de los efluentes se ha diseñado tanques de igualación. El efluente de este tanque es bombeado en forma uniforme y constante hacia un desengrasador el cual permitirá eliminar las grasas para un mejor tratamiento en el proceso posterior. Seguidamente el efluente es conducido hacia una unidad de mezcla rápida conformada por un floculador y un sedimentador. De esta manera se logrará obtener un efluente con características aceptables según como se estipula en el reglamento de desagües industriales aprobada por D. S. N° 2860, y a la vez también cumplirá con los límites máximos permisibles del sector industria manufacturera curtiembre (Resolución Presidencial N° 025-99 del CONAM).

### **TANQUE DE IGUALACIÓN.**

Esta unidad se hace necesario en el sistema de tratamiento, porque las descargas del agua residual a lo largo del día, varían según el proceso que se este llevando a cabo. Este tanque no solamente permitirá regularizar el caudal, sino que también logrará uniformizar la carga orgánica, teniéndose de esta forma los desagües aptos para los tratamientos continuos y evitando sobrecargas en el sistema. Así

mismo se permitirá la homogenización de los efluentes ácidos y alcalinos, provocando la neutralización.

### **DESENGRASADOR**

Los separadores de grasas se basan en la eliminación de todos los glóbulos de aceite o grasa mayores de 0,015 cm, basado en la diferencia de densidades.

La velocidad de ascensión de las partículas se rige por las relaciones de Stokes idealizadas para formas esferoidales.

### **MEZCLADOR**

Esta unidad ha sido diseñada con el propósito de mezclar el coagulante químico con el agua residual o efluente.

### **FLOCULADOR**

EL propósito de esta unidad es el de agitar lentamente el agua para proporcionar el crecimiento de los flóculos. Para tal fin se ha seleccionado un floculador hidráulico, con tabiques horizontales, en donde el recorrido del agua será en forma de serpentín.

El tanque estará conformada por dos sectores, en donde la gradiente en cada una de ellas irá disminuyendo en la dirección del flujo.

### **SEDIMENTADOR**

La gran cantidad de sólidos sedimentables presentes en el efluente hace necesario la instalación de un sedimentador, el cual permitirá remover del efluente no solamente aquella fracción de sólidos que es sedimentable, sino también removerá, en menor grado, la carga orgánica asociada.

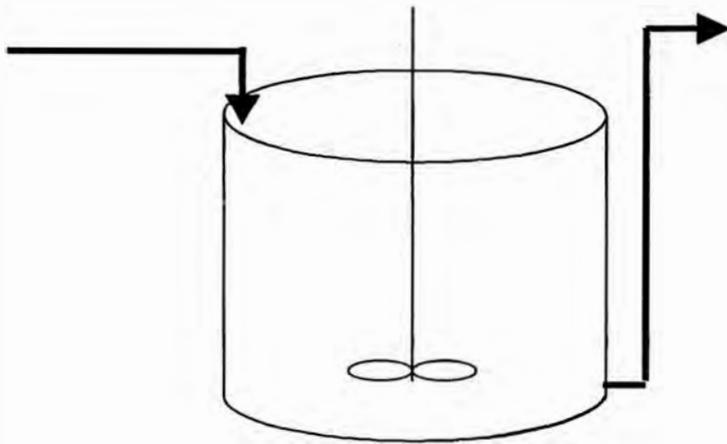
El objetivo de esta unidad es el de remover los flóculos ya formados. Con la finalidad de no romper los flocs formados, el ingreso del agua será a través de tabiques difusores.

Los lodos serán extraídos por medio de una bomba, el cual será enviado a un lecho de secado.

### 9.3 DISEÑO DE EQUIPOS:

#### TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Este tanque tendrá un sistema de agitación para poner en suspensión partículas sólidas. El fondo del tanque será redondo con el fin de eliminar los bordes rectos.



**Fig. 26 Tanque de almacenamiento**

#### Calculo de la altura y el diámetro del tanque

En un tanque ideal la altura es aproximadamente igual al diámetro del tanque.

$$V = \frac{\pi * D^2 H}{4} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

V = Volumen del tanque

D = Diámetro del tanque

H = Altura del tanque

Para: D = H

$$V = 180 \text{ m}^3$$

Reemplazando en (1)

$$180 = \frac{\pi * H^3}{4}$$

$$H = 6,1 \text{ m. considerar } H = 6,5 \text{ m.}$$

Reemplazando en (1)

$$D = 5,94 \text{ m} = 6,0 \text{ m}$$

### Calculo del diámetro de la paleta

$$2,7 < D/D_p < 3,3 \quad (\text{Según bibliografía 2})$$

Donde:

D = Diámetro del tanque

D<sub>p</sub> = Diámetro de la paleta

Asumiendo: D/D<sub>p</sub> = 3

$$D_p = 2 \text{ m}$$

### Calculo de la potencia del motor de agitación

Para equipos de mezcla se cumple:

$$\sqrt{\frac{P}{\mu V}} = G \quad \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

G= Gradiente de velocidad (s<sup>-1</sup>)

P= Potencia necesaria (W)

μ= Viscosidad dinámica (N.s/m<sup>2</sup>)

V= Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

La fuerza de roce originada por el movimiento del líquido es igual a:

$$Fr = \frac{C_D A \rho (V_p - V_L)^2}{2} \dots\dots(3) \text{ (Según bibliografía 6)}$$

Donde:

$Fr$  = Fuerza de resistencia al avance de las paletas

$C_D$  = Coeficiente

$A$  = Area transversal de la paleta

$V_p$  = Velocidad de rotación de las paletas

$V_L$  = Velocidad de rotación del líquido

$\rho$  = densidad del líquido

Además:

$$P = Fr (V_p - V_L) \dots\dots\dots(4) \text{ (Según bibliografía 6)}$$

Donde:

$P$  = Potencia necesaria para mezcladores de paletas.

Reemplazando la ecuación 3 en la ecuación 4 tenemos:

$$P = \frac{C_D A \rho (V_p - V_L)^3}{2}$$

$$\frac{P}{V} = \frac{C_D A \rho (V_p - V_L)^3}{2V}$$

Reemplazando en (2)

$$G^2 = \frac{P}{\mu V} = \frac{C_D A \rho (V_p - V_L)^3}{2\mu V}$$

$$\sqrt{\frac{C_D A \rho (V_p - V_L)^3}{2\mu V}}$$

Donde:

$$V_p = 2\pi r n \quad n \text{ es el número de revoluciones}$$

$$V_L = k V_p$$

$$V_p - V_L = 2\pi r n - 2\pi r n k = 2\pi r n (1-k)$$

$$G = \sqrt{\frac{C_D A \rho (2\pi r n (1-k))^3}{2\mu V}}$$

$$G = \sqrt{\frac{C_D A \rho 2^3 \pi^3 r^3 n^3 (1-k)^3}{2\mu V}}$$

Una vez que se establece el equilibrio  $k$  varia entre 0,24 y 0,32. Se sugiere un valor de  $k = 0,25$

$$G = \sqrt{\frac{C_D \rho 2^3 \pi^3 (1-k)^3}{2}} * \sqrt{\frac{A r^3 n^3}{\mu V}}$$

$$G = \sqrt{\frac{C_D \rho 2^3 \pi^3 (0,75)^3}{2}} * \sqrt{\frac{A r^3 n^3}{\mu V}}$$

Paras secciones rectangulares que se desplazan en el agua, el valor de  $C_D$  pude estimarse en 1,20

$$\text{Si: } C_D = 1,20 \quad \frac{L}{a} = 5, \quad \text{cuando } N_{Re} > 1\,000$$

Donde:

$L$  = Longitud de la paleta

$a$  = Ancho de la paleta

$N_{Re}$  = Número de Reynolds

Reemplazando:

$$a = 0,4$$

$$A = 2 (0,4 * 2) = 1,6$$

$$G = \sqrt{\frac{1,2 * 1000 * (2\pi * 0,75)^3}{2}} * \sqrt{\frac{n^3 * 1,6 * (1)^3}{(1,14 * (10)^{-3} * 180)}}$$

$$G = \sqrt{62\,787,71} * \sqrt{7,8 n^3} = 223,43 \sqrt{n^3}$$

Reemplazando en (5) tenemos:

(r p m)	N (r p s)	G (s <sup>-1</sup> )
18	0,30	36,71
24	0,40	56,52
30	0,50	79,00
36	0,60	103,84
42	0,70	130,85
48	0,80	161,30
54	0,90	190,76
60	1,00	223,43

Cuando  $n \leq 37$  RPM, se necesita un motor reductor.

$$N = 0,8 * 60 = 48 \text{ rpm} \quad G = 161,30 \text{ s}^{-1}$$

$$P = G^2 \mu V$$

$$P = (161,30 \text{ s}^{-1}) * (1,14 * 10^{-3}) * (180)$$

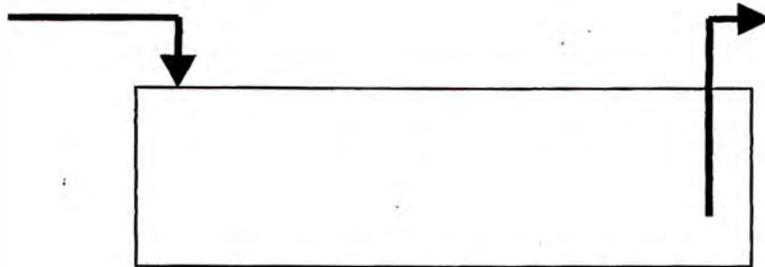
$$P = 5\,338,829 \text{ W} = 7,17 \text{ HP}$$

Para un punto óptimo de rendimiento hidráulico 80%

$$P = \frac{7,17}{0,8} = 9 \text{ HP}$$

$$0,8$$

## DISEÑO DEL DESENGRASADOR



**Fig. 27 Desengrasador**

Tiempo de tratamiento = 5 h

$$Q = \frac{180 \text{ m}^3}{5\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

El desengrasador se va a diseñar para la eliminación de glóbulos de aceites y grasas mayores a 0,015 cm. (Según bibliografía 3)

Para régimen laminar en el desengrasador el número de Reynolds debe ser inferior a 0,5, la velocidad ascensorial de la partícula está dada:

$$V_{as} = \frac{g D^2 (\rho_w - \rho_o)}{18 \mu C_v} \dots\dots(6) \quad (\text{Según bibliografía 4})$$

Donde:

$V_{as}$  = Velocidad ascensorial (cm/min)

$\rho_w$  = Peso específico del agua

$\rho_o$  = Peso específico de la grasa o aceite

$D$  = Diámetro del glóbulo de aceite

$C_v$  = Coeficiente de deformación, puede darse el valor de 1,0

$\mu$  = Viscosidad dinámica en g/cm.s

$\rho_w = 0,999 \text{ g/cm}^3$  (15°C)

$\mu = 0,0114 \text{ g/cm.s}$

$P_o = 0,94 \text{ g/cm}^3$

$$V_{as} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 * 0,015^2 * (0,999 - 0,94) \text{ g/cm}^3}{18 * 0,0114 \text{ g/cm.s} * 1,0}$$

$$V_{as} = 6,32 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

Según la American Petroleum Institute, puede definirse la sección mínima necesaria del desengrasador por la fórmula:

$$A_H = \frac{F Q_m}{V_{as}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

$A_H$  = Superficie mínima (m<sup>2</sup>)

$V_{as} = 6,32 * 10^{-4} \text{ m/s}$

$F = F_1 * F_2$

Siendo:

$F_1 = 1,2$  factor para compensar corto circuito

$F_2$  para compensar turbulencia se obtiene de tablas

$V_H = 15 V_{as} < 0,9 \text{ m/min}$

$V_{as} = 6,32 * 10^{-4} \text{ m/s}$

$V_H = 15 * 6,23 * 10^{-4} \text{ m/s}$

$V_H = 0,00948 \text{ m/s} = 0,5688 \text{ m/min} \leq 0,9 \text{ m/min}$

$V_H/V_{as} = 15 \quad \longrightarrow \quad F_2 = 1,37$  (Tablas)

$$F = F1 * F2$$

$$F = 1,2 * 1,37$$

$$F = 1,644$$

$$A_H = \frac{1,644 * 0,01 \text{m}^3}{6,32 * 10^{-4} \text{m/s}}$$

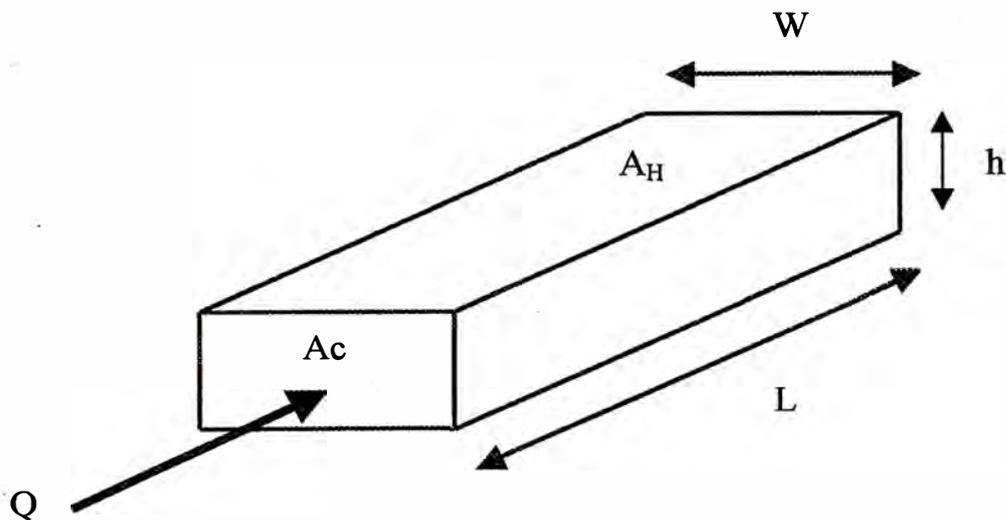
$$A_H = 26 \text{m}^2$$

$$A_C = \frac{Q}{V_H}$$

$$A_C = \frac{0,01 \text{m}^3/\text{s}}{0,00948 \text{m/s}} = 1,054 \text{m}^2$$

$$A_C = W * h$$

$$A_H = W * L$$



Si :

$$\frac{h}{W} = 0,5$$

$$h = 0,5 * W$$

$$A_C = W * 0,5 * W$$

$$W = \sqrt{\frac{Ac}{0,5}} = \sqrt{2 * 1,0549} = 1,45$$

$$h = 0,5 * 1,45 = 0,73$$

$$Vm = A_H * h$$

$$Vm = 26 * 0,73$$

$$Vm = 18,98 = 19 \text{ m}^3$$

$$t_R = \frac{Vm}{Q}$$

$$t_R = \frac{18,98}{0,01} = 1898 \text{ s} = 31,63 \text{ min.}$$

$$t_R = 32 \text{ min.}$$

$$L = \frac{A_H}{W}$$

$$L = \frac{26}{1,45} = 17,93 \approx 18 \text{ m.}$$

También la longitud del separador viene dada por

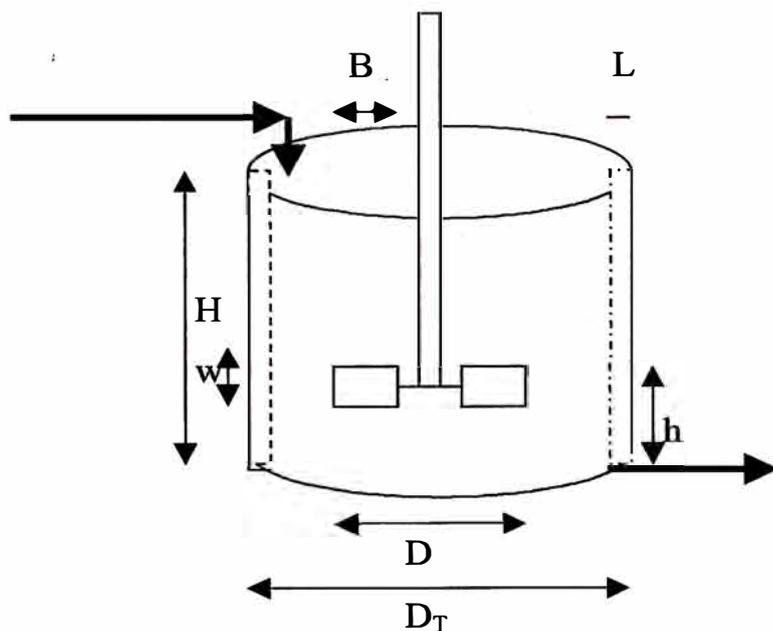
$$L = \frac{F V_H h}{Vas} \quad \dots\dots \quad (8) \text{ (Según bibliografía 4)}$$

$$L = 1,644 * 15 * 0,73 = 18 \text{ m.}$$

## DISEÑO DEL MEZCLADOR

Tiempo de tratamiento 5h,  $Q = 180 \text{ m}^3/5\text{h} = 0,01\text{m}^3/\text{s}$

Los mezcladores efectúan la suspensión de partículas sólidas en los fluidos.



**Fig. 28 Dimensionamiento del mezclador**

Relaciones geométricas de diseño de la cámara de mezcla.

$$2,7 < D_T / D < 3,3$$

$$2,7 < H / D < 3,9$$

$$0,75 < h / D < 1,3$$

$$B / D = 1/4$$

$$w / D = 1/4$$

$$L / D_T = 1/10$$

Parámetros de diseño:

Gradiente de velocidad  $500 < G < 2000 \text{ s}^{-1}$

Tiempo de mezcla  $1 \text{ s} < T_R < 10 \text{ s}$

$Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$

$$a = D_T / D = 2,8$$

$$b = H / D = 3,0$$

$$c = h / D = 0,8$$

Volumen de la cámara de mezcla  $V = QT$

$$V = 0,01 \text{ m}^3/\text{s} * 5\text{s} = 0,05 \text{ m}^3 \text{ (tiempo de mezcla = 5s)}$$

$$V = \pi r^2 H = \pi (D_T / 2)^2 H \quad \dots\dots\dots(I)$$

$$\frac{a}{b} = \frac{(D_T / D)}{H/D} = \frac{D_T}{H} \quad \dots\dots\dots(II)$$

Multiplicando ecuación (II) en ambos lados de la ecuación (I):

$$\frac{V D_T}{H} = \pi (D_T / 2)^2 \frac{H * D_T}{H}$$

$$\frac{V a}{b} = \frac{\pi D_T^3}{4}$$

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4 a V}{\pi b}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 2,8 * 0,05}{\pi * 3}} = 0,39 \text{ m}$$

$D_T = 39 \text{ cm}$  (Diámetro del tanque)

De:  $D_T / D = 2,8$

$$D = \frac{39}{2,8} = 13,92 \text{ cm.}$$

$$D = 14 \text{ cm.}$$

$$\frac{H}{D} = 3,0$$

$$H = 3 * 14 = 42 \text{ cm.}$$

$$h / D = 0,8$$

$$h = 0,8 * 14 = 11,20 \text{ cm.}$$

$$L = D_T / 10 = 39/10$$

$$L = 3,9 \text{ cm}$$

$$B = \frac{1}{4} (14) = 3,5 \text{ cm}$$

$$w = \frac{1}{4} (14) = 3,5 \text{ cm}$$

Calculo de la potencia necesaria para obtener una mezcla rápida

$$P = \frac{K \rho n^3 D^5 (N_R)^p (N_F)^q}{g_c} \dots\dots (9) \quad (\text{Según bibliografía 2})$$

Donde:

$N_R$  = Número de Reynolds

$N_F$  = Número de Froude

$P$  = Potencia (kgf m/s)

$n$  = Número de rotaciones por segundo (rps)

$D$  = diámetro del impulsor (m)

$\rho$  = densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g_c$  = Factor de conversión de la ley de Newton ( $\text{kg m} / \text{kgf s}^2$ )

$\mu$  = Viscosidad absoluta ( $\text{kgf.s} / \text{m}^2$ )

El coeficiente  $K$  depende de la geometría del sistema cámara - equipo de mezcla,  $p$  y  $q$  dependen del régimen de flujo. Cuando el régimen es turbulento, que es la condición para mezcla rápida y evitando la formación de remolinos,  $p = q = 0$ , resultando:

$$P = \frac{K \rho n^3 D^5}{g_c} \dots\dots\dots(10) \quad (\text{Según bibliografía 2})$$

$$G = \frac{\sqrt{K n^3 D^5}}{g_c \mu \gamma} \dots\dots\dots(11) \quad (\text{Según bibliografía 2})$$

A una temperatura de 15 °C

$$G = 944 \sqrt{\frac{K n^3 D^5}{V}}$$

Según gráfico de rodete para un agitador de turbina

$$K = 4$$

$$G = 1500 \text{ s}^{-1}$$

Reemplazando en (10)

$$1500 \text{ s}^{-1} = 944 \sqrt{\frac{4 n^3 * (0,14\text{m})^5}{0,05 \text{ m}^3}}$$

$$n = 8,37 \text{ rps} = 502,2 \text{ rpm}$$

Reemplazando en (9)

$$P = \frac{4 * 999 \text{ Kg/m}^3 * 8,37^3 * 0,14^5}{9,81}$$

$$P = 12,85 * 9,81 = \frac{126,06 \text{ W} * \text{HP}}{745 \text{ W}}$$

$$P = 0,169 \text{ HP}$$

$$P = 0,17 \text{ HP}$$

Con 80% de rendimiento hidráulico:

$$P = \frac{0,17}{0,8} \text{ HP} = 0,21 \text{ HP}$$

Factor de seguridad:

$$P = 1,5 * 0,21 \text{ HP}$$

$$P = 0,32 \text{ HP}$$

Se comprará un motor con una potencia de 0,5 HP.

**DISEÑO DEL TANQUE DE DOSIFICACION**

Concentración : 16 %

Dosis Sulfato de Aluminio: 580 mg/L

$C = 0,16 \text{ kg/L} * 1\ 000 \text{ g/kg} * 1\ 000 \text{ mg/g} = 160\ 000 \text{ mg/L}$

$$Q * D = q * C$$

$$Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s} = 10 \text{ L/s}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño de planta

D = Dosis promedio de coagulante

C = Concentración de la solución

q = Caudal promedio del dosificador

$$q = \frac{Q * D}{C} = \frac{10 \text{ L/s} * 580 \text{ mg/L}}{160\ 000 \text{ mg/L}}$$

$$C = 160\ 000 \text{ mg/L}$$

$$q = 0,03625 \text{ L/s} = 36,25 \text{ mL/s}$$

**Volumen del Tanque Solución:**

Tiempo de dosificación:  $5 \text{ h} * 3\ 600 \text{ s/h} = 18\ 000 \text{ s}$

$$V = 0,03625 \text{ L/s} * 18\ 000 \text{ s} = 652,5 \text{ L} * 10^3$$

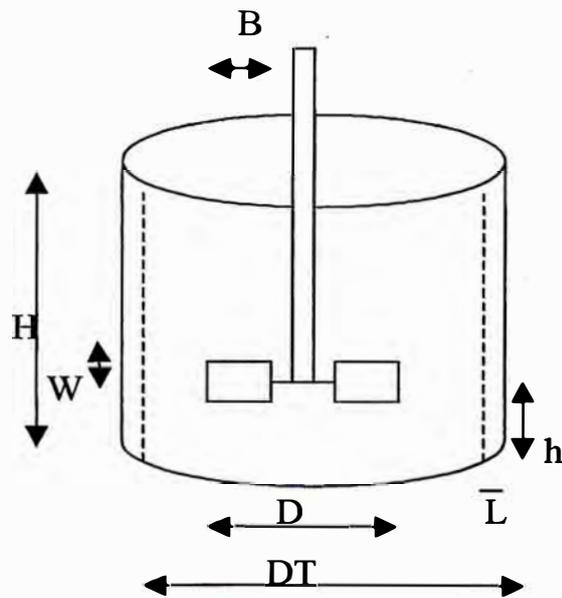
$$10^3 \text{ L}$$

$$V = 0,653 \text{ m}^3$$

**Consumo del Reactivo Diario :**

$$p = Q * D = 10\text{L/s} * 580 \text{ mg/L} * 1\text{g}/1\ 000\text{mg} * 1\text{Kg}/1\ 000\text{g} * 18\ 000\text{s}$$

$$p = 104,4 \text{ Kg}$$



**Fig. 29 Dimensionamiento del dosificador**

Relaciones geométricas de diseño de la cámara de mezcla.

$$2,7 < D_T/D < 3,3$$

$$2,7 < H/D < 3,9$$

$$0,75 < h/D < 1,3$$

$$B/D = 1/4$$

$$w/D = 1/4$$

$$L/D_T = 1/10$$

Parámetros de diseño:

Gradiente de velocidad  $500 < G < 2\,000\text{ s}^{-1}$

$$a = D_T/D = 2,8$$

$$b = H/D = 3,0$$

$$c = h/D = 0,8$$

Volumen de la cámara de mezcla

$$V = 0,653\text{ m}^3$$

$$V = \pi r^2 H = \pi (D_T/2)^2 H \dots\dots\dots\text{(I)}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{(D_T/D)}{(H/D)} = \frac{D_T}{H} \dots\dots\dots\text{(II)}$$

Multiplicando (II) en ambos lados de (I):

$$\frac{V D_T}{H} = \pi (D_T/2)^2 H * (D_T/H)$$

$$\frac{V a}{b} = \frac{\pi D_T^3}{4}$$

$$D_T = \sqrt[3]{\frac{4aV}{\pi b}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 2,8 * 0,653}{\pi * 3}} = 0,92\text{ m.}$$

$D_T = 92\text{ cm}$  (Diámetro del tanque)

$$\text{De: } \frac{D_T}{D} = 2,8$$

$$D = \frac{92}{2,8} = 33\text{ cm.}$$

$$D = 33\text{ cm.}$$

$$H = 3 * 33 = 99\text{cm.}$$

$$\frac{h}{D} = 0,8$$

$$h = 0,8 * 33 = 26,4 \text{ cm.}$$

$$L = \frac{D_T}{10} = \frac{92}{10}$$

$$L = 9,2 \text{ cm.}$$

$$B = \frac{1}{4} (0,653) = 16,33 \text{ cm.}$$

$$w = \frac{1 * (0,653)}{4} = 16,33 \text{ cm}$$

**Cálculo de la potencia necesaria para obtener una mezcla rápida**

$$P = \frac{K}{g_c} \rho n^3 D^5 (N_R)^p (N_F)^q$$

Donde:

$N_R$  = Número de Reynolds

$N_F$  = Número de Froude

$P$  = Potencia (kgf.m/s)

$n$  = Número de rotaciones por segundo (rps)

$D$  = diámetro del impulsor (m)

$\rho$  = densidad del agua  $\text{kg/m}^3$

$g_c$  = Factor de conversión de la ley de Newton ( $\text{kg m/kgf s}^2$ )

$\mu$  = Viscosidad absoluta ( $\text{kgf.s/m}^2$ )

El coeficiente  $K$  depende de la geometría del sistema cámara - equipo de mezcla,  $p$  y  $q$  dependen del régimen de escurrimiento.

Cuando el régimen es turbulento, que es la condición para mezcla rápida y evitando la formación de remolinos,  $p = q = 0$ , resultando:

$$P = \frac{K \rho n^3 D^5}{g_c}$$

$$G = \sqrt{\frac{K n^3 D^5}{g \mu \gamma}}$$

A una temperatura de 15 °C

$$G = 944 \sqrt{\frac{K n^3 D^5}{V}}$$

Según gráfico de rodete para un agitador de turbina

$$K = 4$$

$$G = 800 \text{ s}^{-1}$$

Reemplazando:

$$800 \text{ s}^{-1} = 944 \sqrt{\frac{4 n^3 * (0,33 \text{ m})^5}{0,653 \text{ m}^3}}$$

$$n = 2,99 \text{ rps} = 179,4 \text{ rpm} = 180 \text{ rpm}$$

Reemplazando en la ecuación de Potencia (P):

$$P = 4 * 999 \text{ kg/m}^3 * 2,99 \text{ rps}^3 * 0,33^5$$

$$P = 418,03 \text{ W} * \frac{\text{HP}}{745 \text{ W}}$$

$$P = 0,56 \text{ HP}$$

Con 80% de rendimiento hidráulico:

$$P = \frac{0,56}{0,8} = 0,7 \text{ HP}$$

Factor de seguridad:

$$P = 1,5 * 0,7 \text{ HP}$$

$$P = 1,0 \text{ HP}$$

Se comprará un motor con una potencia de 1 HP

Se desea una bomba dosificadora para un caudal de:

$$V = 36,25 \text{ mL/s} * 5 \text{ s} = 181,25 \text{ mL}$$

$$Q = 181,25 \text{ mL} / 5\text{s}$$

Para el Sulfato de Aluminio al 16%, se necesita una bomba dosificadora con un caudal de 2 175 mL /min .

## DISEÑO DEL FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO HORIZONTAL

$$Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tiempo de retención total = 10 min.

Se considera un floculador de 2 tramos

Tramo 1 : Tiempo de retención : 5 min

Gradiente de velocidad:  $131 \text{ s}^{-1}$

Tramo 2 : Tiempo de retención : 5 min

Gradiente de velocidad:  $68 \text{ s}^{-1}$

### Cálculo Tramo 1:

$$V_1 = 0,215 \text{ m/s (asumido)}$$

- Longitud de canales del tramo 1:

$$L_1 = V_1 * T_{R1} = 0,215 \text{ m/s} * 300 \text{ s} = 64,5 \text{ m.}$$

- Sección de canales tramo 1:

$$A_1 = \frac{Q}{V_1} = \frac{(0,01 \text{ m}^3/\text{s})}{0,215 \text{ m/s}} = 0,0465 \text{ m}^2$$

Altura de agua en la unidad:  $H = 1,10 \text{ m}$

Se va a emplear tabiques corrugados de asbesto – cemento de  $1,2*2,5 \text{ m}$  que tendrá borde libre de  $0,1 \text{ m}$ , siendo la profundidad del canal de  $1,1 \text{ m}$ .

- Ancho de canales tramo 1:

$$a_1 = \frac{A_1}{H} = \frac{0,0465 \text{ m}^2}{1,1}$$

$$a_1 = 0,0423 \text{ m (4,23 cm)}$$

- Ancho de vueltas del tramo 1 ó espaciamiento entre punta del tabique y pared:

$$d_1 = 1,5 * a_1 = 1,5 * (0,0423 \text{ m}) = 0,0635 \text{ m} = 6,35 \text{ cm}$$

- Ancho del Flocculador tramo 1:

$$B_1 = 3(b) + d_1$$

$$b = 0,825 \text{ (Ancho útil de la lámina corrugada de asbesto – cemento)}$$

$$B_1 = 2,564 \text{ m (256,4) cm}$$

- Número de canales tramo 1:

$$N_1 = \frac{L_1}{B_1} = \frac{64,5 \text{ m}}{2,564 \text{ m}} = 25,16$$

$$N_1 = 26$$

- Longitud del tramo 1:

$$l_1 = N_1 * (a_1 + e)$$

$$l_1 = 26 * (0,0423 + 0,006) = 1,256 \text{ m (125,6 cm)}$$

$$e = 0,006 \text{ (Espesor de láminas corrugadas de asbesto – cemento)}$$

- Pérdida de carga en las vueltas del primer tramo:

$$k = 2 \text{ (Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas)}$$

$$h_1 = \frac{KV_1^2(N_1 - 1)}{2g}$$

$$h_1 = \frac{2 * (0,215 \text{ m/s})^2 (26 - 1)}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_1 = 0,118 \text{ m}$$

- Perímetro mojado de las secciones del tramo 1:

$$P_1 = 2H + a_1 = 2 * 1,1 + 0,0423 = 2,2423 \text{ m}$$

- Radio Hidráulico de canales del tramo 1:

$$r_1 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{0,0465\text{m}^2}{2,2423 \text{ m}} = 0,021 \text{ m}$$

- Perdida de carga en los canales del tramo 1:

Datos coeficiente de rugosidad  $n = 0,03$

$$h_2 = (NV_1 / r_1^{2/3})^2 * L_1$$

$$h_2 = (0,03 * 0,215 / 0,021^{0.67})^2 * 64,5\text{m} = 0,475 \text{ m}$$

- Perdida de carga total en el tramo 1:

$$h_{\text{total}} = h_1 + h_2 = 0,118 + 0,475 = 0,594 \text{ m}$$

- Gradiente de velocidad en el tramo 1:

$$G_1 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} * \frac{h_{\text{tot}}}{T_{r1}}}$$

Para agua a 15 °C

$$\gamma = 4,798 \text{ kN/m}^3 * 1000 \text{ N/1kN} * 1\text{kg m/s}^2/1\text{N} = 9798 \text{ kg/m}^2/\text{s}^2$$

$$\mu = 1,139 * 10^{-3} \text{ N-s/m}^2 * (1\text{kg m/s}^2/\text{N}) = 1,139 * 10^{-3} \text{ kg/m s}$$

$$\frac{\gamma}{\mu} = \frac{9798 \text{ kg/m}^2/\text{s}^2}{1,139 * 10^{-3} \text{ kg/m s}} = 8602282,7 / \text{ms}$$

$$1,139 * 10^{-3} \text{ kg/ms}$$

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2933 \text{ m}^{-1/2} \text{ s}^{-1/2}$$

$$G_1 = 2933 \sqrt{0,594 \text{ m}/300\text{s}} = 130,51 \text{ s}^{-1}$$

**Cálculo Tramo 2:**

$$V_2 = 0,155 \text{ m/s (asumido)}$$

- Longitud de canales del tramo 2:

$$L_2 = V_2 * T_{R2} = 0,155 \text{ m/s} * 300 \text{ s} = 46,5 \text{ m.}$$

- Sección de canales tramo 2:

$$A_2 = Q/V_2 = (0,01 \text{ m}^3/\text{s})/0,155 \text{ m/s} = 0,0645 \text{ m}^2$$

- Altura de agua en la unidad:  $H = 1,10 \text{ m}$

Se va a emplear tabiques corrugados de material de asbesto – cemento de  $1,2 * 2,5 \text{ m}$  que tendrá borde libre de  $0,1 \text{ m}$ , siendo la profundidad del canal de  $1,1 \text{ m}$ .

- Ancho de canales tramo 2:

$$a_2 = A_2/H = 0,0645 \text{ m}^2 / 1,1$$

$$a_2 = 0,0586 \text{ m (5,86 cm)}$$

Ancho de vueltas del tramo 2 ó espaciamiento entre punta del tabique y pared:

$$d_2 = 1,5 a_2 = 1,5 (0,0586 \text{ m}) = 0,088 \text{ m} = 8,8 \text{ cm}$$

- Ancho del floculador tramo 2:

$$B_2 = 3b + d_2$$

$$b = 0,825(\text{Ancho útil de la lámina corrugada de asbesto – cemento})$$

$$B_2 = 2,5 + 0,088 = 2,588 \text{ m (258,8 cm)}$$

- Número de canales tramo 2:

$$N_2 = L_2/B_2 = 46,5 \text{ m}/2,588 \text{ m} = 17,967 = 18$$

- Longitud del tramo 2:

$$l_2 = N_2 (a_2 + e)$$

$$l_2 = 18 * (0,0586 + 0,006) = 1,163 \text{ m (116,3 cm)}$$

$$e = 0,006 \text{ (Espesor de láminas corrugadas de asbesto – cemento)}$$

- Pérdida de carga en las vueltas del segundo tramo:

$k = 2$  (Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas)

$$h_1 = \frac{KV_2^2 (N_2 - 1)}{2g}$$

$$2g$$

$$h_1 = \frac{2 * (0,155 \text{ m/s})^2 (18 - 1)}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_1 = 0,042 \text{ m}$$

- Perímetro mojado de las secciones del tramo 2:

$$P_2 = 2H + a_2 = 2 * 1,1 + 0,0586 = 2,2586 \text{ m}$$

- Radio Hidráulico de canales del tramo 2:

$$r_2 = A_2 / P_2 = 0,0645 \text{ m}^2 / 2,258 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,0286 \text{ m}$$

- Pérdida de carga en los canales del tramo 2:

Datos coeficiente de rugosidad  $n = 0,03$

$$h_2 = (nV_2/r_2^{2/3})^2 * L_2$$

$$h_2 = (0,03 * 0,155 / 0,0286^{0,67})^2 * 46,5 \text{ m} = 0,118 \text{ m}$$

- Pérdida de carga total en el tramo 2:

$$h_{\text{total}} = h_1 + h_2 = 0,042 + 0,118 = 0,16 \text{ m}$$

- Gradiente de velocidad en el tramo 2:

$$G_2 = \sqrt{\frac{\gamma * h_{tot}}{\mu T_{r1}}}$$

Para agua a 15 °C

$$\gamma = 4,798 \text{ kN/m}^3 * 1000 \text{ N/kN} * 1 \text{ kg m/s}^2 / 1 \text{ N} = 9798 \text{ kg/m}^2/\text{s}^2$$

$$\mu = 1,139 * 10^{-3} \text{ N-s/m}^2 * 1 \text{ kg m/s}^2 / 1 \text{ N} = 1,139 * 10^{-3} \text{ kg/ m s}$$

$$\gamma / \mu = \frac{9798 \text{ kg/ m}^2 \text{ s}^2}{1,139 * 10^{-3} \text{ kg/ m s}} = 8602282,7 / \text{ms}$$

$$1,139 * 10^{-3} \text{ kg/ms}$$

$$\sqrt{\gamma/\mu} = 2933 \text{ m}^{-1/2} \text{ s}^{-1/2}$$

$$G_2 = 2933 \sqrt{0,16 \text{ m} / 300 \text{ s}} = 68 \text{ s}^{-1}$$

Dimensiones del floculador:

Tramo 1:

Ancho : 2,564 m

Largo : 1,256 m

Nº canales : 26

Ancho canales: 4,23 cm

Tramo 2:

Ancho : 2,588 m

Largo : 1,163 m

Nº canales : 18

Ancho canales: 5,86 cm

Longitud total del floculador : 1,256 + 1,163 = 2,42 m

**DISEÑO DE LOS TABIQUES DIFUSORES:**

$$G = \sqrt{\frac{f * v^3}{\nu * 8 * R}} \quad (\text{Según bibliografía 2})$$

Donde :

$f$  = Coeficiente que puede variar entre 0,02 y 0,04 asumido = 0,03

$\nu$  = Viscosidad cinemática ( $1,14 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} = 0,114 \text{ cm}^2/\text{s}$ )

$v$  = Velocidad del flujo en los orificios

$R$  = Radio medio hidráulico Area / perímetro y  $R$  para orificio es igual a  $d/4$  (diámetro del orificio)

Para:

$$G = 68 \text{ s}^{-1} \quad T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$d = 2 \text{ cm} \quad R = d/4 = 0,5$$

$$G = \sqrt{\frac{0,03 * v^3}{0,114 * 8 * 0,5}} = \sqrt{0,066 * v^3}$$

$v$ ( cm/s)	$G$ ( $\text{s}^{-1}$ )
20	22,98
25	32,11
30	42,21
35	53,20
40	64,99
<b>41</b>	<b>67,44</b>
42	69,93
45	77,55
50	90,83

**Cálculo del caudal del orificio:**

$$Q = v * A = v * \pi d^2 / 4$$

$$Q = 41 \text{ cm/s} * \pi d^2 / 4$$

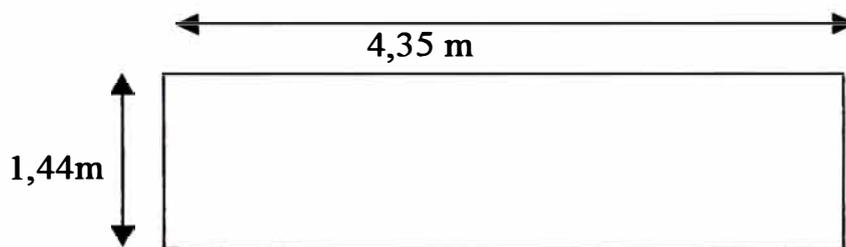
$$Q = 41 \text{ cm/s} * \pi 2^2 / 4$$

$$Q = 128, 21 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

$$Q = 0,1288 \text{ L/ s} = 0,13 \text{ L/ s}$$

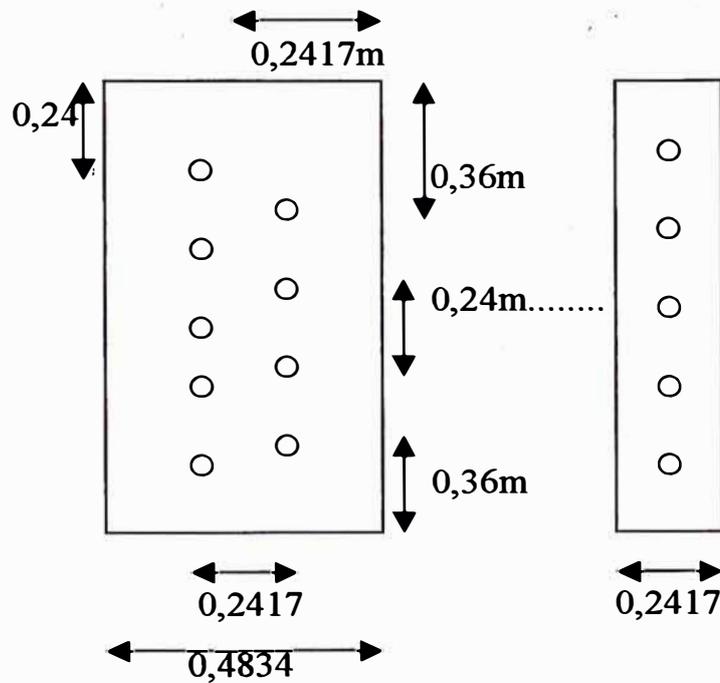
$$\text{N}^\circ \text{ de orificios: } \frac{\text{Caudal total}}{\text{Caudal orificio}} = \frac{10 \text{ L/ s}}{0,1288 \text{ L/ s}}$$

**Nº de orificio: 77,64 orificios = 77 orificios para calculo de diseño.**



Distancia entre orificios:

$$H/6 = 1,44 \text{ m}/6 = 0,24 \text{ m}$$



Cada bloque: 9 orificios

Se requiere :  $9 * 8 + 5 = 77$  orificios

$$0,4834 * 8 + 0,2417 * 2 = 4,35 \text{ m}$$

**DISEÑO DEL SEDIMENTADOR**

$$Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s} * 3600 \text{ s/h} * 24 \text{ h/d} = 864 \text{ m}^3/\text{d}$$

Dato:

$$V_s = 0,02 \text{ cm/s} = 0,72 \text{ m/h (velocidad de sedimentación)}$$

- Tasa de diseño:

$$q (\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}) = 0,72 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{h} * 24 \text{ h /d} = 17,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$$

$$A_s = \frac{864 \text{ m}^3/\text{d}}{17,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}} = Q/q = 50 \text{ m}^2 \text{ (área superficial)}$$

$$t_R = 2 \text{ h (asumido)}$$

- Altura útil del sedimentador:

$$H (\text{m}) = \frac{864 \text{ m}^3/\text{d} * 2 \text{ h} * 1\text{d} / 24 \text{ h}}{50 \text{ m}^2} = Q/A_s * t_R = 1,44 \text{ m}$$

- Volumen del sedimentador:

$$V = A_s * H = 50 \text{ m}^2 * 1,44 \text{ m} = 72 \text{ m}^3$$

- Relaciones de diseño:

$$2 \leq L/B \leq 5$$

$$6 \leq L/H \leq 20$$

Donde:

L = Largo

B = Ancho

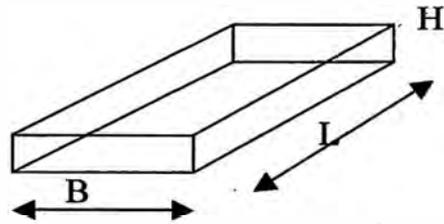
H = Profundidad

Para  $L/H = 8$  (asumido)

$$L = 1,44 * 8 = 11,5$$

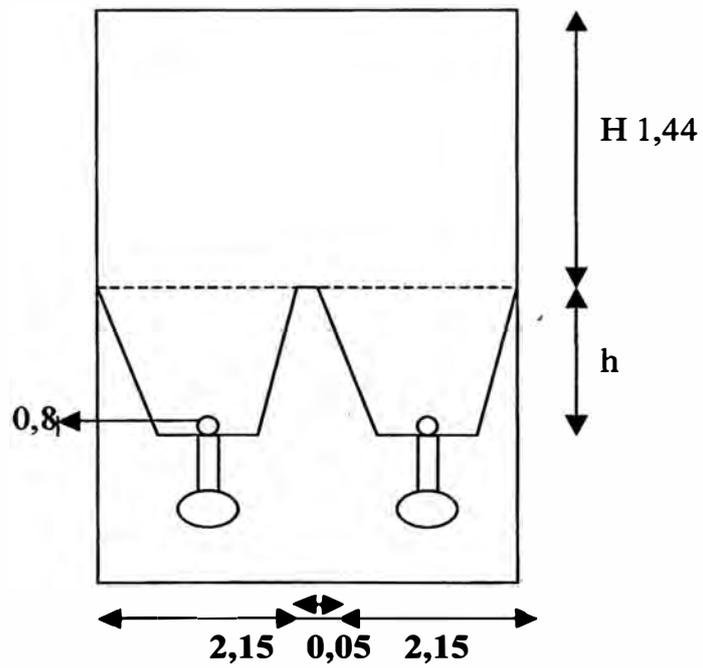
$$V = L * H * B$$

$$B = 4,35$$



Dato : 15 L (agua residual)	produce	2,5 L (lodo)
180 m <sup>3</sup>	producirá	30 m <sup>3</sup>

Diseño de un sistema de evacuación de lodos



Volumen de lodos :  $30 \text{ m}^3$

Nº de canales : 2

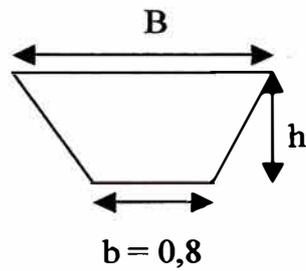
Volumen de lodo por canal:  $30 / 2 = 15 \text{ m}^3$

Volumen de lodo por canal:

$$15 = A * L$$

$$15 = (B + b) / 2 * h * L = (2,15 + 0,8) / 2 * h * 11,5$$

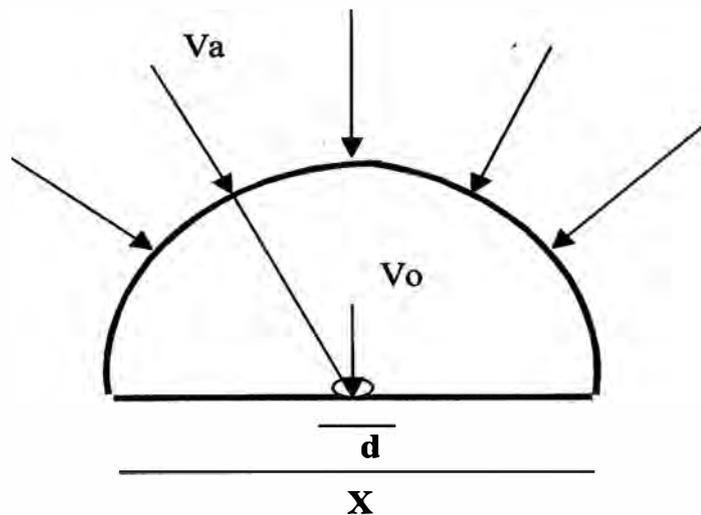
$$h = 0,885 \text{ m}$$



$$\tan \alpha = 0,885 / 0,675$$

$$\alpha = \tan^{-1}(1,311)$$

$$\alpha = 52,7^\circ \text{ (ángulo de inclinación de tolvas)}$$



Donde:

$V_o$  = Velocidad en el orificio

$V_a$  = Velocidad de arrastre de floc

$X$  = Distancia entre orificio

$d$  = Diámetro del orificio

$$V_a = \frac{V_o d^2}{2X^2} \quad (\text{según bibliografía 6})$$

$$V_o = \frac{V_a 2X^2}{d^2} \quad \dots\dots\dots(I)$$

$$V_o = Q_o / A_o = C_d \sqrt{2g h} \quad \dots\dots\dots(II) \quad (\text{según bibliografía 6})$$

Donde :

$Q_o$  = Gasto o caudal por orificio

$A_o$  = Sección del orificio de diámetro  $d$

$h$  = Carga o altura del agua sobre el orificio

$C_d$  = Coeficiente de descarga para orificio

$V_a$  = Velocidad de arrastre mínimo (toma un valor de 1 a 3 cm/s para flocs de 1 mm y peso específico entre 0,01 y 0,001). (Según bibliografía 6).

$V_o$  = Velocidad a la entrada del orificio

Igualando (I) y (II):

$$\frac{V_a 2X^2}{d^2} = C_d \sqrt{2g h}$$

$$X^2 = \frac{C_d * d^2 (2 g h)^{1/2}}{2 V_a}$$

Tomando  $C_d = 0,61$  (coeficiente de entrada para orificios de pared delgada)

$$X = d \sqrt{0,61 (2 * 9,8)^{1/2} / 2} * \sqrt{h^{1/2} / Va}$$

$$X = 1,162 d \sqrt{h^{1/2} / Va} \quad \dots\dots\dots(III)$$

$$R = n A_o / A_m \quad \dots\dots\dots(IV)$$

Donde:

$N = n^\circ$  de orificios

$A_o =$  Area del orificio

$A_m =$  Area de sección múltiple

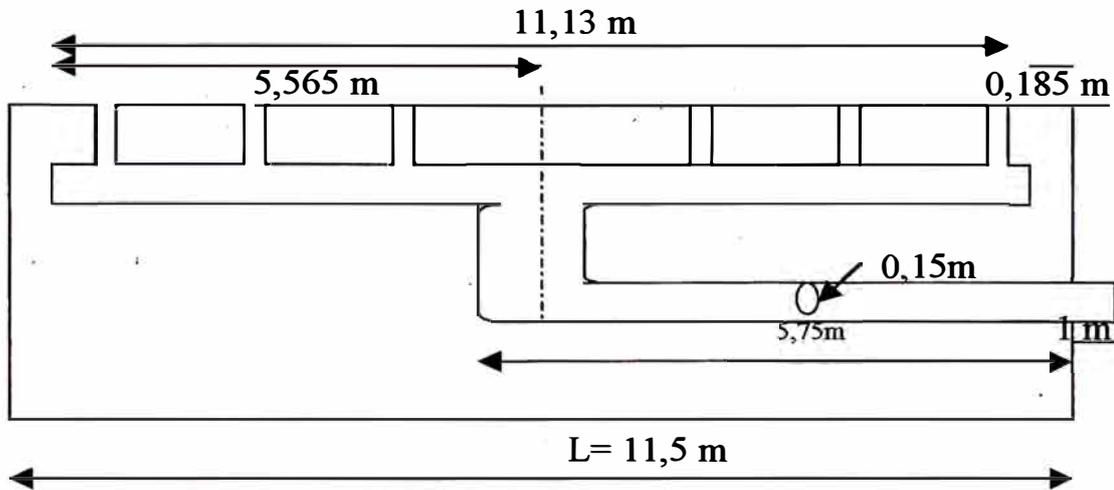
$$R = n d^2 / D^2 \quad \dots\dots\dots(V)$$

$$d = \sqrt{R D^2 / n} \quad \dots\dots\dots(VI)$$

$D =$  diámetro de la sección  $m$

$d =$  diámetro de orificio múltiple

$R = 0,4 - 0,45$  (experimentalmente se ha encontrado que entre estos valores la desviación de flujo entre orificios no es mayor del 10% de diseño tomado como media  $R = 0,425$ )



Longitud de múltiple: 11,5 m dividido en 2 partes de 5,565 m. El diámetro de múltiple más adecuado es de 6 pulgadas (Según bibliografía 6).

Se resuelve de forma iterativa:

Se asume  $n = 15$  y se reemplaza en (VI)

$$D = 6 \text{ pulg} * 2,54 \text{ cm/1pulg.} * 1 \text{ m} / 100 \text{ cm} = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

$$d = \sqrt{0,425 (0,15)^2 / 15}$$

$$d = 0,15 \sqrt{0,425 / 15} = 0,0252 \text{ m} (0,99 \text{ pulg.})$$

Se toma como diámetro de orificio del diámetro de la tubería de 1 pulg (0,0254 m)

Verificando el valor de R en la ecuación (V)

$$R = 15 * (0,0254 / 0,15)^2 = 0,43 \text{ (El valor esta en el rango que toma R).}$$

Empleando la ecuación (III)

$$X = 1,162 * (0,0254) \sqrt{\frac{(1,44 + 0,885)^{1/2}}{0,01}}$$

X = 0,365 m, la distancia entre orificio y orificio se puede tomar como 0,365 m.

$$L_{Tm} = L - X = 11,5 - 0,365 = 11,13m$$

$$n = \frac{L_{Tm}}{X}$$

$$n = \frac{(11,13/2) m}{0,4}$$

$$n = 15,2$$

Este valor es igual al n° de orificios asumidos inicialmente.

Se requiere 2 múltiple:

El diámetro de cada múltiple: 6 pulg.

Longitud del múltiple : 11,5 m

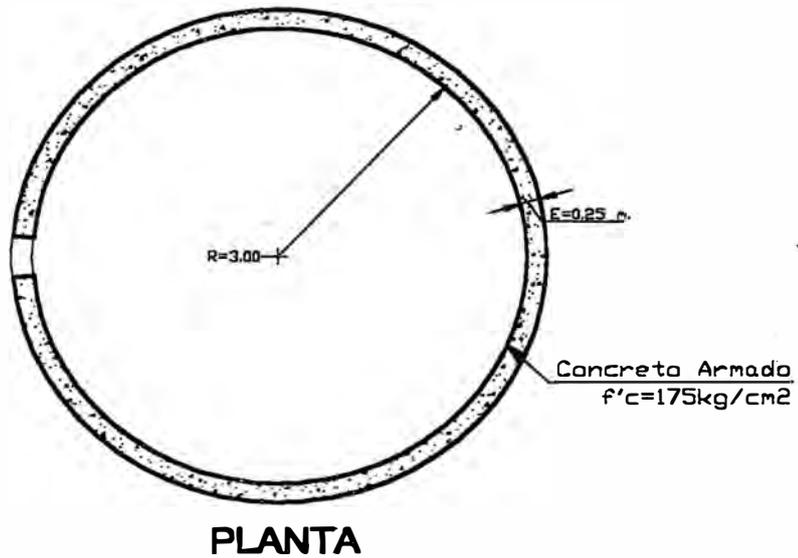
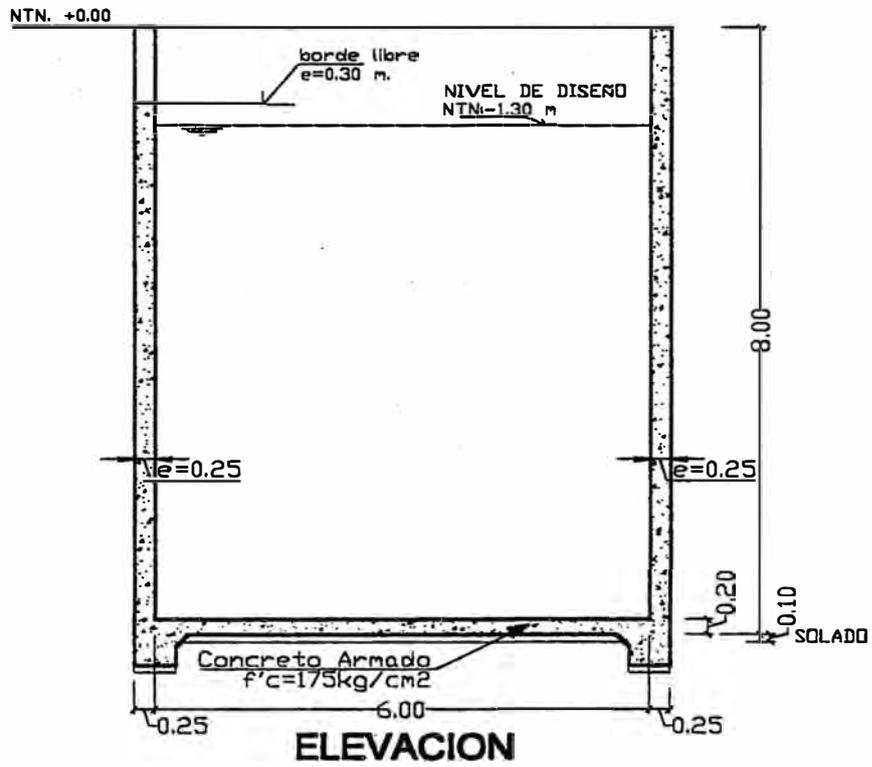
N° de tramos por múltiple : 2

Longitud de cada tramo : 5,565 m

N° de orificios por tramo : 15

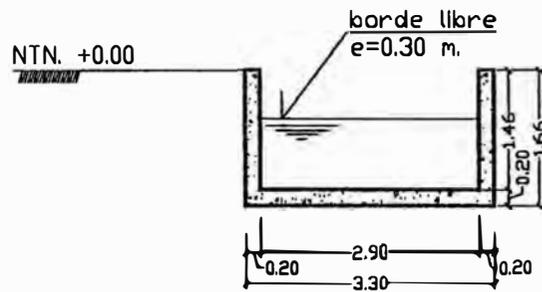
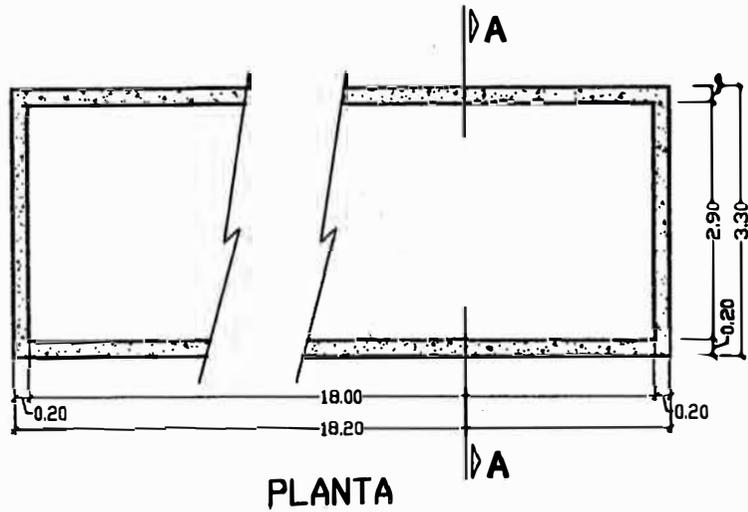
Diámetro del orificio : 1pulg.

Separación entre orificios: 0,365 m.

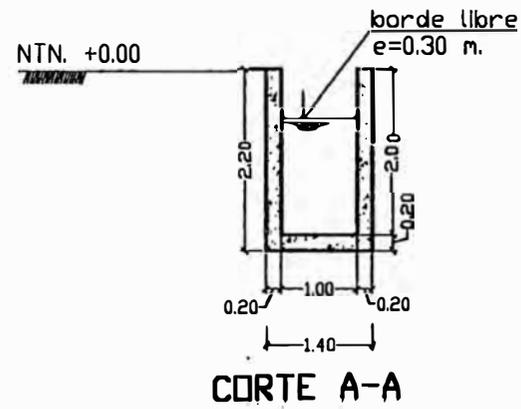
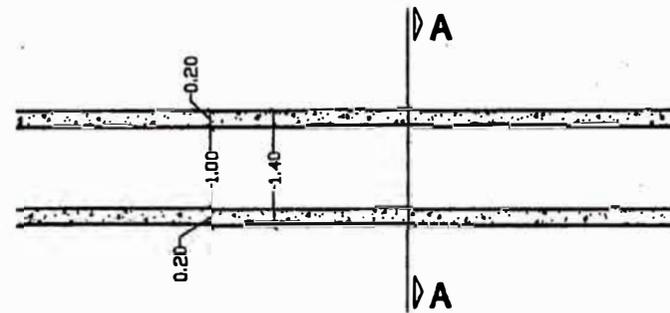


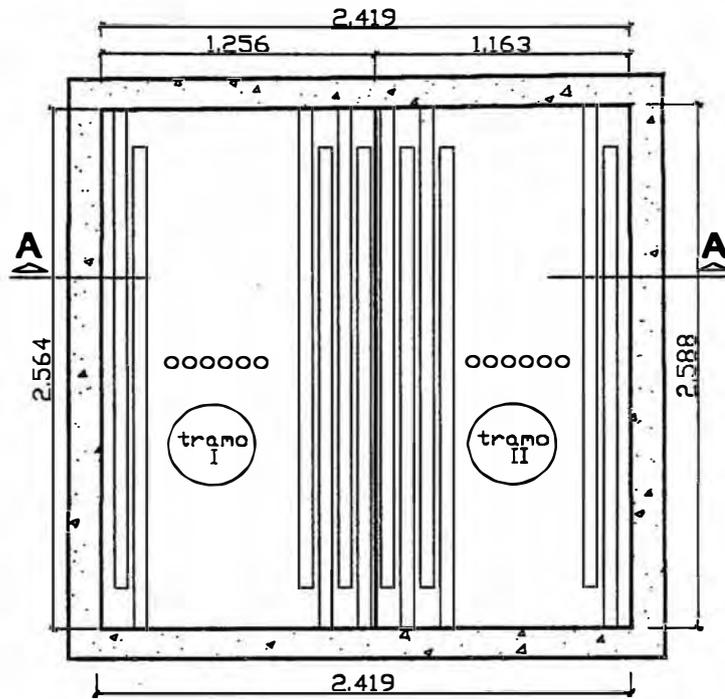
**TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

## DESENGRASADOR

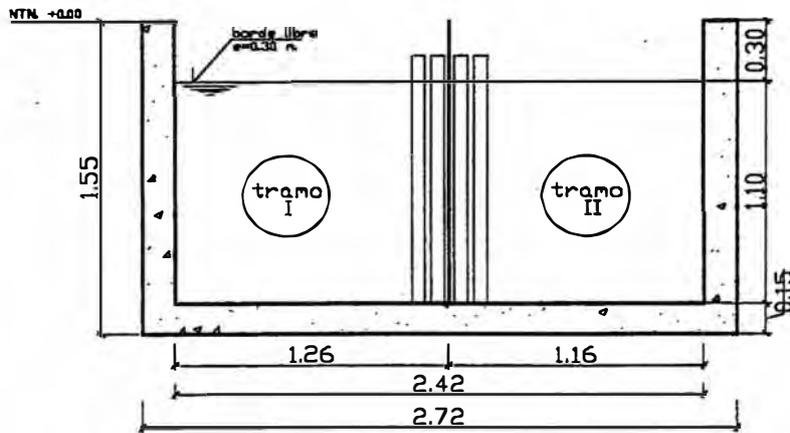


## CANALETA





**PLANTA**

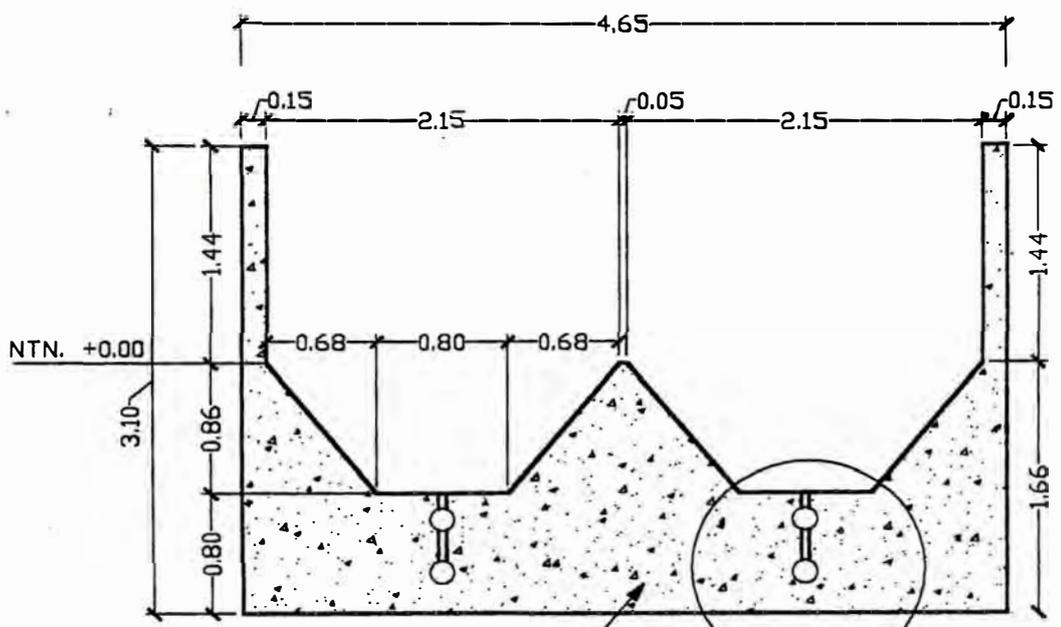


**CORTE A-A**

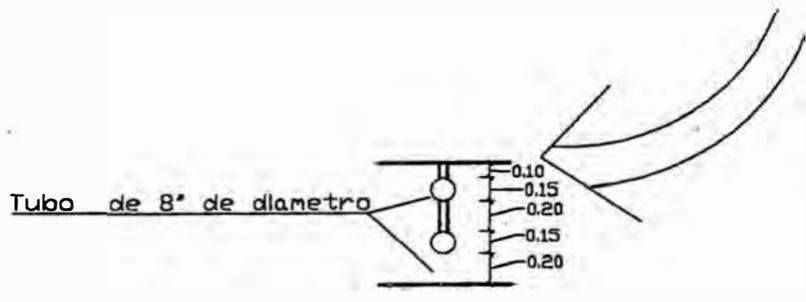
tramo I  
 ancho=2.564 cm.  
 largo=1.256 cm.  
 ancho de canal=4.23 cm.  
 canales de asbesto cemento=28 unid.

tramo II  
 ancho=2.588 cm.  
 largo=1.163 cm.  
 ancho de canal=5.80 cm.  
 canales de asbesto cemento=18 unid.

**FLOCULADOR**

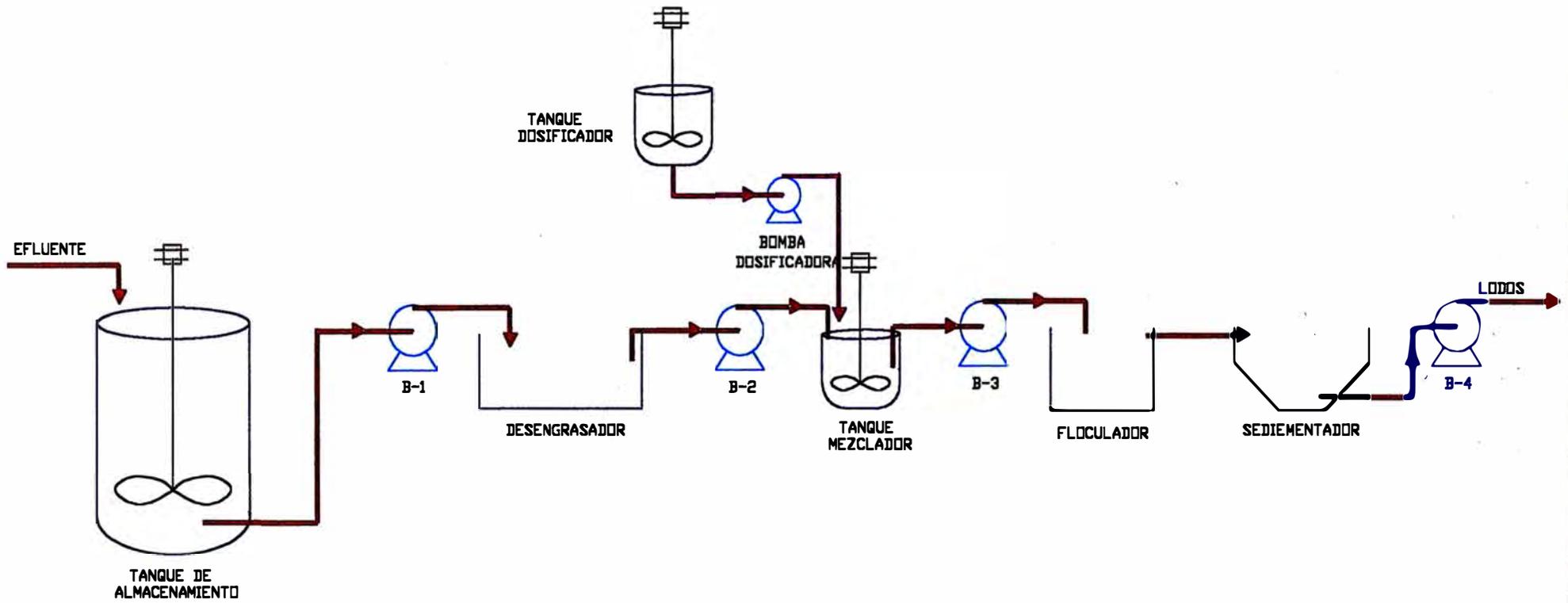


Concreto Armado  $f'c=175\text{kg/cm}^2$



**SEDIMENTADOR**

# DIAGRAMA DE FLUJO



## DIMENSIONAMIENTO DE LAS TUBERIAS

El diámetro óptimo de la tubería, es el que produce el menor costo total de bombeo, por año y los menores gastos fijos para este sistema.

Para flujo turbulento ( $N_{Re} > 2\ 100$ ) en tuberías de acero:

$$D_{i_{opt}} = 3,9 q^{0,45} \rho^{0,13} \quad (\text{Según bibliografía 9})$$

Donde :

$D_{i_{opt}}$  = Diámetro interno óptimo en pulgadas

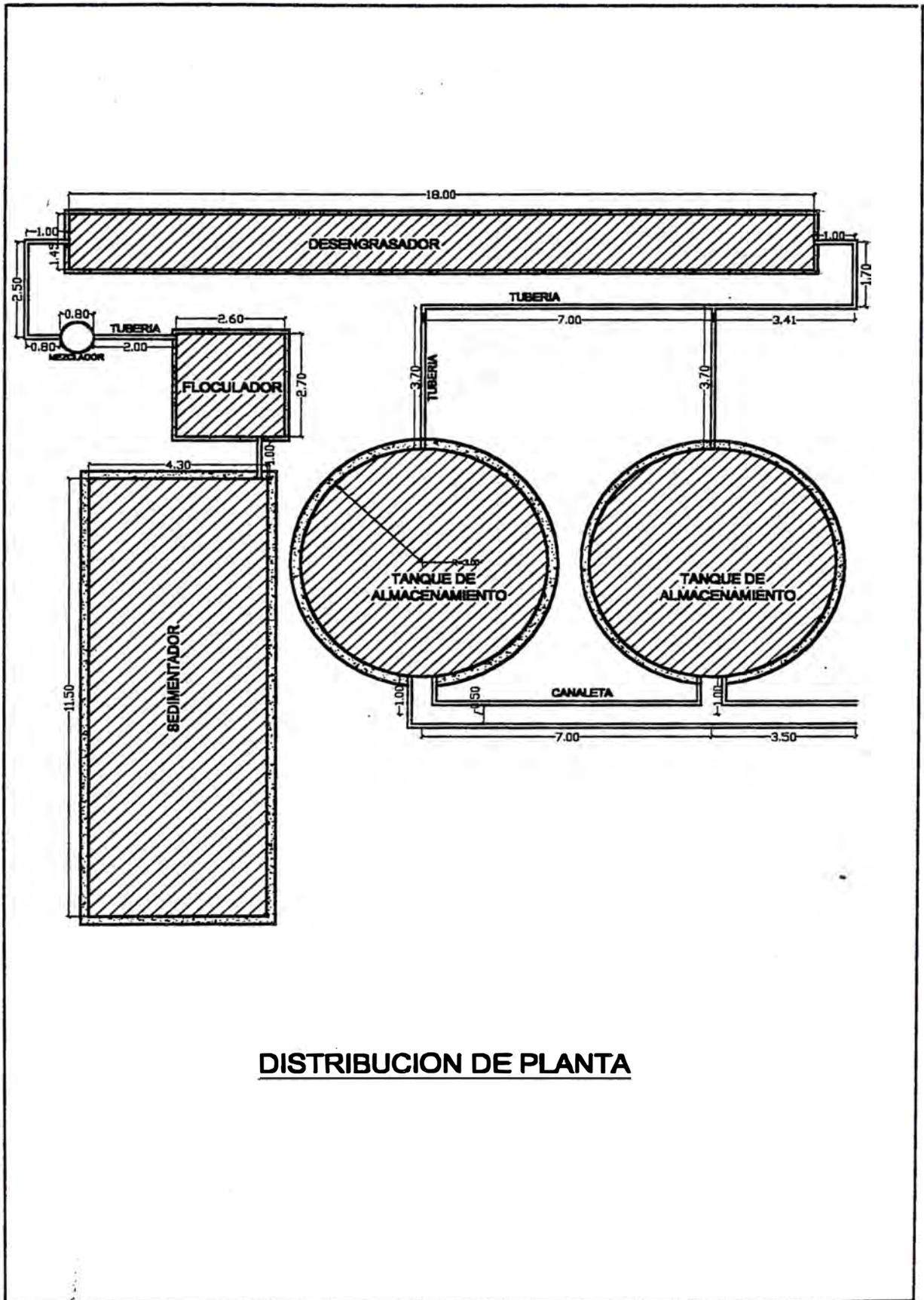
$q$  = Caudal del fluido ( pie<sup>3</sup>/s)

$\rho$  = Densidad del fluido (lb/pie<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido ( Cp)

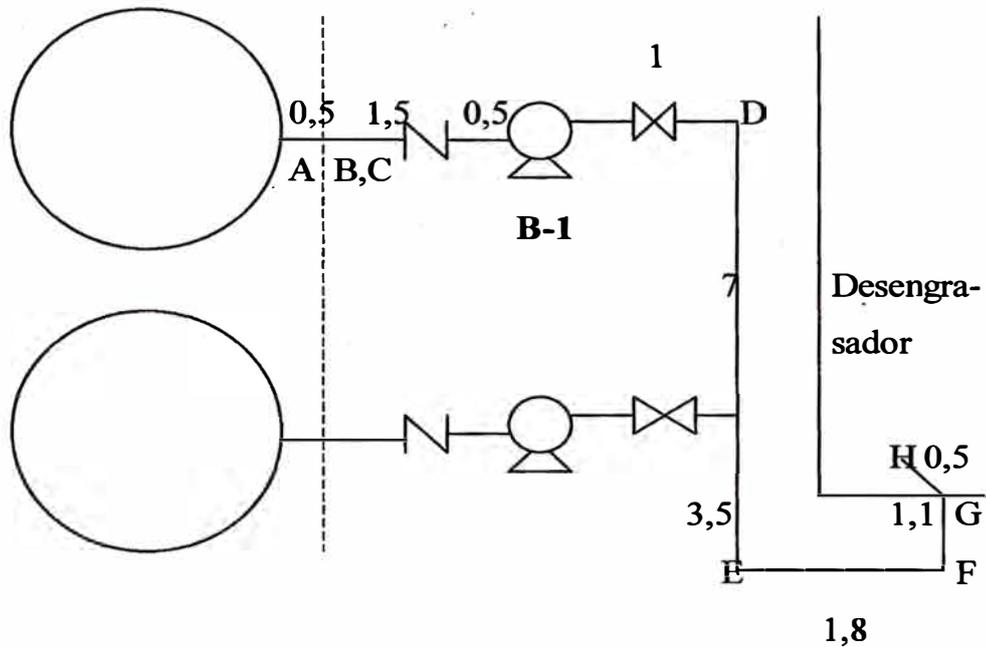
$$D_{i_{opt}} = 3,9 * (0,01\text{m}^3/\text{s} * (1\text{pie} / 0,3048\text{m})^3 )^{0,45} * (1\text{g}/\text{cm}^3 * 11\text{lb}/454\text{g} * (30,48 / 1\text{pie})^3 )^{0,13}$$

$$D_{i_{opt}} = 4,178 = 4,18 \text{ pulg} = 4 \text{ pulg}$$



**DISTRIBUCION DE PLANTA**

### Cálculo de la potencia de la BOMBA 1:



Sección de tubería recta =  $AB + BC + CD + DE + EF + FG + GH = 25,5 \text{ m}$

#### Accesorios:

Cálculo de la longitud equivalente a tubería recta para accesorios a diámetro de 4 pulg.

- Válvula Check = 1

$$\text{Leq} = 25 \text{ ft} * 0,3048/1\text{ft} = 7,62 \text{ m}$$

- Codos largos = 6

$$\text{Leq} = 7\text{ft} * 0,3048 \text{ m/ft} = 2,1336 \text{ m}$$

$$\text{Leq} = 2,1336 * 6 = 20,12 \text{ m}$$

- Válvula de globo = 1

$$Leq = 110 \text{ ft} * 0,3048 / 1\text{ft} = 33,53 \text{ m}$$

- Tee Estándar = 1

$$Leq = 22 \text{ ft} * 0,3048 / 1\text{ft} = 6,71 \text{ m}$$

- Efecto de entrada = 1

$$Leq = 5,8\text{ft} * 0,3048 / 1\text{ft} = 1,77 \text{ m}$$

$$\Sigma Leq = 95,25 \text{ m}$$

$$hf = f * \frac{(\Sigma Leq)}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$N_{Re} = 110\ 000$$

$$\text{Acero Comercial y 4 pulg } \epsilon/D = 0,00045$$

$$f = 0,02$$

$$V = Q/A = \frac{0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{8,11 * 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,233 \text{ m/s}$$

$$hf = 0,02 * \frac{95,25}{0,1016} * \frac{1,233^2}{(2 * 9,8)} = 1,454 \text{ m (4,7703 ft)}$$

$$H = hf + hp = 1,454 + 8,1 = 9,6$$

$$NPSH = \frac{(P_a - P_v)}{\rho} - S - hf$$

Donde :

S = Carga estática de succión

(+) Sobre la línea central de bomba

(-) Por debajo de la línea central de la bomba

$$P_a = 14,7 \text{ lbf /pulg}^2$$

$$P_v (30^\circ\text{C}) = 0,615 \text{ lbf /pulg}^2$$

$$S = 8,1 \text{ m} * 1\text{ft}/0,3048\text{m} = 26,575 \text{ ft}$$

$$h_f = 1,485\text{m} * 1\text{ft}/0,3048\text{m} = 4,872 \text{ ft}$$

$$\text{NPSH} = (P_a - P_v) * (2,31/\text{gravedad específica}) - S - h_f$$

$$\text{NPSH} = (14,7 - 0,615) * (2,31/0,996) - 26,575 - 4,872$$

$$\text{NPSH} = 1,22 \text{ ft} (0,372 \text{ m})$$

$$\text{NPSHDE (de gráfico)} = 3,65 \text{ m}$$

$$\text{NPSH (disponible)} = 3,65 - 0,372 = 3,278 \text{ m}$$

$$H = h_f + h_p + \text{NPSH}$$

$h_f$  = Pérdida por fricción y forma de accesorios

$h_p$  = Carga por energía potencial (elevación estática por succión)

$$H = 1,485 + 8,1 + 3,278 = 12,86 \text{ m}$$

$$P = C Q \rho H$$

Donde :

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$\rho = \text{Densidad (kg/m}^3)$$

C = Coeficiente: 1 para aguas limpias

1,25 para aguas residuales

$$P = 1,25 * 0,01 \text{ m}^3/\text{s} * 1\,000 \text{ kg/m}^3 * 12,86 = 160,75$$

Considerando los factores de servicio:

Rendimiento Volumétrico = 0,90

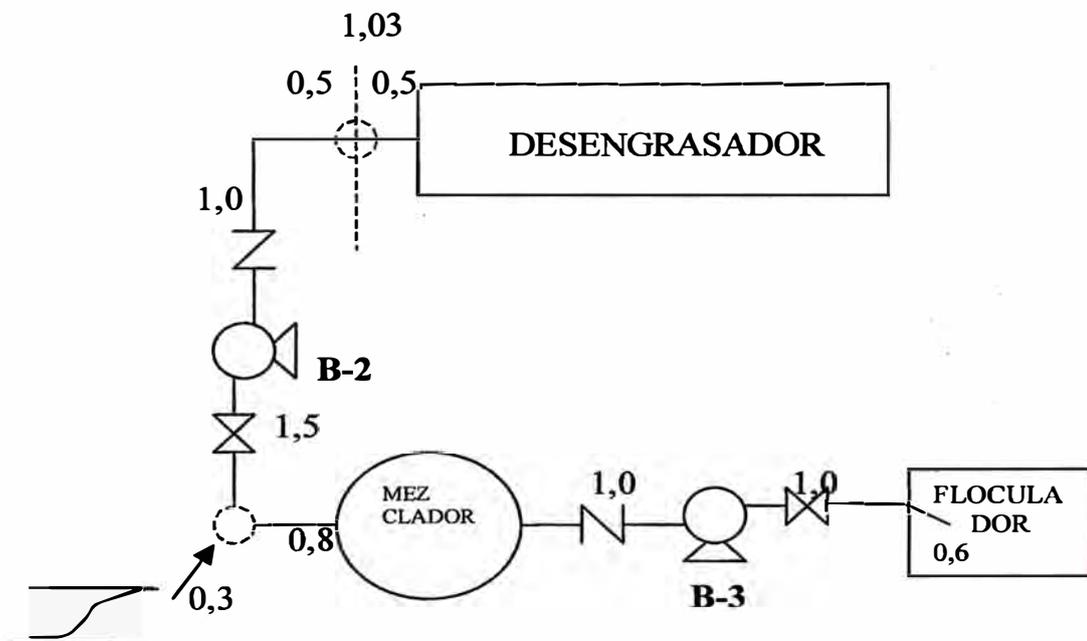
Rendimiento Mecánico = 0,85

Rendimiento Hidráulico = 0,70

$$P = (160,75) / (0,9 * 0,85 * 0,7) = 300,186 \text{ Kg-m/s}$$

$$P = \frac{300,186 \text{ kg - m/s}}{75} = 4 \text{ HP}$$

**Cálculo de la potencia de la BOMBA 2:**



- Longitud de tubería recta =  $0,3 + 4,3 + 1,03 = 5,63$  m

- Válvula Check = 1

$$Leq = 25 \text{ ft} * 0,3048 / 1\text{ft} = 7,62 \text{ m}$$

- Codos: 5

$$Leq = 7 \text{ ft} * 0,3048 \text{ m/ft} = 2,1336 \text{ m}$$

$$Leq = 2,1336 * 5 = 20,12 \text{ m}$$

- Válvula de globo: 1

$$Leq = 110 \text{ ft} * 0,3048 / 1\text{ft} = 33,53 \text{ m}$$

- Efecto de entrada: 1

$$Leq = 5,8 \text{ ft} * 0,3048 / 1\text{ft} = 1,77 \text{ m}$$

- Efecto de salida: 1

$$Leq = 20 \text{ ft} (6,096 \text{ m})$$

$$\Sigma Leq = 71,406 \text{ m}$$

$$hf = f * \frac{(\Sigma Leq)}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$N_{Re} = 110\,000$$

Acero Comercial y 4 pulg  $\epsilon/D = 0,00045$

$$f = 0,02$$

$$V = Q/A = \frac{0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{8,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,233 \text{ m/s}$$

$$h_f = 0,02 * \frac{71,406}{0,1016} * \frac{1,233^2}{2 * 9,8} = 1,09 \text{ m (3,576 ft)}$$

$$h_p = 1,03 + 0,3 = 1,33 \text{ m}$$

$$H = h_f + h_p$$

$h_f$  = Pérdida por fricción y forma de accesorios

$h_p$  = Carga por energía potencial (elevación estática por succión)

$$H = 1,09 + 1,33 = 2,42 \text{ m}$$

$$P = C Q \rho H$$

Donde :

$Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$  = Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C$  = Coeficiente: 1,0 para aguas limpias

1,25 para aguas residuales

$$P = \frac{1,25 * 0,01 \text{ m}^3/\text{s} * 1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3 * 2,42}{0,9 * 0,85 * 0,7}$$

$$P = 56,5 \text{ kg-m/s}$$

$$P = \frac{56,61 \text{ kg-m/s}}{75} = 0,75 \text{ HP (Bomba de } \frac{3}{4} \text{ ó 1 HP)}$$

**Cálculo de potencia de la BOMBA 3:**

Accesorios :

- Longitud de tubería recta = 2,6 m

- Válvula Check = 1

$$Leq = 25 \text{ ft} * 0,3048/1\text{ft} = 7,62 \text{ m}$$

- Codos: 1

$$Leq = 7\text{ft} * 0,3048 \text{ m/ft} = 2,1336 \text{ m}$$

$$Leq = 2,1336 \text{ m}$$

- Válvula de globo: 1

$$Leq = 110 \text{ ft} * 0,3048/1\text{ft} = 33,53 \text{ m}$$

- Efecto de entrada: 1

$$Leq = 5,8\text{ft} * 0,3048/1\text{ft} = 1,77 \text{ m}$$

- Efecto de salida : 1

$$Leq = 20 \text{ ft} (6,096 \text{ m})$$

$$\Sigma Leq = 55 \text{ m}$$

$$hf = f * \frac{\Sigma Leq}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$N_{Re} = 110\,000$$

$$\text{Acero Comercial y 4 pulg } \epsilon / D = 0,00045$$

$$f = 0,02$$

$$V = Q/A = \frac{0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{8,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,233 \text{ m/s}$$

$$h_f = 0,02 * \frac{55}{0,1016} * \frac{1,233^2}{2 * 9,8} = 0,84 \text{ m (2,66 ft)}$$

$h_f$  = Pérdida por fricción y forma de accesorios

$$P = C Q \rho H$$

Donde :

$Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$  = Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

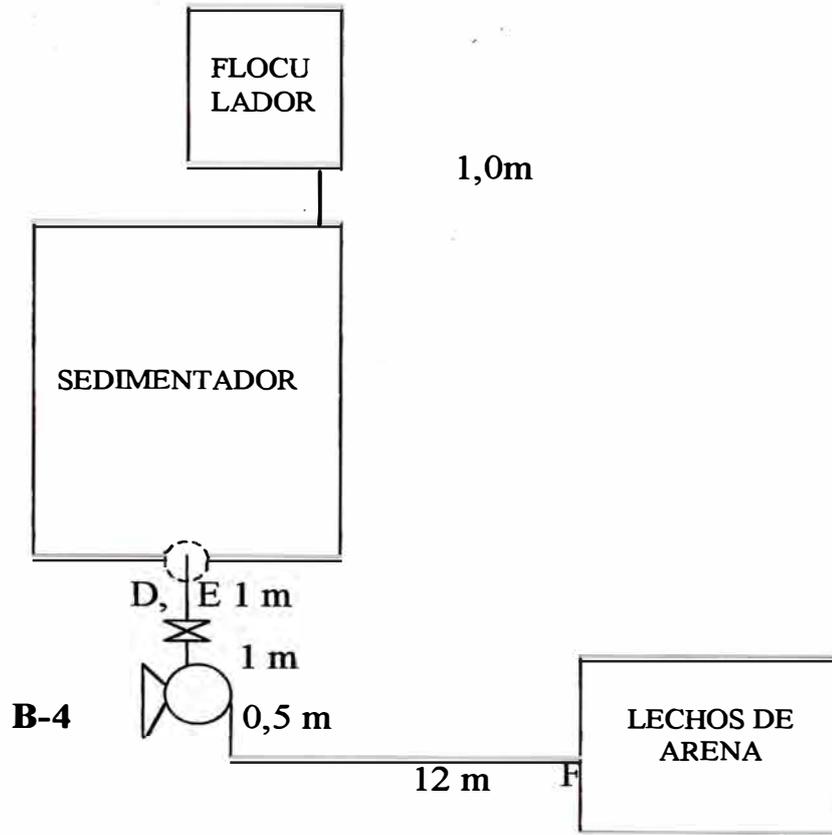
$C$  = Coeficiente: 1,0 para aguas limpias

1,25 para aguas residuales

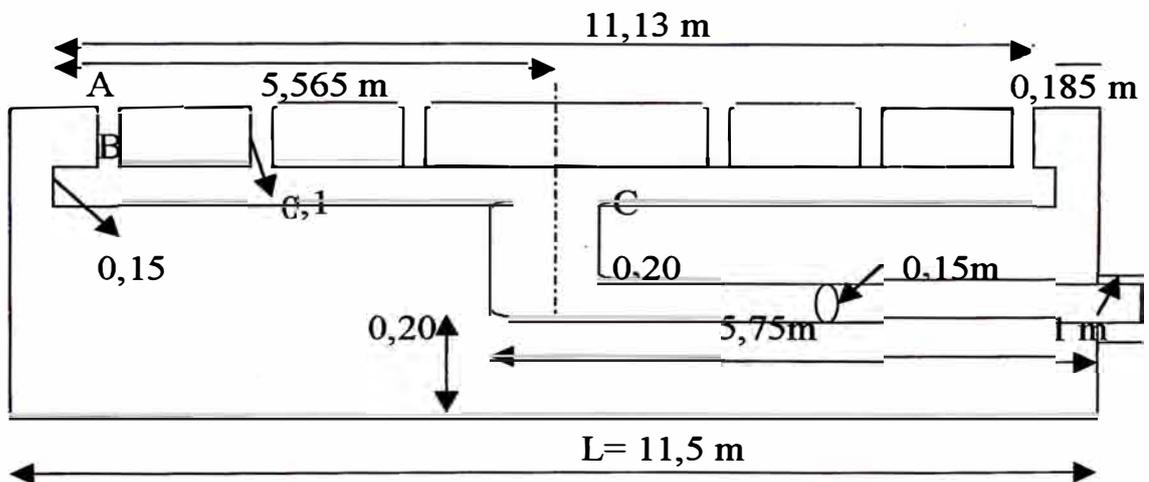
$$P = \frac{1,25 * 0,01 \text{ m}^3/\text{s} * 1\,000 \text{ kg}/\text{m}^3 * 0,84}{0,9 * 0,85 * 0,7} = 19,61 \text{ kg m/s}$$

$$P = \frac{19,61 \text{ kg-m/s}}{75} = 0,26 \text{ HP (Bomba de 0,5HP)}$$

### Cálculo de potencia de la BOMBA 4:



Cálculo de las pérdidas de carga en el fondo del sedimentador para la evacuación de lodos:



**Tramo AB:**

- Entrada de borde afilado:  $k = 0,5$

$$Leq = 1,8 \text{ ft}$$

- Salida de borde afilado:  $k = 1,0$

$$Leq = 3,8 \text{ ft}$$

$$Leq \text{ por cada orificio} = (1,8 + 3,8) * 0,3048 = 1,70688 \text{ m}$$

$n^\circ = 30$  número de orificios por canal.

$$Leq = 2 * 30 * 1,70688 \text{ m} = 102,4 \text{ m}$$

Longitud total de tubos de 1 pulg. en los orificios:

$$Leq = 2 * 30 * 0,1 = 6 \text{ m}$$

$$Q_{\text{total}} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{ramal}} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{orificio}} = 15 \text{ m}^3/\text{h} * 1/30_{\text{orificio}} * 1\text{h}/3600\text{s} = 1,39 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{orificio}} = \pi D^2/4 = \pi (0,0254)^2/4 = 5,067 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{\text{orificio}} = Q_{\text{orificio}} / A_{\text{orificio}} = \frac{1,39 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{5,067 * 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,274 \text{ m/s}$$

$$Re = D \rho v / \mu = 0,0254 * 1020 * 0,274 / (1,14 * 10^{-3}) = 6627$$

Para tubería de acero comercial de 1 pulg.  $\epsilon / D = 0,0018$

De tablas:  $f = 0,037$

$$hf = f * (\Sigma Leq/D) * (V^2/2g)$$

$$\Sigma Leq = 102,4 + 6 = 108,4 \text{ m}$$

$$hf = 0,037 * \frac{108,4}{0,0254} * \frac{0,274^2}{2 * 9,8} = 0,625 \text{ m}$$

### Tramo BC:

Caudal por tramo múltiple:

$$Q_{\text{ramal}} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{tramo}} = 15 \text{ m}^3/\text{h} * 1/2 * 1\text{h}/3600\text{s} = 2,08 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{\text{tramo}} = \pi D^2/4 = \pi (0,15)^2/4 = 0,0177 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{tramo}} = Q_{\text{tramo}} / A_{\text{tramo}} = \frac{2,08 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,0177 \text{ m}^2} = 0,118 \text{ m/s}$$

$$Re = D \rho v / \mu = 0,15 * 1020 * 0,118^2 / (1,14 * 10^{-3}) = 15836$$

Para tubería de acero comercial de 6 pulg.  $\epsilon / D = 0,0003$

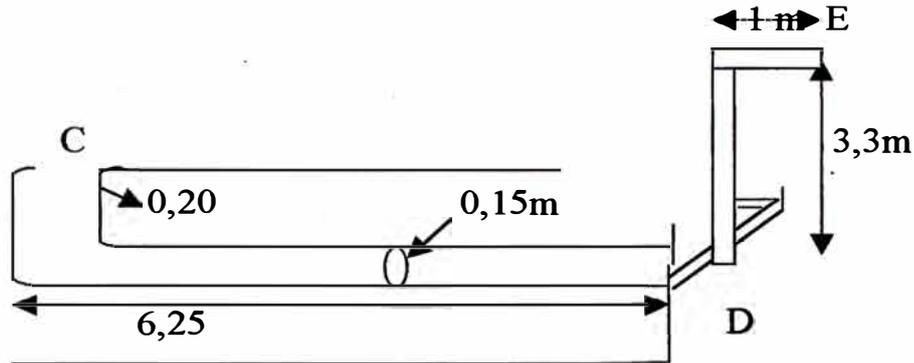
De tablas:  $f = 0,0275$

$$hf = f * (\Sigma Leq/D) * (V^2/2g)$$

$$\Sigma Leq = 4 * 5,565 = 22,3 \text{ m}$$

$$h_f = 0,0275 * (22,3/0,15) * (0,118^2 / (2 * 9,8)) = 2,9 * 10^{-3} \text{ m}$$

**Tramo CD:**



**Accesorios :**

- Codos: 4

$$L_{eq} = 4 * (17 \text{ ft} * 0,3048) = 20,8 \text{ m}$$

- Entrada de borde afilado: 2

$$L_{eq} = 2 * (17 * 0,3048) = 10,4 \text{ m}$$

- Longitud recta: 1 por cada ramal

$$L_{eq} = 2 * 6,25 + 2,2 = 14,7 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{eq} = 20,8 + 10,4 + 14,7 = 40,7 \text{ m}$$

$$Q_{\text{múltiple}} = 15 \text{ m}^3/\text{h} * 1\text{h}/3600\text{s} = 4,17 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \pi D^2 / 4 = \pi (0,15)^2 / 4 = 0,0177 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4,17 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,0177 \text{ m}^2} = 0,236 \text{ m/s}$$

$$Re = D \rho v / \mu = 0,15 * 1\,020 * 0,236 / (1,14 * 10^{-3}) = 31\,673,7$$

Para tubería de acero comercial de 6 pulg.  $\varepsilon / D = 0,0003$

De tablas:  $f = 0,024$

$$hf = f * (\sum L_{eq}/D) * (V^2/2g)$$

$$hf = 0,024 * (40,7/0,15) * (0,236^2/(2 * 9,8)) = 0,02 \text{ m}$$

### **Tramo DE:**

Accesorios :

- Tee: 1

$$L_{eq} = 34 \text{ ft} * 0,3048 = 10,4 \text{ m}$$

- Codos: 1

$$L_{eq} = (17 \text{ ft} * 0,3048) = 5,2 \text{ m}$$

- Contracción: 1 (6 a 4 pulg.)

$$L_{eq} = 4,5 \text{ ft} * 0,3048 = 1,4 \text{ m}$$

- Longitud recta:

$$L_{eq} = 3,3 + 1,0 = 4,3 \text{ m}$$

$$\sum L_{eq} = 10,4 + 5,2 + 1,4 + 4,3 = 21,3 \text{ m}$$

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h} * 1\text{h}/3600\text{s} = 8,33 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \pi D^2 / 4 = \pi (0,15)^2 / 4 = 0,0177 \text{ m}^2$$

$$V = Q / A = \frac{8,33 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,0177 \text{ m}^2} = 0,471 \text{ m/s}$$

$$Re = D \rho v / \mu = 0,15 * 1020 * 0,471 / (1,14 * 10^{-3}) = 63079$$

Para tubería de acero comercial de 6 pulg:  $\epsilon / D = 0,0003$

De tablas:  $f = 0,021$

$$hf = f * (\sum Leq / D) * (V^2 / 2g)$$

$$hf = 0,021 * (21,3 / 0,15) * (0,471^2 / (2 * 9,8)) = 0,034 \text{ m}$$

### Tramo EF:

- Longitud recta:

$$Leq = 1,0 + 0,5 + 12 = 13,5 \text{ m}$$

- 1 Válvula de globo de 4 pulg:

$$Leq = 115 \text{ ft} * 0,3048 = 35 \text{ m}$$

$$\sum Leq = 35 + 13,5 = 48,5 \text{ m}$$

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h} * 1\text{h}/3600\text{s} = 8,33 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \pi D^2 / 4 = \pi (0,1)^2 / 4 = 7,9 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = Q / A = \frac{8,33 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{7,9 * 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,054 \text{ m/s}$$

$$Re = D \rho v / \mu = 0,1 * 1020 * 1,054 / (1,14 * 10^{-3}) = 94305,3$$

Para tubería de acero comercial de 4 pulg:  $\varepsilon / D = 0,00045$

De tablas:  $f = 0,0205$

$$hf = f * (\sum Leq / D) * (V^2/2g)$$

$$hf = 0,0205 * (43,5/0,1) * (1,054^2/(2 * 9,8)) = 0,51 \text{ m}$$

$$H = hf + hp$$

$hf$  = Pérdida por fricción y forma de accesorios

$hp$  = Carga por energía potencial (elevación estática por succión)

$$H = 0,605 + 2,9 * 10^{-3} + 0,02 + 0,034 + 0,51 + 3,3 = 4,472 \text{ m}$$

$$P = K Q \rho H$$

Donde :

$Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\rho$  = Densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$K$  = Coeficiente: para lodos con 92% de humedad  $K = 4,7$

$$P = 4,7 * 8,33 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} * 1020 \text{ kg}/\text{m}^3 * 4,472 = 178,58 \text{ kg. m/s}$$

$$P = \frac{178,58 \text{ kg m/s}}{75} = 2,38 \text{ HP}$$

Considerando los factores de servicio:

$$P = 2,38 \text{ HP} / (0,85 * 0,7 * 0,9)$$

$$P = 4,4 \text{ HP}$$

Se requiere Bomba de lodos de 4,5 ó 5,0 HP

## **10.- TRATAMIENTO Y EVACUACIÓN DE LODOS**

## **10.- TRATAMIENTO Y EVACUACION DE LODOS**

Una fracción importante de las sustancias contaminantes que se separan en los procesos de tratamiento de aguas residuales se encuentra finalmente en los lodos. Obviamente estos lodos no deben evacuarse sin un tratamiento adecuado previo.

Los lodos constan de compuestos orgánicos no estabilizados y concentrados junto con compuestos orgánicos e inorgánicos inertes.

### **10.1 TIPOS DE TRATAMIENTO PARA LODOS**

**Espesamiento.-** Para concentrar los sólidos se utiliza espesamientos por gravedad. Los lodos primarios se pueden espesar hasta 6 u 8 % y los secundarios hasta 2%. Ya que estas concentraciones se pueden lograr en un tanque de sedimentación bien diseñado y operado, el espesamiento por gravedad tiene poco valor y algunos aspectos negativos. La actividad microbiana crea olores molestos e hidroliza parte de los compuestos orgánicos. El flujo de retorno devuelve algunos sólidos y compuestos orgánicos solubles al sistema de tratamiento, para su eliminación por segunda vez.

**Flotación.-** La flotación con aire es satisfactoria para concentrar lodos secundarios hasta aproximadamente 4%. Por lo general, los sólidos que entran se saturan con aire a una presión de 275 a 350 kPa antes de llegar al tanque de flotación. A medida que el aire entra en contacto con la solución, las burbujas finas recolectan en su parte superior los sólidos en suspensión y los acarrea a la superficie del tanque. Las burbujas del aire compactan los sólidos que flotan a su máxima extensión. Normalmente, la razón aire – sólido es 0,05 en peso. Las dimensiones de los tanques de flotación están determinados básicamente por la velocidad de carga de sólidos.

**Centrifugación.-** Tanto las centrifugas de canasta como de tazón sólido se emplean para concentrar los lodos de desecho. Los datos de campo muestran que es posible obtener concentraciones de 10 a 15% de sólido en el lodo activado de desecho, de 15 a 25% de sólidos con una mezcla de lodos primario y activado de desecho y hasta 30 a 35% de sólidos con el lodo primario exclusivamente. Las centrifugas dan como resultado una captación de sólidos de 85 a 90%, con una buena operación. El problema es que la zona central del centrifugado contiene los sólidos finos, cuya eliminación no es fácil y, por lo general, esta parte del producto centrifugado se devuelve al proceso de tratamiento, de donde puede ser extraída o no. Desde el punto de vista económico, las centrifugas no se recomiendan a menos que la concentración de la torta de lodos producida tenga por lo menos de 20 a 25% de sólidos.

**Digestión anaerobica.-** Ya que los componentes orgánicos del lodo primario o secundario contienen compuestos biodegradables, los lodos concentrados se pueden tratar mediante una digestión anaerobia. Los digestores anaerobios son grandes tanques cubiertos con tiempos de retención que varían entre 20 y 30 días, en función del volumen de lodo que se agrega diariamente. En la actualidad, se construyen dos digestores anaerobios de iguales dimensiones y se operan en serie, para que cada unidad tenga un tiempo de retención de 10 a 15 días. El primer digestor se calienta con un intercambiador externo de calor hasta una temperatura de 35 a 37 °C, para acelerar la velocidad de reacción. El mezclado proporciona un buen contacto entre los sólidos orgánicos que entran y los microbios. En el digestor anaerobio se puede utilizar mezclado con gas o mezcladores mecánicos. El segundo digestor es básicamente una unidad de separación de sólidos y, por lo

general, no está equipado por instalaciones de calentamiento o mezclado. La nata superficial se recircula a la planta de tratamiento, en tanto se permite que el sedimento asentado se concentre de 6 a 8% de sólido antes de regresarlo al medio ambiente.

**Filtro anaerobio.-** La digestión anaerobia está limitada por la capacidad del sistema para retener un alto nivel de bacterias formadoras de metano. El filtro anaerobio se desarrolló para retener estas bacterias en un medio fijo, con objeto de tratar altos volúmenes de compuestos orgánicos relativamente diluido con digestión anaerobia y la producción de metano gaseoso. Se ha investigado considerablemente el tratamiento anaerobico de diversos tipos de aguas de desperdicio, con compuesto orgánicos solubles. Por ejemplo, las aguas de desperdicio que contienen 200 mg/L de la BOCD se puede tratar en unas cuantas horas, por otra parte las aguas de desperdicios que contienen hasta 10000 mg/L de la BOCD requieren varios días de retención.

Si se logra un contacto adecuado entre los microbios y las aguas de desperdicio, se metaboliza aprox. 90% de la BOCD.

**Acondicionamiento Químico.-** La cal, el alumbre y varias sales férricas se utilizan para acondicionar el lodo o sedimento antes de filtrado. La cal reacciona para formar cristales de carbonato de calcio, que actúa como una matriz sólida para mantener separadas las partículas del sedimento y permitir que el agua escape durante el filtrado. El alumbre y las sales de fierro ayudan a desplazar parte del agua unida a los compuestos orgánicos hidrofílicos y a formar parte de la matriz inorgánica. Este tratamiento también ayuda a eliminar parte

de las partículas finas, al incorporarlas en los precipitados químicos insolubles.

**Acondicionamiento térmico.-** El acondicionamiento térmico de los sedimentos o lodos a desechar se desarrolló para oxidar totalmente los compuestos orgánicos. Al elevar la temperatura entre 180 y 230 °C durante 15 a 60 minutos es posible desaguar los sólidos restantes sin la adición de productos químicos. Para mantener fluido el sistema, la presión de operación del sistema de tratamiento térmico debe ser entre 1380 y 2070 kPa. Por lo general después de la reacción térmica los sólidos se separan en un tanque cubierto de sedimentación. Los gases emitidos tienen olor desagradable y generalmente se pasan a un calcinador para su total combustión. El líquido que sobrenada se devuelve al proceso de tratamiento y se vuelve a tratar.

En la actualidad, los aspectos económicos no favorecen al acondicionamiento térmico de los lodos.

**Filtración a presión.-** Desde principios de la década de los sesenta se ha incrementado el empleo de la filtración a presión porque produce una torta más seca de sedimento. Los filtros a presión constan de una serie de placas y marcos separados por medio de tela.

El filtro prensa opera a presiones que varían entre 689 y 1380 kPa. y el ciclo a presión requiere de 1,5 a 4 horas. Por lo general se necesitan de 20 a 30 minutos para eliminar la torta del filtro. La torta del sedimento varían de 20 a 25% para el sedimento activado a desechar, hasta 50% para el sedimento primario. Se requiere acondicionamiento químico para obtener una buena filtración del sedimento o lodo.

**Lechos de arena.-** El lecho de arena consta de grava gruesa hasta arena fina en una serie de capas y con una profundidad de 0,45 a 0,6m. El sedimento digerido se coloca sobre toda la superficie del filtro hasta una profundidad de 0,3 m y se deja hasta que seca. El agua que pasa a través del lecho de arena se lleva a un sistema de tubos de subdrenaje y se saca del filtro. El secado atmosférico elimina lentamente el agua restante. El lodo o sedimento debe eliminarse a mano del lecho antes de agregar la segunda capa de sedimento. El espesor de la capa de sedimento se reduce de 0,3 m a aproximadamente 0,006 m.

## **10.2 COLOCACION FINAL DEL LODO**

**Incineración .-** La incineración se utiliza para reducir el volumen del sedimento después del filtrado. Las fracciones orgánicas presentes en los sedimentos se incineran por sí mismas si no tienen demasiada agua.

Para la combustión del sedimento se utilizan incineradores de hogar múltiple y de lecho fluidificado.

A medida que incrementa la temperatura del horno, los compuestos orgánicos inician su degradación y se queman. Se utiliza aire para suministrar el oxígeno necesario y controlar la temperatura durante la combustión. Es muy importante mantener una temperatura superior a 600 °C para asegurar una oxidación completa de los compuestos orgánicos volátiles. El principal problema en los incineradores es la volatilización de compuestos orgánicos olorosos, generando la contaminación del aire por los incineradores.

**Rellenos sanitarios del terreno.-** A menudo el sedimento seco, digeridos o no, se entierran en un relleno sanitario para minimizar el impacto del medio ambiente. Recientemente se ha incrementado la preocupación respecto a los rellenos sanitarios, por lo que es más difícil el simple entierro de los sedimentos secos. Es necesario asegurarse de que no existen filtraciones en los rellenos sanitarios y se deben monitorear con regularidad, para determinar que no causan daño al medio ambiente. El contenido de humedad de la mayor parte de los sedimentos hacen que constituyan un problema en los rellenos sanitarios diseñados para los desperdicios sólidos y es necesario enterrarlos por separado.

**Diseminación en el terreno.-** El contenido de nutrientes en la mayor parte de los sedimentos posibilita su uso como fertilizantes y acondicionadores de tierra si se mezclan en forma adecuada con la superficie del terreno. La diseminación en el terreno ha ganado popularidad en las áreas agrícolas.

### **10.3 LODOS PROVENIENTES DE LOS EFLUENTES DE CURTIEMBRE**

Todo tratamiento del efluente líquido de curtiembre conduce a la formación de barros con un alto contenido de materia orgánica y de componentes inorgánicos (cal, cromo III, sulfuro, etc). Es decir que hemos transferido los problemas de contaminación del fluente líquido a los residuos sólidos, los cuales deben disponerse adecuadamente.

La disposición de los sólidos que surgen de los tratamientos de purificación presenta básicamente tres aspectos que hay que contemplar:

- Cantidad
- Materia orgánica no estabilizada
- Componentes inorgánicos tóxicos, en especial sulfuro y sales de cromo III.

Estos sólidos pueden dirigirse a distintos cuerpos receptores: tierra preparada para la agricultura, sitios destinados a rellenos sanitarios provistos de compactadores de residuos.

En el tratamiento de lodos se elige el secado al aire de lodos en lechos de arena, el cual es uno de los métodos más económicos para eliminar la mayor cantidad de agua. Es el método normal en el tratamiento de efluentes domésticos como industriales, en plantas pequeñas y medianas.

- 1) Disponibilidad de terrenos
- 2) Condiciones climáticas favorables, para máxima evaporación

El área es función de:

- 1) Precipitación y evaporación previsible
- 2) Características de los lodos

Actúan dos mecanismos de secado:

1.- Percolación (o infiltración) de agua a través del lecho de arena. La proporción de agua eliminada por este mecanismo es del 20 – 55%. La percolación suele completarse en 1 – 3 días, resultando una concentración de sólidos del 15 %.

2.- Evaporación de agua, a través de los mecanismos de radiación y convección.

El porcentaje de humedad de este lodo es del 92% y el caudal a tratar es de 30 m<sup>3</sup> por día, se va a disponer en lechos de arena de 10 x 10m los cuales serán conducidos a los lechos de secado que tendrán una altura total de 1 metro y estarán conformados por:

Arena .....	0,20 m.
Grava fina.....	0,10 m.
Grava gruesa .....	0,20 m
Lodos.....	0,30 m
Borde libre .....	0,20 m.

Los lodos se dejan secar hasta alcanzar un contenido en sólido entre el 30 y el 50%. Se recogen cuando alcanzan un estado que facilite dicha operación.

Por el contenido de nutrientes del lodo es posible emplearlos en la agricultura como fertilizantes y acondicionadores de tierra si se mezclan en forma adecuada con la superficie del terreno el cual será su disposición final.

## **11.- EVALUACIÓN ECONOMICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

## **11.- EVALUACIÓN ECONOMICA**

### **11.1.- AHORROS**

En las propuestas de reuso de los baños de pelambre y curtido, se logran ahorros en insumos químicos y agua, como se detalla a continuación:

#### **11.1.1.- SECTOR PELAMBRE**

Se realizó la recirculación del licor de pelambre con las siguientes condiciones de trabajo:

Peso de piel cruda	538,37 g de piel cruda/pelambre
Peso de cal	$3,3 \% * 538,37g = 17,76 \text{ g}$
Peso de sulfuro de sodio	$: 3,0 \% * 538,37 \text{ g} = 16,15 \text{ g}$
Volumen de flote	$130\% * 538,37 \text{ g} = 699,88 \text{ g}$

Se realizaron las pruebas obteniendo como resultado 4 recirculaciones del licor de pelambre.

La piel cruda total empleada: 2 153,48 g

Para una producción mensual: 60 122 kg de piel cruda se obtendrán los ahorros en insumos químicos y agua que se describen en el siguiente cuadro:

**Cantidad de reactivos agregados por ciclos (de la tabla 11)**

ciclos	Volumen líquido (mL)		Sulfuro de sodio (g)		Cal hidratada (g)	
	Recirculado	Agregado	Recirculado	Agregado	Recirculado	Agregado
1		699,88		16,15		17,76
2	300	399,88	6,44	9,7	8,76	9
3	210	489,88	4,17	12,33	7,76	10
4	248	451,88	5,17	11,33	5,26	12,5
5	377	322,88	7,96	8,55	4,76	13

**Tabla 50. Evaluación económica para el reuso del licor de pelambre**

Insumos	Cantidad actual mensual	Unidad	Cantidad propuesta mensual	Unidad	Ahorro	Ahorro (%)	Precio unitario	Unidad	Costo actual mensual(\$)	Costo propuesto mensual(\$)	Ahorro (\$)	Ahorro (%)
Cal	1984,03	kg	1375,26	kg	608,77	30,68	0,15	\$/kg	297,60	206,29	91,31	11,79
Na <sub>2</sub> S	1803,66	kg	1382,47	kg	421,19	23,35	1,60	\$/kg	2 885,86	2 211,95	673,91	87,00
Agua	78,16	m <sup>3</sup>	56,99	m <sup>3</sup>	21,17	27,08	0,44	\$/m <sup>3</sup>	34,39	25,08	9,31	1,21
<b>Total</b>											774,53	100,00

Ahorro Mensual: \$774,53/mes

Ahorro Anual : \$774,53/mes\* 12 meses/año = \$9 294,36/ año

### 11.1.2.- SECTOR CURTIDO

La alternativa propuesta de precipitar el cromo del licor de curtido y regenerar la sal de cromo para su reuso, se obtiene el siguiente ahorro:

Para la producción mensual de 19 200 kg de piel tripa/mes:

Carnaza: 9 600 kg de piel tripa  
Curtido : 9 600 kg de piel tripa

Se realizó el curtido con la sal de cromo regenerada, con las siguientes condiciones de trabajo:

Para una base : 9 600 kg de piel tripa/mes  
Peso de Sulfato de cromo :  $8\% * 9\ 600 = 768$  kg/mes  
Peso Carbonato de sodio :  $1,5\% * 9\ 600 = 144$  kg/mes  
Agua :  $70\% * 9\ 600 = 6\ 720$  L/mes

Para 15 L de licor de curtido se recupera 53,52 g de Sulfato de cromo.

Para 6 720 L de licor de curtido se recupera 23,98 kg de Sulfato de cromo.

Precio del Sulfato de cromo: \$1,42/kg

#### Ahorro mensual:

Sulfato de cromo:  $23,98$  kg/mes \*  $\$1,42/\text{kg} = \$ 34,05/\text{mes}$

#### Ahorro anual:

Sulfato de cromo:  $\$ 34,05/\text{mes} * 12$  meses =  $\$ 408,60/\text{año}$

<b>AHORRO TOTAL</b>	<b>\$/año</b>
SECTOR PELAMBRE	9 294,36
SECTOR CURTIDO	408,60
<b>TOTAL</b>	<b>9 702,96</b>

## **11.2.- CONTINGENCIAS Y PENALIDADES**

Las industriales que infrinjan los Art. 3º, 4º y 5º del Reglamento de Desagües Industriales (Decreto Supremo N°28-60-SAPL) y que el vencimiento de los plazos indicados no hubieran cumplido con ejecutar las obras recibirán las siguientes sanciones:

- El pago de multa estará comprendido entre S/.1000 entre S/. 10 000 según el grado de contaminación.
- Suspensión del servicio público de abastecimiento de agua potable.
- Gestión de la clausura de la industria renuente.

## **11.3.- INVERSIÓN**

El calculo de la inversión involucra dos términos completamente diferentes, uno se refiere a los costos que se incurren para construir el proyecto y el otro se refiere al capital necesario para garantizar el normal desarrollo del proceso productivo el cual se describe a continuación:

### **11.3.1.- COSTO DE EQUIPOS**

Presupuesto en dólares americanos para el tratamiento de los efluentes finales de descarga.

Distrito: Lima

Fecha de presupuesto: Diciembre 2002

Tipo de cambio del dólar americano: US\$ 1,00 = S/. 3,600

**Tabla 51. Costos de Equipos**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>CANT.</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>PRECIO UNITARIO (US\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (US\$)</b>
Agitador de 9 HP del Tanque de Almacenamiento	2	Acero Inoxidable	1 019,00	2 038,00
Tanque Mezclador ( $D_T = 39$ cm)	1	Acero Inoxidable 316	520,00	520,00
Agitador de 0,5 HP del Tanque Mezclador	1	Acero Inoxidable	476,00	476,00
Tanque de Dosificación ( $D_T = 92$ cm)	1	Acero Inoxidable 316	765,00	765,00
Agitador de 1,0 HP del Tanque de Dosificación	1	Acero Inóxidable	595,00	595,00
Bomba 1 (4 HP) Centrifuga	2	Caja (fierro fundido), impulsor (acero inox. 316 L)	1 199,00	2398,00
Bomba 2 (1 HP) centrifuga	1	Caja (fierro fundido), impulsor (acero inox. 316 L)	800,00	800,00
Bomba 3 (0,5 HP) Centrifuga	1	Caja (fierro fundido), impulsor (acero inox. 316 L)	685,00	685,00
Bomba 4 (5 HP) Diafragma	1	Caja (fierro fundido), impulsor (acero inox. 316 L)	1 427,00	1 427,00
<b>COSTO TOTAL (US\$)</b>			<b>9 704,00</b>	

### 11.3.2.- COSTO DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

#### HOJA DE METRADOS

DESCRIPCIÓN	UND	CANT	ALTO	ANCHO	LARGO	DIAM	PARCIAL	TOTAL
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>								
<b>Trazo y Replanteo</b>								166,86
Tanque de almacenamiento	m2	2				6,50	66,37	
Desengrasador	m2	1		1,65	18,20		30,03	
Floculador	m2	1		2,79	2,62		7,30	
Sedimentador	m2	1		4,65	11,70		54,41	
Canaleta	m2	1		0,70	12,50		8,75	
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>								
<b>Excavacion de terreno natural</b>	m3							687,49
Tanque de almacenamiento	m3	2	8,10			6,50	537,54	
Desengrasador	m3	1	0,83	1,65	18,20		24,92	
Floculador	m3	1	1,20	2,79	2,62		8,77	
Sedimentador	m3	1	1,96	4,65	11,70		106,63	
Canaleta	m3	1	1,10	0,70	12,50		9,63	
<b>Eliminacion de mat. excedente</b>	m3							893,72
<b>Nivelacion y Compactacion de Terreno Natural</b>	m2							166,86
Tanque de almacenamiento	m2	2				6,50	66,37	
Desengrasador	m2	1		1,65	18,20		30,03	
Floculador	m2	1		2,79	2,62		7,30	
Sedimentador	m2	1		4,65	11,70		54,41	
Canaleta	m2	1		0,70	12,50		8,75	
<b>CONCRETO</b>								
<b>Concreto f'c=140 kg/cm2</b>								
solado e=.10 en tanque de almacenamiento	m2	1					28,27	28,27
canaleta e=.10	m3	1	1	0,5	12,5		3,38	3,38
<b>Concreto f'c=175 kg/cm2</b>	m3							145,55
Tanque de almacenamiento e=0.20	m2	2	8,00			6,50	64,00	
Desengrasador e=0.10m.	m2	1	0,83	1,65	18,20		5,598	
Floculador e=0.10 m.	m2	1	1,20	2,79	2,62		1,21	
Sedimentador e=0.10 m.	m2	1	1,96	4,55	11,70		71,37	
Canaleta	m2	1	1,10	0,70	12,50		3,38	
<b>ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>								
<b>Encofrado y Desencofrado Normal</b>								179,56
Tanque de almacenamiento (losa inf)	m2	2				6,50	32,00	
Desengrasador	m2	1	0,83	1,65	18,20		34,38	
Floculador	m2	1	1,20	2,79	2,62		12,55	
Sedimentador	m2	1	1,96	4,55	11,70		97,929	
Canaleta	m2	1	1,10	0,70	10,00		2,70	

<b>Encofrado y Desencofrado con Triplay</b>								321,60
Tanque de almacenamiento ( lateral)	m2	2	8,00			6,50	321,60	
<b>TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE</b>								308,36
Tanque de almacenamiento	m2	2	7,80			6,50	160,80	
Desengrasador	m2	1	0,83	1,65	18,20		34,38	
Floculador	m2	1	1,20	2,79	2,62		12,55	
Sedimentador	m2	1	1,96	4,55	11,70		97,929	
Canaleta	m2	1	1,10	0,70	10,00		2,70	
<b>ACERO ESTRUC. PARA TANQUE DE ALMAC.</b>								
Acero fy 4200 kg/cm2	kg	2	8			6	5 790	5 7900

**PRESUPUESTO**

DESCRIPCION	UND	CANT.	PRECIO UNITARIO	PARCIAL S/.
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				
Trazo y Replanteo	m2	166,86	0,95	158,52
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
Excavacion de terreno natural	m3	687,40	21,40	14 710,36
Eliminacion de material excedente	m3	893,74	17,50	15 640,45
Nivelación y compactación de terreno natural	m2	166,86	2,72	453,86
<b>CONCRETO</b>				
Concreto f'c=140 kg/cm2	m3	30,97	220,00	6 813,40
Concreto f'c=175 kg/cm3	m3	144,87	275,00	39 839,25
<b>ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>				
Encofrado y desencofrado Normal	m2	179,56	29,19	5 241,36
Encofrado y desencofrado con triplay	m2	321,60	40,50	13 024,80
<b>TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE</b>				
	m2	308,36	18,50	5 704,66
<b>ACERO ESTRUC. PARA TANQUE DE ALMAC.</b>				
Acero f' y 4200 kg/cm2	Kg.	5 790,00	2,10	12 159,00
<b>Costo Directo</b>				<b>113 745,66</b>
<b>Gastos generales + Utilidad (20%)</b>				<b>22 749,13</b>
<b>Sub-Total</b>				<b>136 494,79</b>
<b>IGV(18%)</b>				<b>24 569,06</b>
<b>Costo Total (S/.)</b>				<b>161 063,85</b>
<b>Costo Total (US\$)</b>				<b>44 739,96</b>

### 11.3.3.- CAPITAL FIJO

Este tipo de inversión generalmente se realiza en la etapa de pre-operación e involucra todos los costos incurridos durante la pre-inversión y construcción hasta completar el último detalle que permita la operación segura y confiable de la planta.

<b>COSTOS DIRECTOS</b>		<b>US\$</b>
Costo de Equipos	(C.E)	9 704,00
Instalaciones	(0,45*C.E)	4 366,80
Instrumentación	(0,15*C.E)	1 455,60
Tuberías y Accesorios	(0,29*C.E)	2 814,16
Instalaciones Eléctricas	(0,08*C.E)	776,32
Construcción Civil		44 739,96
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (C.D)</b>		<b>63 856,84</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>		
Supervisión e Ingeniería	(0,10*C.D)	6 385,684
Contingencias	(0,05*C.D)	2 974,50
<b>TOTAL INVERSIÓN CAPITAL FIJO</b>		<b>73 217,024</b>

## 11.4.- COSTO DE TRATAMIENTO

Es el costo para llevar a cabo el normal funcionamiento de la planta de tratamiento. Los costo necesarios se detallan a continuación:

### 11.4.1.- INSUMOS QUÍMICOS

El Sulfato de Aluminio es el insumo que se requerirá en el tratamiento del efluente.

Cantidad	(kg/día)	104,00
Costo unit.	(US\$/kg)	0,40
Costo	(US\$/día)	41,60
Costo	(US\$/año)	11 190,40

### 11.4.2.- COSTO DE MANO DE OBRA

Es el costo del personal directamente involucrados en el tratamiento del efluente.

Costo/mes-h	(S/.)	3 000,00
Costo/año -h	(S/.)	36 000,00
Costo/año-h	(US\$)	10 000,00

### 11.4.3.- COSTO DE SERVICIOS

Requerimiento de agua:

Cantidad	(m <sup>3</sup> /día)	0,653
Costo unitario	(US\$/m <sup>3</sup> )	0,350
Costo	(US\$/día)	0,229
Costo	(US\$/año)	61,600

## Requerimiento de electricidad:

Base de un año = 269 días

<b>Agitador</b>	<b>Tiempo Oper. (hr/día)</b>	<b>kW-hr — día</b>	<b>Costo Unitario (S./Kw-hr)</b>	<b>Costo ( S./ día)</b>	<b>Costo Total (S./año)</b>
9HP (6,705 kW)	5	33,53	0,1132	3,80	1 022,2
0,5HP (0,373kW)	5	1,865	0,1132	0,211	56,76
1,0HP (0,745kW)	5	3,725	0,1132	0,422	113,52
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1 192,48</b>

<b>BOMBAS</b>	<b>Tiempo Oper. (hr/día)</b>	<b>kW-hr — día</b>	<b>Costo Unitario (S./Kw-hr)</b>	<b>Costo ( S./ día)</b>	<b>Costo Total (S./año)</b>
4HP (2,980 kW)	5	20,00	0,1132	2,264	609,02
1,0HP (0,745kW)	5	3,725	0,1132	0,422	113,52
0,5HP (0,373kW)	5	1,865	0,1132	0,211	56,76
5,0HP(3,725 kW)	2	7,45	0,1132	0,843	226,77
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>1 006,07</b>

<b>EQUIPOS</b>	<b>COSTO TOTAL (S./año)</b>	<b>COSTO TOTAL (US\$/año)</b>
AGITADORES	1 192,48	331,24
BOMBAS	1 006,07	279,46
	<b>2 198,55</b>	<b>610,70</b>

**11.4.4.- MANTENIMIENTO**

Se considera 0,02\* INVERSIÓN EN CAPITAL FIJO :

INVERSIÓN EN CAPITAL FIJO = US\$ 73 217,024

**[ COSTO DE MANTENIMIENTO (US\$/año) ] 1 464,34**

Insumos Químicos (US\$/año)	11 190,40
Mano de Obra (US\$/año-h)	10 000,00
Electricidad (US\$/año)	610,70
Agua (US\$/año)	61,60
Mantenimiento (US\$/año)	1 464,34
<b>COSTO DE TRATAMIENTO (US\$/año)</b>	<b>23 327,04</b>

## 11.5.- EVALUACIÓN ECONOMICA

Determina la rentabilidad del total de la inversión requerida para efectuar el proyecto, no se considera los efectos de financiamiento.

El cual requiere lo siguiente:

Estado de Ganancias y perdidas proyectado

Flujo de Caja proyectado

### 11.5.1.- ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS PROYECTADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Es elaborado para la etapa de operación del proyecto y muestra los resultados de la operación del proyecto o empresa, es un estado de flujo de dinero durante un período determinado, generalmente un año.

**INGRESOS:** Los ingresos totales de la planta de tratamiento se calcula de la siguiente manera:

**Ingresos = Ahorros + Lucro cesante de la empresa + Penalidades**

AHORROS: US\$ 9 702,96

PENALIDADES = S/. 5 500,00 = US\$ 1 528,00

LUCRO CESANTE DE LA EMPRESA:

LUCRO = INGRESOS - EGRESOS

INGRESOS :

**Cueros:**

Producción mensual	24 000 pie <sup>2</sup> /mes
Costo unitario	S/. 5,00/pie <sup>2</sup>
Costo mensual	S/. 120 000/mes
Costo anual	S/. 1 440 000/año
Costo anual	US\$ 400 000/año

**Suelas:**

Producción mensual	:	24 000 kg/mes
Costo unitario	:	S/. 15,00/kg
Costo mensual	:	S/. 360 000/mes
Costo anual	:	S/. 4 320 000/año
Costo anual	:	US\$ 1 200 000/año

**Ingreso Total de la Empresa:**

Cueros	:	US\$ 400 000/año
Suelas	:	US\$ 1 200 000/año
		US\$ 1 600 000/año

**EGRESOS :**

Considerando una Utilidad Neta del 10%

$$\text{EGRESOS} = \text{INGRESOS}/1,10$$

$$\text{EGRESOS} = \text{US\$ } 1\,600\,000/1,10$$

$$\text{EGRESOS} = \text{US\$ } 1\,454\,545,46/\text{año}$$

$$\text{LUCRO} = 1\,600\,000,00 - 1\,454\,545,46$$

$$\text{LUCRO} = 145\,454,54/\text{año}$$

$$\text{Ingresos} = 9\,702,96 + 145\,454,54 + 1\,528,00$$

$$\text{Ingresos} = \text{US\$ } 156\,685,50$$

**EGRESOS:**

CAPITAL FIJO	73 217,02
COSTO DE TRATAMIENTO	<u>23 327,04</u>
	<b>US\$ 96 544,06</b>

<b>RUBROS</b>	<b>US\$ año 0</b>
Ingresos	156 685,50
Egresos	96 544,06
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>60 141,44</b>
Reserva Legal (10%)	6 014,14
Utilidad Retenida (1 %)	601,41
Dividendos	53 525,89



**FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA**  
**(US\$ del año 0)**

ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Inversión</b>											
Capital Fijo	73217										
Costo de Tratamiento(C.T)	23327										
Capital de Trabajo(20% C.T)		4665	4665	4665	4665	4665	4665	4665	4665	4665	4665
<b>Total Inversión</b>	<b>96544</b>	<b>4665</b>									
<b>Utilidad Neta</b>		<b>60141</b>									
Depreciación	0	7322	7322	7322	7322	7322	7322	7322	7322	7322	7322
<b>Flujo Neto De Fondos</b>	<b>-96544</b>	<b>62798</b>									
Aportes	96544	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dividendos	0	0	53526	53526	53526	53526	53526	53526	53526	53526	53526
Saldo de Caja	0	62798	9272	9272	9272	9272	9272	9272	9272	9272	9272
Caja Residual	0	62798	72070	81341	90613	99885	109157	118429	127701	136973	146244

## CRITERIOS DE EVALUACION

TASA DE DESCUENTO:            10%

### VALOR PRESENTE NETO ECONOMICO

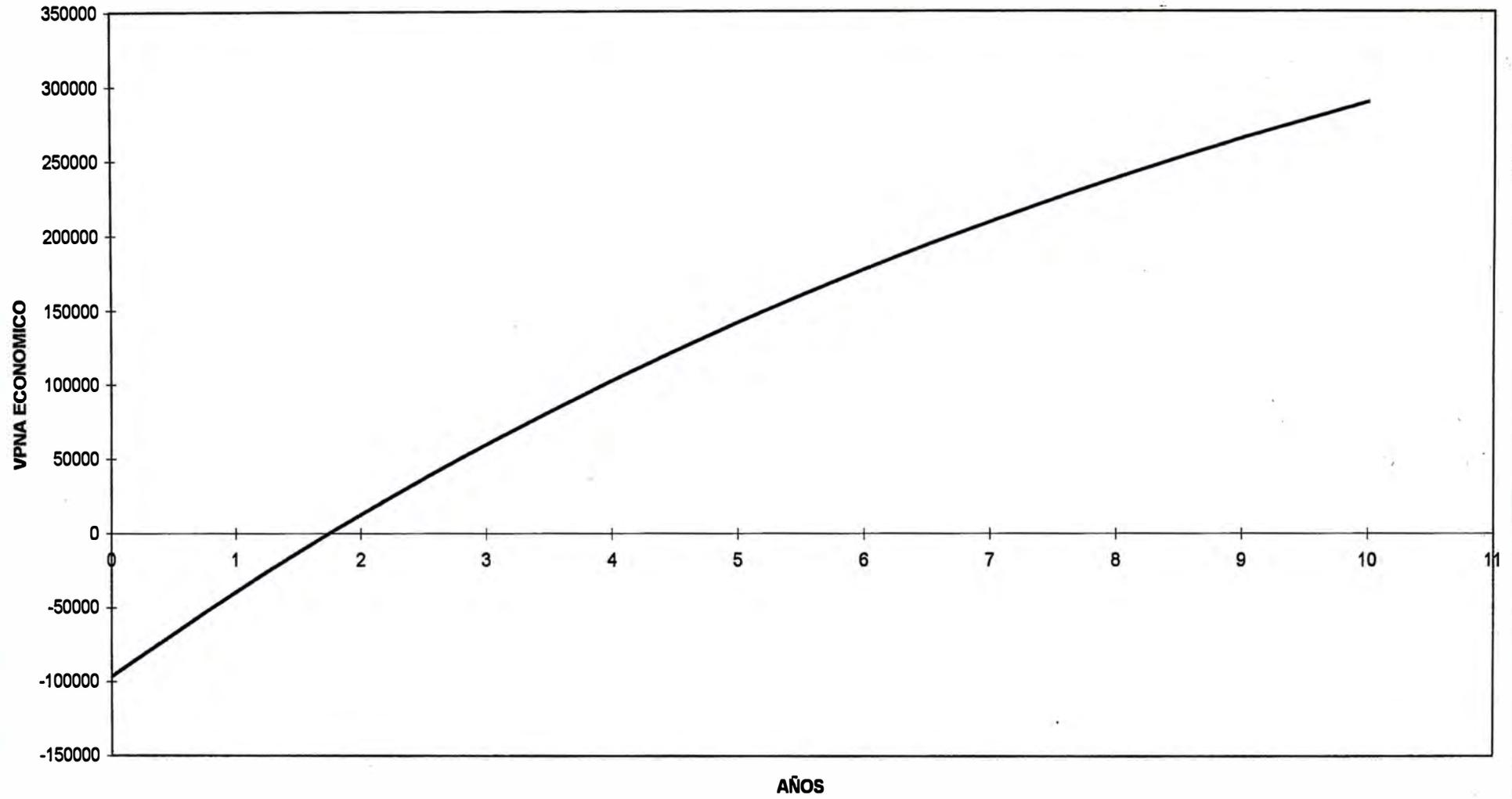
ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FNF <sub>E</sub> / (1+TD) <sup>i</sup>	-96544	57089	51899	47181	42892	38992	35448	32225	29296	26632	24211
VPNA <sub>E</sub> 0,10% =	-96544	-39455	12444	59625	102516	141509	176956	209182	238477	265110	289321
VPN <sub>E</sub> 0,10% =	289321										

TIR <sub>E</sub> =	64.60%	0.15
--------------------	--------	------

TIEMPO DE RECUPERO:    1 año 9 meses

ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VPNA <sub>E</sub> 0,10% =	-96544	-39455	12444	59625	102516	141509	176956	209182	238477	265110	289321

### TIEMPO DE RECUPERO



## **12.- CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

Las conclusiones que se presentan son el resultado de la investigación efectuada en el estudio de los efluentes líquidos de curtiembre.

Es factible aplicar tratamientos preventivos en el sector pelambre y sector curtido, para reducir los componentes del proceso que más contribuyen a la carga contaminante del efluente y/o facilitar el tratamiento final de los efluentes.

En el sistema de pelambre el empleo de sulfuro alcanza en el efluente concentraciones muy superiores a las permitidas por las autoridades sanitarias. Para lo cual se empleó etapas de recirculación de dicho licor obteniéndose como óptimo cuatro ciclos, con los debidos esfuerzos de insumos químicos, ahorrando 23,35 % de sulfuro, 30,68 % de hidróxido de calcio y 27,08 % de agua.

También en el caso de la etapa de curtido, se optó por la alternativa de precipitar el cromo contenido en los baños residuales, y regenerar la sal de cromo curtiembre a partir del precipitado obtenido. Presenta la ventaja de que casi no es necesario modificar el proceso de producción, ya que el cromo recuperado ingresa al ciclo de la misma forma que el cromo fresco. La única modificación sería en que la curtiembre debe adaptarse a manejar la sal de cromo en forma líquida, lo cual no representa mayores dificultades. Se trabajó con el fin de determinar el precipitante más adecuado y las mejores condiciones de precipitación, obteniéndose como resultado trabajar con hidróxido de sodio a una temperatura de 40 °C. Cabe mencionar que los líquidos residuales del curtido se vuelcan a una temperatura de 35-40°C, lo cual permitiría un tratamiento directo de éstos sin gastos considerables de energía, por un tiempo de agitación de 90 min. y se obtiene una eficiencia de 90,45%. La compacidad del precipitado obtenido, hace posible la separación del líquido sobrenadante sin

filtración. Se demostró la posibilidad de extrapolar a escala piloto el método de precipitado optimizado en el laboratorio.

Por último se trabajó con los efluentes finales de la curtiembre, utilizando el equipo de prueba de jarras para determinar los parámetros óptimos de floculación y sedimentación, obteniéndose:

Coagulante : Sulfato de Aluminio

Dosis óptima : 580 ppm

Concentración óptima : 8%

Mezcla rápida : 300 rpm

pH : 8,5

Tiempo de floculación : 10 s

Gradiente de velocidad :  $131 \text{ s}^{-1}$  y  $68 \text{ s}^{-1}$

Velocidad de sedimentación: 0,02 cm/s

Se diseñó los equipos teniendo en cuenta el área destinada para la planta de tratamiento y el caudal de diseño de  $180 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Se diseñaron los siguientes equipos: tanques de homogenización, desengrasador, mezclador, floculador y tanque de sedimentación, teniendo en cuenta los criterios de diseño para cada caso: Así como el sistema de cañerías y accesorios adicionales (válvulas, tees, codos, etc).

Los lodos provenientes del sedimentador serán enviados a un filtro de arena, donde se separan los líquidos (que se enviarán al alcantarillado); y los sólidos (que se emplearán en la agricultura como fertilizantes y acondicionadores de tierra).

Se evaluó la rentabilidad del proyecto, los indicadores son la tasa interna de retorno (TIR) , el valor presente neto de la inversión (VPN) y el tiempo de recupero (TR) de la inversión. La evaluación económica demuestra que el proyecto es económicamente rentable. Se obtuvo:

- $VPN_{E0,10\%} = \text{US\$ } 289\,321$
- $TIR_E = 64,60\%$
- $TR = 1 \text{ año } 9 \text{ meses}$

## **13.- BIBLIOGRAFÍA**

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Ernest E. Ludwing. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical plants. Volumen 1, 1977.
- 2.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) ciclo: tratamiento serie Filtración Rápida manual V: Diseño, 1992.
- 3.- Crites Ron, George Tchobanoglous, Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones. Mc. Graw Hill, 2000.
- 4.- Hernández Muñoz Aurelio, Depuración de Aguas Residuales. Colegio de Ingenieros (camino, canales y puertos), 1,998.
- 5.- Gad Hetsroni. Handbook of multiphase systems. Mc Graw Hill, 1982.
- 6.- Jorge Arboleda Valencia Teoría y Práctica de la Purificación del Agua, Tomo 1 y 2 Mc. Graw Hill, 2000.
- 7.- Alan S. Foust. Principios de Operaciones Unitarias Edit. Continental, 1982.
- 8.- Nicolas P. Chopey y Tyler G. Hicks. Manual de Cálculos de Ingeniería Química. Mc. Graw Hill, 1986.
- 9.- Max S. Peters. Diseño de planta y su evaluación económica para Ingenieros Químicos. Mc.Graw. Hill, 1978
- 10.- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) ciclo: Tratamiento serie; Filtración rápida Manual IV: Evaluación.
- 11.- Carlos Cantera, Tecnologías que reducen el consumo de insumos químicos y carga contaminante de los efluentes de curtiembre, volumen IV, 1982.
- 12.- Centro de Promoción de tecnologías sostenibles curtiembre y manufactura Boliviana.
- 13.- Mc Cabe Smith, Operaciones Básicas de Ingeniería Química.
- 14.- Arce García Omar Orlando, Alternativas de Tratamiento de RIL de curtiembre que descargan al sistema de alcantarillado, la Paz-Bolivia, Setiembre 1991.
- 15.- Rubens S Ramalho, Tratamiento de Aguas Residuales, Editorial Reverté 1993.

- 16.- Gael D. Ulrich, Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química, Mc. Graw – Hill, 1993.
- 17.- Perry Robert H, Manual del Ingeniero Químico, Mc Graw- Hill, Sexta edición.
- 18.- H. F. Rase y M. H. Barrow, Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso, Continental S.A , novena edición, 1984.
- 19.- Max S. Peters, Diseño de Planta y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos, Géminis S.R.L ,1978.

**APENDICE A**  
**MÉTODO DE ANÁLISIS**

## DETERMINACION DE SULFURO

La técnica empleada para la determinación de  $S^{2-}$  es la valoración iodométrica con solución 0,025N de  $Na_2S_2O_3$  (tiosulfato de sodio).

Esta permite la determinación del ión  $S^{2-}$  sin sufrir interferencias por parte de las sustancias orgánicas disueltas y de otros iones presentes en el baño descargado del pelambre.

El procedimiento analítico es el siguiente:

1. Tomar 10 mL de la muestra (descarga del baño de pelambre filtrada) y diluir a 100 mL con agua destilada (dilución 1:10)
2. Verter 10 mL de solución 0,025N de KI/I (yoduro de potasio) en un frasco erlenmeyer de 250 mL, el cual debe exceder la cantidad de sulfuro presente, agregar 2 mL de HCl (ácido clorhídrico) 6N.
3. Verter 10 mL de la muestra diluida en una pipeta y descargar bajo la superficie de la solución de KI/I (yoduro de potasio) con constante agitación.
4. Agregar más yodo si el color del yodo desaparece, hasta que permanezca el color
5. Titular con una solución de 0,025 N de  $Na_2S_2O_3$ ; cuando la muestra tiene un color ligeramente amarillo, agregar más gotas de solución de almidón y continuar titulando hasta que el color azul desaparece.
6. Calcular la concentración del sulfuro con la siguiente formula:

$$\text{mg/L } S^{2-} = \frac{(V1 * C1 - V2 * C2) * 16,000 * f}{\text{mL muestra}}$$

mL muestra

**Donde:**

**V1 = mL de solución de KI/I**

**C1 = Normalidad de la solución de KI/I**

**V2 = mL de solución  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$**

**C2 = Normalidad de la solución  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$**

**f = Factor de dilución de la muestra (1:10, 1:100, etc)**

## ACEITES Y GRASAS

### Principio:

Las grasas se extraen de la muestra, acidificada a  $\text{pH}=5$ , con hexano y se determina gravimétricamente después de la evaporación del disolvente.

### Equipos y vidriería

1. Embudo de separación de 2 litros.
2. Balanza analítica
3. Desecador
4. Balón de 200 mL
5. Un termómetro
6. Mechero con soporte
7. Un condensador
8. Una estufa
9. Erlenmeyer de 500 mL.

### Reactivos:

- HCl o NaOH (para regular a  $\text{pH} = 5$  )
- Hexano p.a

### Procedimiento:

Homogenizar la muestra y medir aprox. 1 litro de agua residual. Transvasar a una pera de separación y extraer con 25 mL de hexano, agitar por 5 minutos . Separar la fase acuosa y proceder de la misma forma para una segunda extracción.

El extracto orgánico se separa en un balón de destilación previamente pesado. Se pone en baño maría y empieza la destilación con hexano, controlando con el termómetro el punto de ebullición del hexano de  $69\text{ }^{\circ}\text{C}$

Evaporar el disolvente por destilación hasta aproximadamente 5 mL y secar en estufa a 105 °C hasta peso constante. Poner luego en el desecador y pesar.

**Formula:**

$$\text{mg/L de aceites y grasas} = \frac{(W_{b+m} - W_b) \cdot 10^6}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

$W_{b+m}$  = Peso del balón más el extracto (grasa)

$W_b$  = Peso del balón

## **DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO**

### **Principio:**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se define como la cantidad de oxígeno consumido en las condiciones del ensayo, es decir después de la incubación durante 5 días, a 20°C y en la oscuridad, para ciertas materias presentes en el agua, principalmente para asegurar la degradación por vía biológica.

### **Aparatos:**

- Frascos de incubación de 250-300 mL de capacidad
- Incubadora de aire o baño maría con control termostático a  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$   
Se debe excluir completamente la luz, para evitar que las algas produzcan OD en la muestra.
- Difusor de aire

### **Reactivos:**

- Agua destilada: El agua que se usa para la preparación de las soluciones y para el agua de dilución debe ser de la más alta calidad.
- Solución amortiguadora de fosfato: se disuelve 8,5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 21,75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ; 33,4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y 1,7 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en unos 500 mL de agua destilada diluyéndose a 1 litro.
- Solución de sulfato de Magnesio
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico
- Solución de ácidos o álcalis
- Solución de sulfito de sodio
- Inóculo

**Preparación :**

Preparar el agua de dilución (1 mL de la solución amortiguadora de fosfato, 1 mL de sulfato de magnesio, 1 mL de cloruro de calcio, y 1 mL de cloruro férrico por cada litro de agua) y airear con un difusor.

Luego se verifican varias diluciones de la muestra preparada para que por incubación se obtengan los abatimientos necesarios.

Se agrega 1 ml. de álcali -yoduro, 1 mL de sulfato de magnesio, 2 mL de ácido sulfúrico, almidón y titular con tiosulfito de sodio.

**Tabla 51. Medidas de DBO con varias diluciones de muestras**

USANDO MEZCLAS EN %	
MEZCLAS %	RANGO DE DBO
0,01	20 000 – 70 000
0,02	10 000 – 25 000
0,05	4 000 – 14 000
0,1	2 000 - 7 000
0,2	1 000 - 3 500
0,5	400 - 1 400
1,0	200 - 700
2,0	100 - 350
5,0	40 - 140
10,0	20 - 70
20,0	10 - 35
50,0	4 - 14
100,0	0 - 7

## CALCULO DE LA DBO

Para todos los propósitos prácticos, el cálculo de la DBO por el método de dilución puede determinarse por la siguiente fórmula:

$$\text{DBO (mg/L)} = \frac{[(\text{OD}_b - \text{OD}_i) * 100]}{\%} - (\text{OD}_b - \text{OD}_s)$$

Donde:

$\text{OD}_b$  = Oxígeno disuelto del blanco, al final del período de incubación.

$\text{OD}_i$  = Oxígeno disuelto en la dilución de muestra, al fin del período.

$\text{OD}_s$  = Oxígeno disuelto presente en la muestra no diluída.

## DETERMINACION DE OXIDO DE CROMO(+3) EN EL BAÑO RESIDUAL DE CURTIDO

- Colocar 10 ml de muestra en un erlenmeyer de 250 mL, agregar 25 mL de NaOH al 4% y 15 mL de agua oxigenada (20 volúmenes).
- Dejar hervir durante 10 minutos, luego enfriar en una corriente de agua.
- Después de fría agregar 5 mL de nitrato de níquel al 5%, volver hacer hervir durante 10 minutos.
- Enfriar en una corriente de agua. Después de fría agregar HCl concentrado hasta que la coloración amarilla pase a una coloración naranja.
- Dejar enfriar y agregar 20 mL de yoduro de potasio al 20%.
- Titular con una solución de tiosulfato de sodio 0,1N, usando indicador de almidón.

### Formula:

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ (g/L)} = \frac{N * V * e * 1\,000}{V1}$$

Donde:

N = Normalidad del  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

V = Volumen gastado del  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

V1 = Volumen de la muestra

e = 0,0253

## ALCALINIDAD

### Principio:

Por lo general las aguas naturales son alcalinas, por la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido fuerte.

### Materiales y reactivos:

- Una bureta graduada de 50 mL.
- Un erlenmeyer
- Una pipeta volumétrica de 50 mL.
- Ácido sulfúrico concentrado al 0,02N.
- Indicador anaranjado de metilo
- Indicador de fenoltaleína

### Procedimiento:

- Por medio de la pipeta volumétrica tomar 50 mL de muestra y pasarlo al erlenmeyer.
- Añadir 3 gotas de indicador de fenoltaleína. Titular con ácido sulfúrico hasta que decolore.
- Luego añadir 3 gotas de indicador anaranjado de metilo y continuar titulando hasta el primer cambio permanente de color (amarillo a naranja salmón)
- Anotar los mililitros utilizados.

### Cálculos:

Alcalinidad Total (ppm  $\text{CaCO}_3$ ) = mL.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  \* 1 000

---

mL. muestra

## DUREZA POR TITULACION CON EDTA

### Principio:

El ácido etilendiaminotetracético (EDTA) forman un quelato complejo soluble cuando se agregan a una solución de ciertos cationes metálicos. Si se agrega un colorante negro de cromo T, a una solución acuosa que contenga iones de calcio y magnesio, a un valor de pH de  $10 \pm 0,1$ , la solución vira al rojo vino.

### Materiales y reactivos:

- Un erlenmeyer
- Dos pipetas graduadas
- Una bureta graduada
- Una pipeta volumétrica de 25 mL.
- Solución amortiguadora
- Titulador valorado EDTA (0,01N)
- Indicador como negro T

### Procedimiento:

- Con la ayuda de una pipeta volumétrica tomar 25 mL. De la muestra en un erlenmeyer y diluir con agua destilada a 50 mL.
- Agregar 1 mL. de solución amortiguadora y agitar, luego 1 mL. de inhibidor y agitar . Agregar 1 ó 2 gotas de indicador, titular lentamente, agitando hasta que desaparezca la coloración rojiza. Las últimas gotas a intervalos de 3 a 5 segundos hasta que aparezca una coloración azul.

### Cálculos:

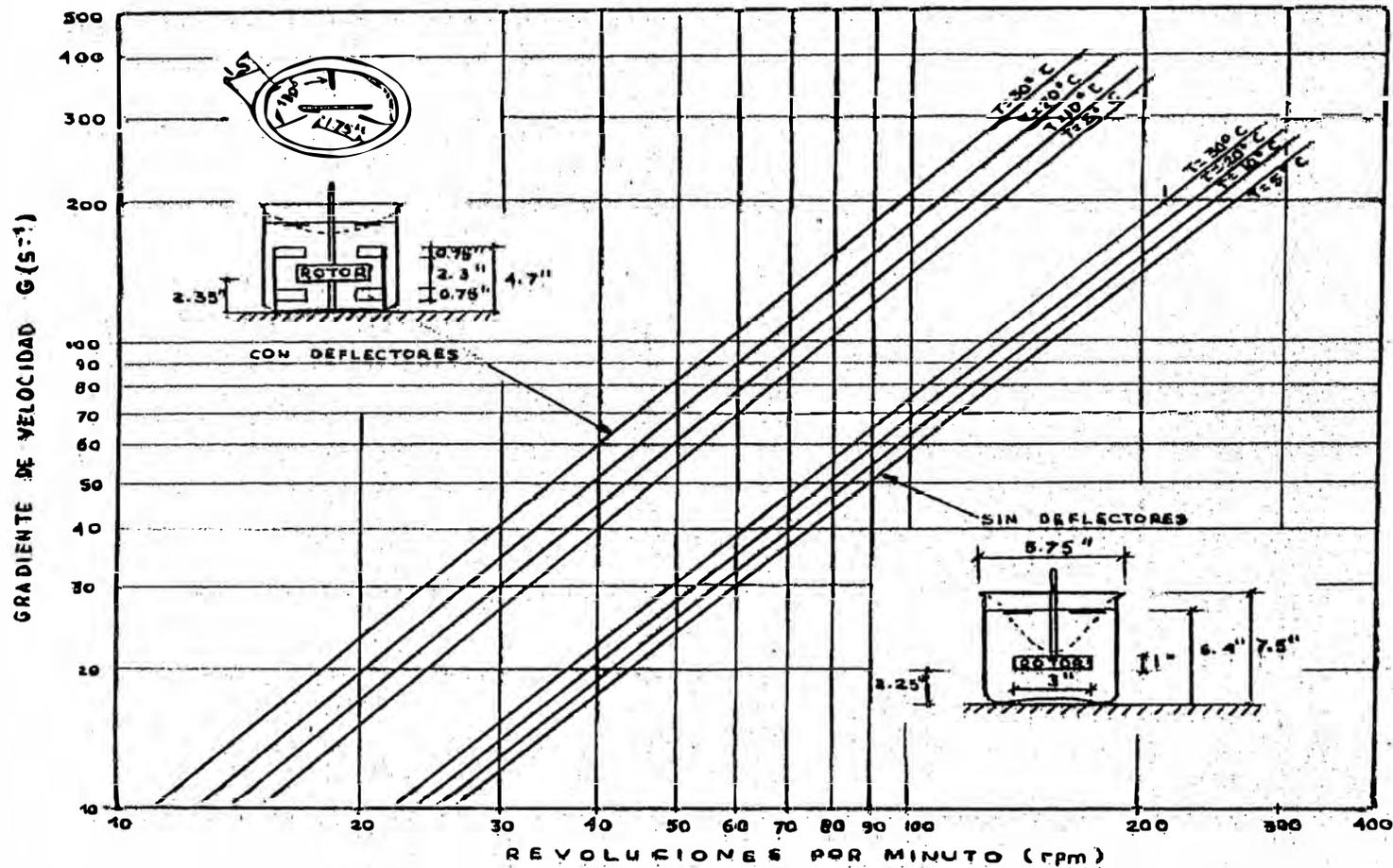
Dureza  $\text{CaCO}_3$  (mg/L) = mL. de titulado EDTA \* 1000 \* f

---

mL. muestra

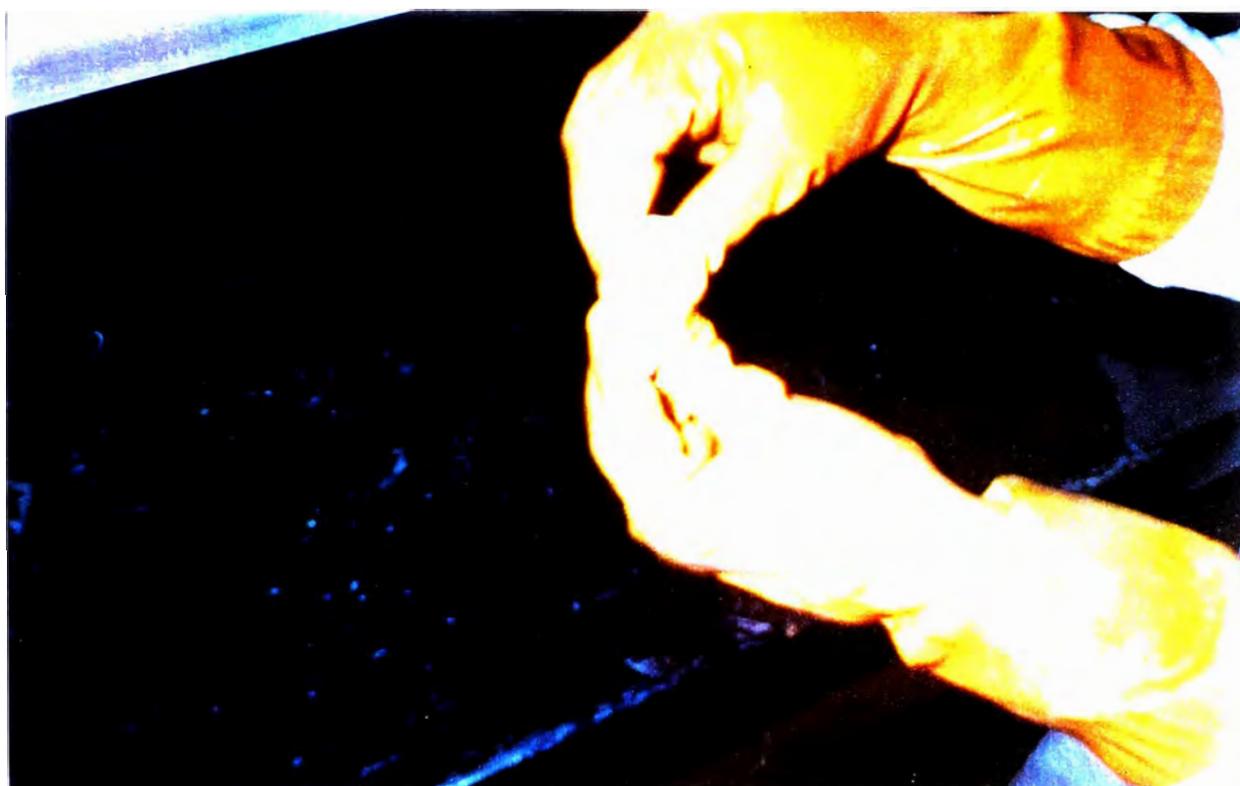
**APENDICE B**  
**GRÁFICO PARA PRUEBA DE JARRAS Y FOTOS**

# RELACION DE GRADIENTE DE VELOCIDAD CON LAS RPM EN UN EQUIPO DE PRUEBAS DE JARRA CON RECIPIENTES DE 2 LITROS





**Piel cortada en trozos de 10 cm x 10 cm**



**Piel después del pelambre**



**Prueba con Sulfato Ferroso**



**Prueba con Sulfato de Aluminio**



**Efluente final después del tratamiento**

**APENDICE C**  
**GRAFICOS Y TABLAS PARA EL**  
**CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS BOMBAS**

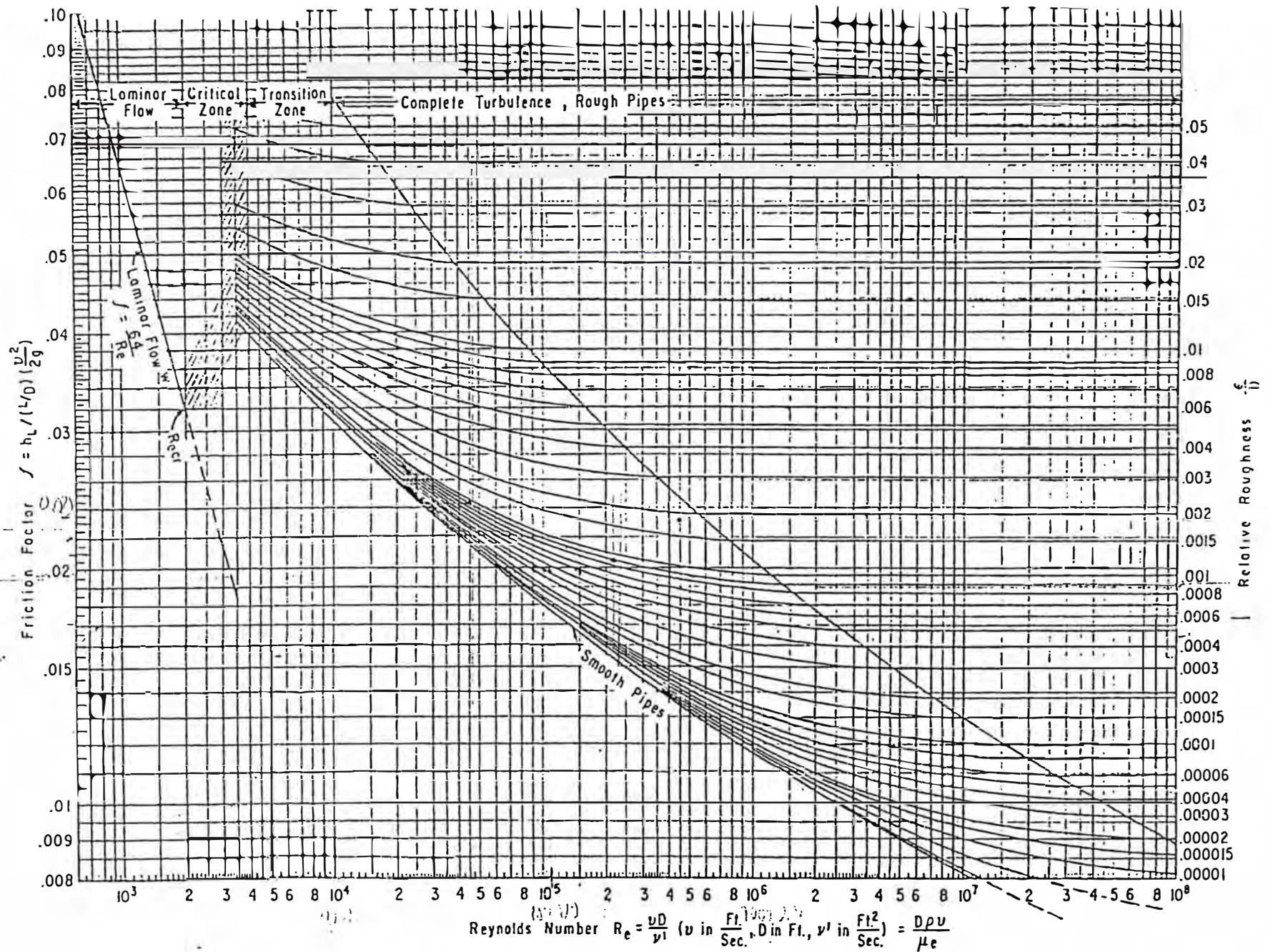
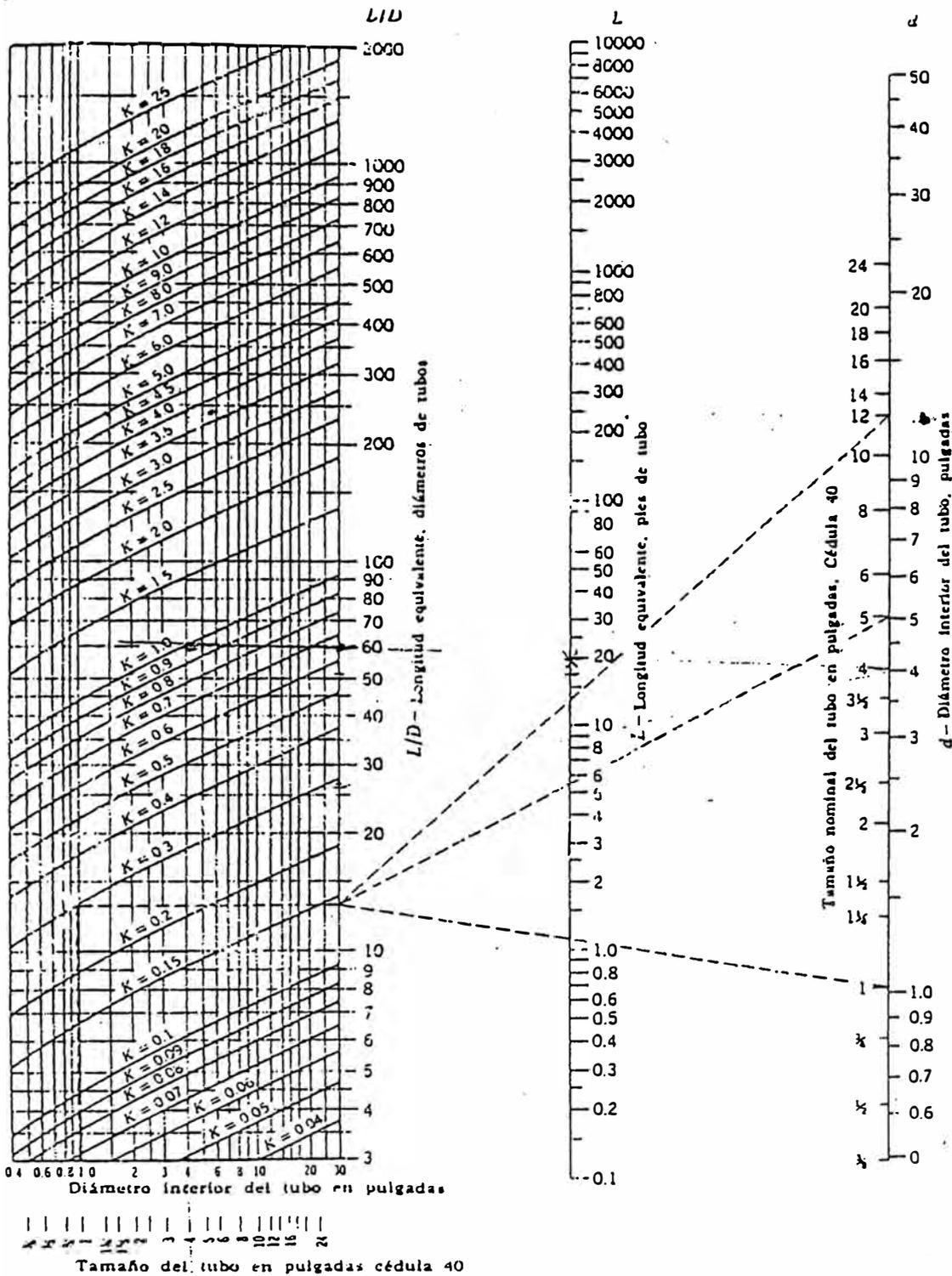


Figure 2-2. Moody or "regular" Fanning friction factors for any kind and size of pipe (Reprinted from *Pipe Friction Manual*, copyright 1954 by the Hydraulic Institute, 122 East 42nd Street, New York.) Data from L.F. Moody, "Friction Factors for Pipe Flow," by ASME.

Apendice C-2d. LONGITUDES EQUIVALENTES L y L/D Y COEFICIENTES DE RESISTENCIA K. (CRANE CO.)



**PROBLEMA:** Encuentre la longitud equivalente, metros de tubo y pies de tubo Cédula 40, y su  $K$  resistencia  $K$ , para válvulas de completamente abiertas, de 1-, 5-, y 12- plg.

Tamaño de la válvula	Solución			Ref. a
	1"	5"	12"	
Longitud equiv., diám. de tubo	13	13	13	Ap. C-2a
Long equiv., pies tub. Céd. 40	1.1	5.5	13	<u>Líneas pun-</u> <u>teadas en la</u>
Fact. $K$ resist., base tub. Céd. 40	0.30	0.20	0.17	Tabla

Fluid Flow

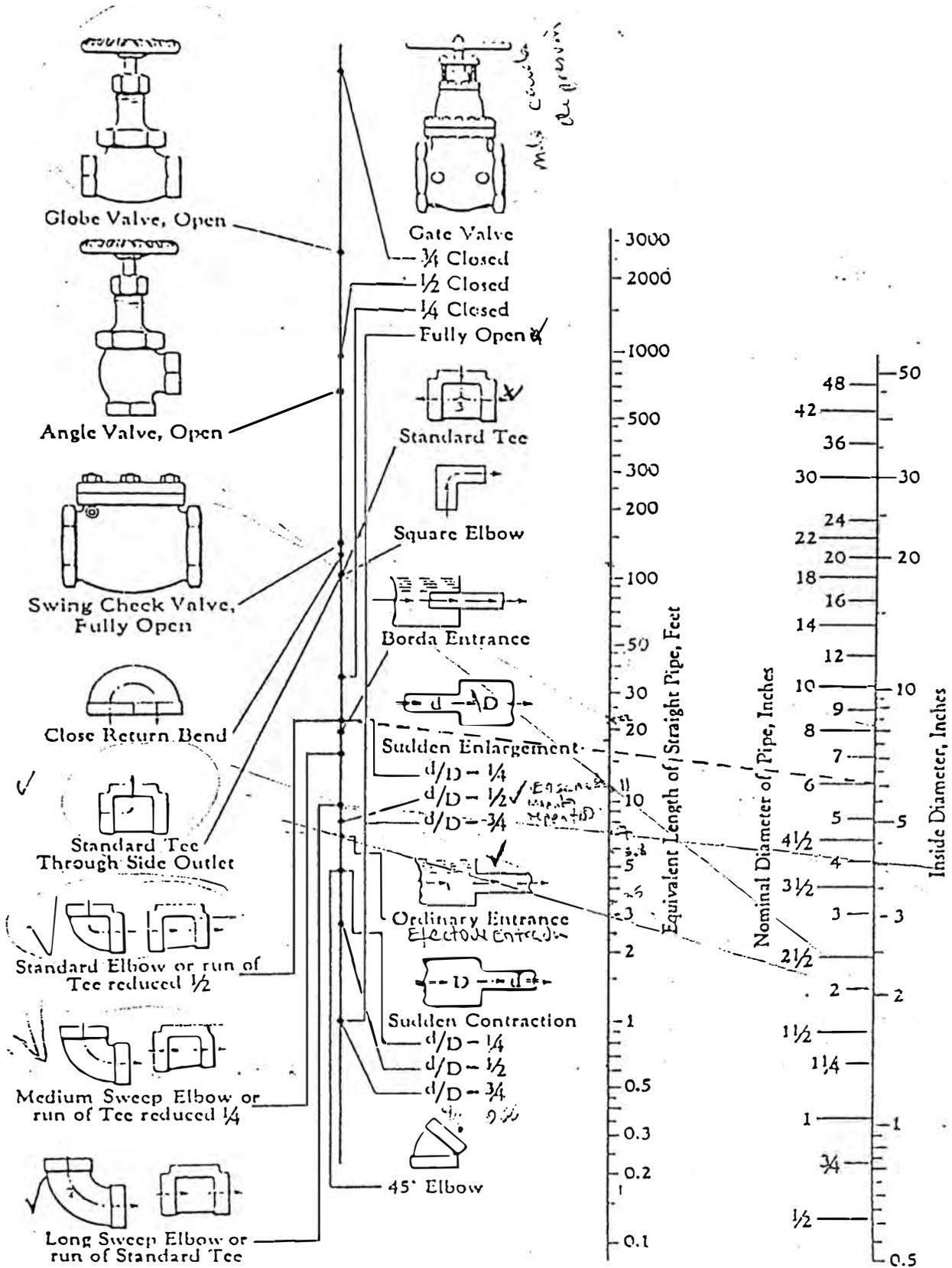


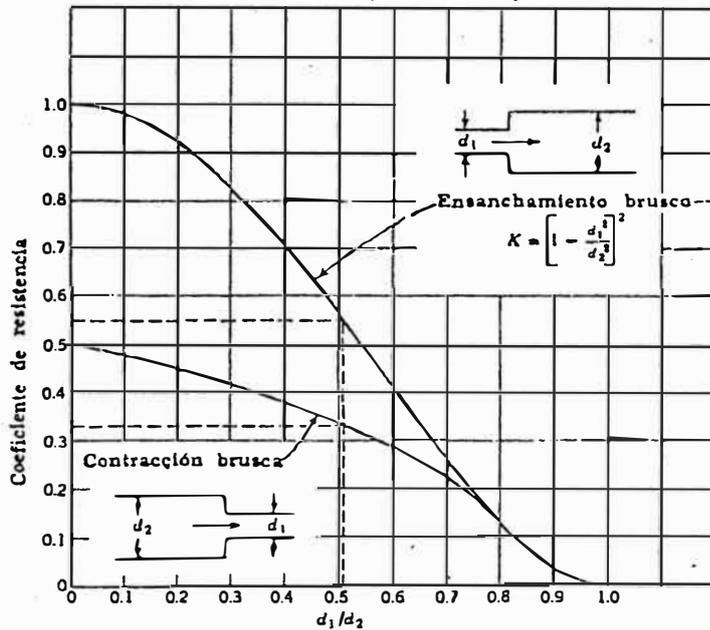
Fig. 2-8. Resistance of valves and fittings to flow of fluids. (By permission, "Technical Paper #409," Crane Engineering Div., 1942, Chicago.)

Apéndice C-2. Continúa

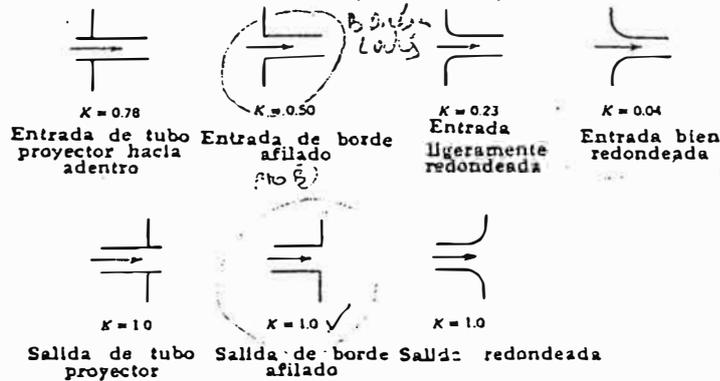
Longitud equivalente en diámetros de tubos (L/D)

Descripción	Longitud equivalente en diámetros de tubos (L/D)
<b>Conexiones</b>	
Codo normal a 90°	30
Codo normal a 45°	16
Codo de radio largo a 90°	20
Codo para calle a 90°	50
Codo para calle a 45°	26
Codo para esquina cuadrada	57
<b>T normal</b>	
Con flujo a todo lo largo	20
Con flujo a través de la rama	60
Patrón cerrado de tubo de retorno	50

Apéndice C-2b. RESISTENCIA DEBIDA A ENSANCHAMIENTO Y CONTRACCIONES BRUSCAS. (CRANE CO.)



Apéndice C2c. RESISTENCIA DEBIDA A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DE LOS TUBOS. (CRANE CO.)



**APENDICE D**  
**COSTOS DE EQUIPOS**

## TANQUE DE ALMACENAMIENTO

AGITADOR DE TURBINA (Para el tanque de almacenamiento)

Potencia : 9 HP = 6,705 kw

Costo de la compra del equipo ( $C_p$ , 1982) = US\$ 7 000,00 (Bibliografía 16)

Material : acero Inoxidable y tanque abierto

Factor de material ( $F_{BM}$ ) = 2,5

Costo base de módulo simple ( $C_{BM}$ ) =  $C_p * F_{BM}$

$$C_{BM, 1982} = 7\,000,00 \times 2,5 = \text{US\$ } 15\,000,00$$

Indice de costo del año 1982 = 315,00

Indice de costo del año 2000 = 394,10

$$C_{BM, 2000} = 15\,000,00 \times 394,10 / 315,00 = 18\,766,66$$

Factor de corrección al año 2002 (  $F_c$ ) = 18, 41

Costo real (Cr) =  $C_{BM, 2000} / F_c$

$$Cr = \text{US\$ } 1\,019,00$$

## TANQUE MEZCLADOR

TANQUE

Volumen = 0,05 m<sup>3</sup>

Costo de la compra del equipo ( $C_p$ , 1982) = US\$ 1 700,00 (Bibliografía 16)

Material : acero Inoxidable y tanque abierto

Factor de material ( $F_{BM}$ ) = 4,5

Costo base de módulo simple ( $C_{BM}$ ) =  $C_p * F_{BM}$

$$C_{BM, 1982} = 1\,700,00 \times 4,5 = \text{US\$ } 7\,650,00$$

$$C_{BM, 2000} = 7\,650,00 \times 394,10 / 315,00 = 9\,571,00$$

Factor de corrección al año 2002 ( Fc) = 18, 41

Costo real (Cr) =  $C_{BM, 2000} / Fc$

Cr = US\$ 520,00

**AGITADOR DE TURBINA:**

P = 0,5 HP = 0,37 kw (tanque abierto)

Costo de la compra del equipo (Cp, 1982) = US\$ 3 000,00 (Bibliografía 16)

Material : acero Inoxidable y tanque abierto

Factor de material (F<sub>BM</sub>) = 2,5

Costo base de módulo simple (C<sub>BM</sub>) = Cp\*F<sub>BM</sub>

$$C_{BM, 1982} = 3\ 000,00 \times 2,5 = \text{US\$ } 7\ 000,00$$

$$C_{BM, 2000} = 7\ 000,00 \times 394,10/315,00 = 8758,00$$

Factor de corrección al año 2002 ( Fc) = 18, 41

Cr = US\$ 476,00

### **TANQUE DE DOSIFICACION**

**TANQUE:**

Volumen = 0,653 m<sup>3</sup>

Costo de la compra del equipo (Cp, 1982) = US\$ 2 500,00 (Bibliografía 16)

Material : acero Inoxidable y tanque abierto

Factor de material (F<sub>BM</sub>) = 4,5

Costo base de módulo simple (C<sub>BM</sub>) = Cp\*F<sub>BM</sub>

$$C_{BM, 1982} = 2\ 500,00 \times 4,5 = \text{US\$ } 11\ 250,00$$

$$C_{BM, 2000} = 11\ 250,00 \times 394,10/315,00 = 14\ 075,00$$

Factor de corrección al año 2002 (  $F_c$  ) = 18, 41

Costo real (Cr) =  $C_{BM, 2000} / F_c$

Cr = US\$ 765,00

**AGITADOR DE TURBINA:**

P = 1HP = 0,745 kw (tanque abierto)

Costo de la compra del equipo ( $C_p, 1982$ ) = US\$ 3 500,00 (Bibliografía 16)

Material : acero Inoxidable y tanque abierto

Factor de material ( $F_{BM}$ ) = 2,5

Costo base de módulo simple ( $C_{BM}$ ) =  $C_p * F_{BM}$

$$C_{BM, 1982} = 3 500,00 \times 2,5 = \text{US\$ } 8 750,00$$

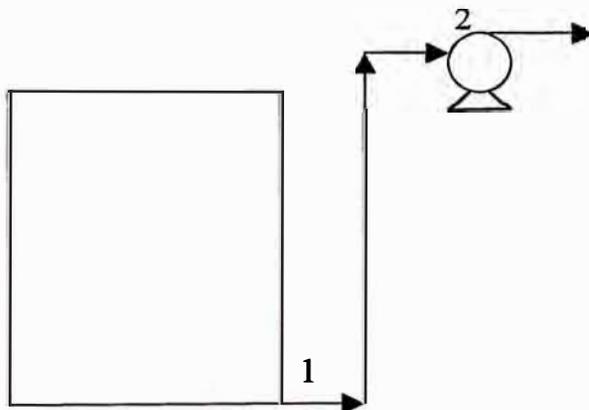
$$C_{BM, 2000} = 8 750,00 \times 394,10/315,00 = 10 947,00$$

Factor de corrección al año 2002 (  $F_c$  ) = 18, 41

Cr = US\$ 595,00

**BOMBA 1:**

Potencia: 4 HP (2,8 kw)



$$Z_1 + V_1^2/(2g) + P_1/(\rho g_c) + HP = Z_2 + V_2^2/(2g) + P_2/(\rho g_c)$$

Datos:

$$V_1 = V_2$$

$$HP = 12,86 \text{ m}$$

$$Z_2 - Z_1 = 8,1 \text{ m}$$

$$P_2 / (\rho g_c) = P_1 / (\rho g_c) + 4,76$$

$$P_2 = P_1 + 4,76 \times \rho g_c$$

$$P_1 = 6,5 \text{ m} \times 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 + 1 \text{ bar}$$

$$P_1 = 63\,700 \text{ kg} / (\text{m s}^2) + 1 \text{ bar}$$

$$P_2 = 63\,700 + 1 \text{ bar} + 4,76 \times 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$P_2 = 63\,700 + 1 \text{ bar} + 46\,648$$

$$P_2 = 110\,348 \text{ Kg} / (\text{m s}^2) + 1 \text{ bar}$$

$$P_2 = 1,10 \text{ bar} + 1 \text{ bar}$$

$$P_2 = 2,10 \text{ bar}$$

Presión de succión : 2,1 bar

Factor de presión (Fp) = 1 (Bibliografía 16)

Factor de material de acero inoxidable (F<sub>M</sub>) = 1,9

Producto de factor de presión – factor de material (Fp x F<sub>M</sub>) = 1,9

Factor de módulo (F<sup>a</sup><sub>BM</sub>) = 4,2

C<sub>p</sub> = US\$ 4 200

C<sub>BM, 1982</sub> = 4 200,00 x 4,2 = US\$ 17 640,00

C<sub>BM, 2000</sub> = 17 640,00 x 394,10/315,00 = 22 069,600

Factor de corrección al año 2002 ( Fc) = 18, 41

Cr = US\$ 1 199,00

**BOMBA 2:**

Potencia: 1 HP ( 0,745 kw)

Factor de presión (Fp) = 1 (Bibliografía 16)

Factor de material de acero inoxidable (F<sub>M</sub>) = 1,9

Producto de factor de presión – factor de material (Fp x F<sub>M</sub>) = 1,9

Factor de módulo(F<sup>a</sup><sub>BM</sub>) = 4,2

C<sub>p</sub> –US\$ 2 800,00

C<sub>BM, 1982</sub> = 2 800,00 x 4,2 = US\$ 11 760,00

C<sub>BM, 2000</sub> = 11 760,00x 394,10/315,00 = 14 713,00

Factor de corrección al año 2002 ( Fc) = 18, 41

Cr = US\$ 800,00

**BOMBA 3:**

Potencia: 0,5 HP ( 0,373 kw)

Factor de presión (Fp) = 1 (Bibliografía 16)

Factor de material de acero inoxidable (F<sub>M</sub>) = 1,9

Producto de factor de presión – factor de material (Fp x F<sub>M</sub>) = 1,9

Factor de módulo(F<sup>a</sup><sub>BM</sub>) = 4,2

C<sub>p</sub> = US\$ 2 400,00

C<sub>BM, 1982</sub> = 2 400,00 x 4,2 = US\$ 10 080,00

C<sub>BM, 2000</sub> = 10 080,00 x 394,10/315,00 = 12 611,20

Factor de corrección al año 2002 ( Fc) = 18, 41

Cr = US\$ 685,00

**BOMBA 4:**

Potencia: 5 HP ( 3,725 kw)

Factor de presión (Fp) = 1 (Bibliografía 16)

Factor de material de acero inoxidable (F<sub>M</sub>) = 1,9

Producto de factor de presión – factor de material (Fp x F<sub>M</sub>) = 1,9

Factor de módulo(F<sup>a</sup><sub>BM</sub>) = 4,2

C<sub>p</sub> = US\$ 5 000,00

C<sub>BM, 1982</sub> = 5 000,00 x 4,2 = US\$ 21 000,00

C<sub>BM, 2000</sub> = 21 000,00 x 394,10/315,00 = 26 273, 00

Factor de corrección al año 2002 ( Fc) = 18, 41

Cr = US\$ 1 427,00

**APENDICE E**  
**CERTIFICADOS DE ANÁLISIS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**

AV. TUPAC AMARU N° 210 - RIMAC APARTADO 1301 TELEF: 481-1070 ANEXO 311 TELEFAX: 4828533

Email: decano\_flgmm@uni.edu.pe LIMA - PERU

**RESULTADO DEL ANÁLISIS POR CROMO DE UNA  
SOLUCIÓN DE EFLUENTE**

**SOLICITADO : MARIBEL ASTO - ESTHER AGURTO**

**RECEPCIÓN DE MUESTRA : Lima, 6 de Noviembre del 2000**

**Cromo (Cr) ----- 2623 mg/L**

**Lima, 14 de Noviembre del 2000**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA

LABORATORIO DE ESPECTROMETRIA

## SOLICITUD DE ANALISIS

- CUALITATIVO
- SEMI-CUANTITATIVO
- CUANTITATIVO
- AMBIENTALES
- ESTUDIOS

SOLICITADO POR ESTHER ABURTO UINA.

FECHA Lima, 19 de Abril del 2001

RECIBO No. \_\_\_\_\_ S/. 10

Diez nuevos soles.

No. de LAB	REFERENCIA	PROCEDENCIA	DETERMINACION POR:
	Solución residual de tratamiento de aguas con cromo.		Cromo.
	0-----		



# UNI

AV. TUPAC AMARU S/N  
APARTADO 1301  
CABLE UNI LIMA - PERU  
Telf. 481-1070 Anx. 386

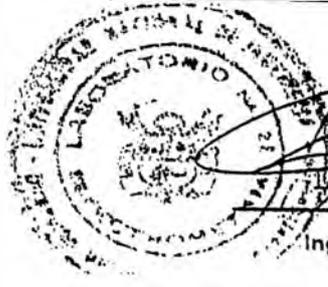
REPORTE  
N°.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE UNA SOLUCION RESIDUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS CON CROMO  
SOLICITADO POR ESTHER ABURTO IUNA.

Cromo (Cr) ..... 0.218 mg/L

---

- M - >10%
- m = de 10% a 1%
- T de 1% a 0.001%
- v = < .001%
- ND = No Detectado

  
  
Lima, 19 de Abril del  
Ing. JEFE DE LOS LABORATORIOS  
ESPECTROMETRIA

Solicitante : Esther Aburto Luna  
Referencia : Tratamiento de Efluentes  
Tipo de Muestra : Aguas(01)  
Fecha de recepción : 19-04-01

**Aguas:**

Código Cliente	Cód.Lab.	Sulfuros
M - 1	1048	2.78
Unidad		mg/L
Límite de Detección		0.01
Norma de Ref.APHA 95		4500 S2E

  
Quim.Liliana Deza Montoya  
Gerente Técnico



Lima 25 de Abril del 2001

Los resultados presentados corresponden solo a los códigos de las muestras.  
"N.D." no determinado, valor menor al límite de Detección.

Solicito: Muestras de aguas

residuales.

Señor Ingeniero:  
Victor Maldonado Y.  
Gerente de UNI-TRAR.  
Universidad Nacional de Ingeniería.



Presente.-

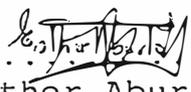
Nos es grato dirigirnos a Ud. para expresarle nuestro saludo, y a la vez en nuestra condición de tesis de la facultad de Ingeniería Química y Manufacturera, solicitamos muestras de aguas residuales domésticas para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), parámetro requerido para caracterizar los efluentes industriales de una curtiembre, el cuál es el tema de estudio de la tesis que se esta realizando.

Agradeciéndolo la atención al presente, aprovechamos la oportunidad para reiterarle los sentimientos de nuestra consideración.

Atentamente.

Lima, 16 de Agosto del 2000

  
.....  
Br. Maribel Asto Vásquez.

  
.....  
Br. Esther Aburto Luna.

Adj. Cronograma de recolección de muestras.

## UNI - TRAR

### RECOLECCION DE MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA

Volumen de muestreo : 1 litro

Punto de muestreo : Ingreso al reactor RAFA

Análisis a realizar : DBO<sub>5</sub>

Hora de muestreo : 9:30 a.m.

#### Fechas

Agosto	17/08/00
Setiembre	18/09/00
Octubre	18/10/00
Noviembre	17/11/00
Diciembre	18/12/00
Enero	18/01/01
Febrero	17/01/01
Marzo	19/01/01
Abril	17/01/01
Mayo	18/01/01
Junio	18/01/01

**FLYGT PERU S.A.**

Calle Gamma 253 – Parque Industria y Comercio

Callao 1 - Peru

Fax : (51-1) 452 2060

Central : (51-1) 464 8533



Pág. 02

Cot. 690 -09-AMR

<u>Item</u>	<u>Cant.</u>	<u>V.V.Unit (US\$)</u>	<u>V.V.Total (US\$)</u>
01	01	750.00	750.00

VALOR VENTA TOTAL	US\$	750.00
I.G.V. 18%	US\$	135.00
PRECIO VENTA TOTAL	US\$	885.00

Precios: En US\$ Dólares Americanos, el cliente puede pagar en nuevos soles al tipo de cambio de venta del día de pago.

**CONDICIONES DE VENTA:**

FORMA DE PAGO	: Contado contra entrega.
PLAZO DE ENTREGA	: Stock , salvo venta previa, 2 días el armaje.
LUGAR DE ENTREGA	: Nuestros almacenes en Lima
GARANTÍA	: Las bombas Lowara tienen 18 meses de garantía Ex-Fábrica contra defectos de fabricación.

Atentamente,

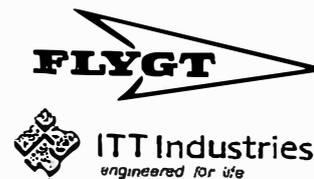
Ing Andrés Miñano R.

Flygt Perú S.A.

Nextel : 832\*7440

**FLYGT PERU S.A.**

Calle Gamma 253 – Parque Industria y Comercio  
 Callao 1 - Peru  
 Fax : (51-1) 452 2060  
 Central : (51-1) 464 8533



Lima, 26 de Setiembre del 2002  
 Cot. 690 -09-AMR-FP-02

**ESQUI S.A.**

Fax : 471 1618

Atención : Srta. Ester Agurto Luna.

Estimados señores:

Referencia : Solicitud de cotización

Por medio de la presente reciban nuestro cordial saludo y en atención a su solicitud le remitimos nuestra propuesta como sigue :

**DESCRIPCION DE ELECTROBOMBAS**

Bomba Horizontal de eje libre, marca ITT - Lowara, fabricada en Italia.  
 Caja de bomba con succión axial y descarga radial bridados y el impulsor cerrado.  
 El sistema de sellado cuenta con sello mecánico tipo estándar  
 01 Base acero laminar.  
 01 Acoplamiento flexible  
 01 Motor eléctrico trifásico 220V, 60HZ, aislamiento tipo F, IP55, 1750RPM

ITEM	574
Referencia	Eje Libre
Modelo Bomba	FHF 50-200
Caudal (m3/hr)	36
A.D.T (Mts)	7
Eficiencia (%)	64
Pot.Absorbida (HP)	1.45
Pot. Motor (HP)	1.5
Velocidad (RPM)	1750
N.P.S.H (Mts)	2
<b>Ejecucion metalurgica</b>	
Caja	Fierro fundido
Impulsor	Acero inox 316L
Eje	AISI-316