

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL
QUIMICO

**“REDUCCION DE VOLUMEN DE LODOS DE
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
URBANAS VIA FILTRACION”**

Alumno: Ariel Adolfo Martínez Cisternas
Profesores Guías: Gianni Olgún Contreras
José Torres Titus

2008

RESUMEN

La planta de tratamientos de aguas servidas Cordillera, de propiedad de Esva, en su operación genera lodo en exceso, el cual debe ser retirado de la planta. En promedio, se trasladan cerca de 600 $[m^3]$ de lodo al mes.

La operación tiene dos costos significativos, los cuales son el gasto en energía eléctrica, y el traslado de los lodos.

El objetivo general de este trabajo es el diseño y evaluación de una alternativa química para la reducción del volumen de lodos en la planta de tratamiento de aguas urbanas Cordillera (ESVAL).

Dentro de todas las alternativas, ESVAL ha decidido evaluar la implementación de la tecnología Kemicond. Este método consta de cuatro etapas: Acidificación, Oxidación, Neutralización y Floculación.

Actualmente Esva para retirar agua del lodo, utiliza solamente la centrifugación, por lo cual se compara el proceso actual con el proceso Kemicond.

El trabajo comienza con los ensayos de laboratorio, en los cuales se busca conocer si realmente el nuevo proceso es más ventajoso que el actual, y las cantidades adecuadas de reactivos para cada etapa.

Una vez obtenido los resultados experimentales, se definieron las características operacionales para determinar el diseño del proceso. Por último, al disponer de los equipos necesarios y el diseño del proceso, se pudo dar paso a la evaluación económica, para ver si realmente es rentable o no implementar la nueva tecnología, o simplemente seguir utilizando el proceso actual.

Al desarrollar las experiencias, se cumplió con el objetivo de la disminución del volumen del lodo en un 38%, ya que se redujo la humedad a un 68% en el lodo, en comparación con el 80% de humedad que se logra con el proceso actual, lo que hace el proceso factible operacionalmente. Pero al obtener los resultados de la evaluación económica, el proyecto se hizo totalmente inviable, ya que el costo de operación supera considerablemente la actual operación. El principal costo operativo radica en el gasto de reactivos, específicamente en el costo de la soda, con lo que se plantea como posible solución el uso de algún reactivo que cumpla la misma función de la soda, o al menos, que no altere el tratamiento Kemicond.

INDICE

1. Capítulo 1. Introducción	
1.1 Presentación de la Empresa.....	1
1.2 Descripción del Problema.....	2
1.3 Alcance del Proyecto.....	2
1.4 Objetivo.....	3
1.5 Plan de Trabajo.....	3
1.6 Descripción del proceso actual.....	4
2. Capítulo 2. Proceso Kemicond	
2. Descripción Proceso Kemicond.....	14
2.1 Acidificación.....	15
2.2 Oxidación.....	16
2.3 Neutralización.....	16
2.4 Floculación.....	16
2.5 Experiencias Realizadas.....	17
3. Capítulo 3. Pruebas de Laboratorio	
3.1 Introducción.....	21
3.2 Diseño Experiencias.....	21
3.3 Experiencias.....	23
3.2.1 Pruebas Lodo Referencia.....	23
3.2.2 Prueba Lodo Tratado con Kemicond.....	25
3.4 Conclusiones.....	31
4. Capítulo 4. Diseño de Proceso	
4.1 Introducción.....	32
4.2 Parámetros de Diseño.....	35
4.2.1 Acidificación.....	35
4.2.2 Oxidación.....	36
4.2.3 Neutralización.....	36
4.2.4 Floculación.....	37
4.3 Balance de Masa.....	37
4.3.1 Balance de Masa Proceso Actual Centrifugado.....	37
4.3.2 Balance de Masa Proceso Kemicond.....	38
5. Capítulo 5. Diseño de Equipos	
5.1 Introducción.....	43
5.2 Diseño Operativo.....	43
5.3 Diseño Mecánico.....	51
5.3.1 Acumulador Acido Sulfúrico.....	51
5.3.2 Acumulador Agua Oxigenada.....	53
5.3.3 Acumulador Soda.....	56
5.3.4 Floculación.....	61
5.3.5 Mezclado.....	61

6. Capitulo 6. Evaluación Económica.	
6.1 Introducción.....	66
6.2 Inversión.....	66
6.3 Costo Total Producto.....	67
6.4 Flujo Caja Neto.....	69
6.5 Análisis Sensibilidad.....	71
6.6 Conclusiones.....	72
7. Capitulo 7. Conclusiones y Recomendaciones	
7.1 Conclusión.....	73
7.2 Recomendación.....	74
Bibliografía.....	75

ANEXO

Anexo A. Pruebas de Laboratorio	
A.1 Calculo de Dosis.....	2
A.2 Experiencias.....	6
A.3 Figuras.....	16
Anexo B. Diseño del Proceso	
B.1 Balance Masa Lodo Centrifugado.....	2
B.2 Balance Masa Lodo Espesado Purgado.....	3
B.3. Balance Masa Lodo Tratado con Kemicond.....	4
B.3.1 Balance Masa Acidificación.....	4
B.3.2. Balance Masa Oxidación.....	5
B.3.3. Balance Masa Neutralización.....	5
B.3.4 Balance Masa Floculación.....	7
B.3.5 Balance Masa Mezclado.....	7
B.4 Balance Energía Neutralización.....	8
Anexo C. Diseño de Equipos	
C.1 Diseño Mecánico Estanques.....	2
C.1.1 Diseño Cabezales.....	2
C.1.2 Diseño Carcasa.....	5
C.2 Diseño de Bombas.....	22
C.2.1 Acidificación.....	25
C.2.2 Oxidación.....	28
C.2.3 Neutralización.....	31
C.2.4 Deshidratación.....	40
Anexo D. Evaluación Económica	
D.1 Flujo Caja Neto.....	2
D.1.1 Capital Total Inversión.....	2
D.1.2 Costo Total Producto.....	5
D.2 Valor Actualizado Neto.....	13
D.3 Tasa Interna de Retorno.....	14
D.4 Análisis de Sensibilidad.....	14
Anexo E. Figuras	
E.1 Lodo sin Tratamiento.....	2
E.2 Lodo tratado con Kemicond.....	2

E.3 Lodo tratado con Kemicond sin filtrar.....	3
E.4 Equipo usado para filtrar.....	3
E.5 Equipo usado para filtrar.....	4
E.6 Grafica Coeficiente fricción en fluidos no newtonianos.....	4
E.7 Grafica Corrosión producida por Acido Sulfúrico.....	5
E.8 Grafica Resistencia Materiales a la Corrosión de Soda.....	6
E.9 Conductividad Térmica Aislantes.....	7
E.10 Conductividad Térmica Metales.....	8
E.11 Grafica Moody.....	9
E.12 Propiedades Cañerías Acero.....	10
E.13 Propiedades Cañerías Acero.....	11
E.14 Monógrafo Largos Equivalentes.....	12
E.15 Cotizaciones.....	13

INTRODUCCION

1.1 PRESENTACION DE LA EMPRESA

La Empresa Sanitaria de Valparaíso (ESVAL S.A) se dedica a la producción y distribución de agua potable y a la recolección, disposición y tratamiento de aguas servidas en la IV y V Región.

ESVAL fue la primera sanitaria que se abrió al proceso de las privatizaciones, luego de que el cambio regulatorio de 1998 permitiese la incorporación de capitales privados a la industria sanitaria, cuyo control a la sociedad Aguas Puerto que, luego de la venta de la participación que mantenía Enersis en ésta en el año 2000, fue controlada íntegramente por Anglian Water International Holdings Limited. Posteriormente, a fines del 2004 esta última vende la compañía al Grupo Consorcio Financiero, actual controlador de casi un 50% de la propiedad. ESVAL es la tercera mayor sanitaria del país, concentrando sus operaciones en las zonas urbanas y suburbanas de la V Región, en un área de concesión que se divide en cuatro zonas geográficas: Gran Valparaíso, Quillota, San Felipe-Los Andes y Litoral Sur.

Las dos principales áreas de negocio de la empresa son Agua Potable y Aguas Servidas, en dichas áreas se pueden identificar cuatro procesos operacionales: Producción de Agua Potable, Distribución de Agua Potable (2/3 de los ingresos), Recolección de Aguas Servidas y Disposición y Tratamiento de Aguas Servidas (1/3 de los ingresos).

El desarrollo del proyecto se llevo a cabo en la planta de tratamiento de aguas servidas Cordillera perteneciente a ESVAL, con dirección Callejón La Tordilla s/n, San Rafael, Los Andes, V región, y esta bajo la administración de la subgerencia zonal de San Felipe.

La planta actualmente cubre una población 66.000 habitantes, lo que equivale a un caudal a tratar de $390 \left[\frac{l}{s} \right]$, flujo que pasa por una primera etapa de extracción de sólidos, para dar paso al tratamiento biológico de aguas servidas del que se genera un efluente líquido y uno sólido. El efluente líquido se dispone en canales de regadío, y el efluente sólido (lodo), se traslada hasta plantas de compostaje.

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La operación normal de la planta genera más de 800 $[m^3]$ de lodo diario, del cual se debe purgar al mes alrededor de 4000 $[m^3]$ (lodo en exceso) que es actualmente retirado de la planta para su disposición final, y el resto se envía de regreso a la planta para reincorporarse al proceso. El lodo generado posee un 98% de humedad, el cual debe disminuir su volumen debido a que es trasladado fuera de la planta, y la manera de hacerlo es retirar agua del lodo. Para tal propósito, el lodo descartado se somete a un proceso de deshidratación, el que consiste en una etapa de aglomeración mediante floculación, y posterior centrifugación, logrando reducir la humedad hasta un 80%. Una vez centrifugado, ESVAL traslada el lodo hasta las plantas de compostaje de la V región para su disposición final. El traslado de los lodos es realizado mediante camiones y tiene un costo de UF \$ 0,8 por metro cúbico retirado de la planta.

Por lo tanto si se logra reducir la humedad del lodo, se alcanzaría una disminución de costos significativa, considerando que actualmente se trasladan cerca de 600 $[m^3]$ de lodo al mes.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

Ante esta problemática surge la necesidad de buscar una alternativa para el manejo y disposición de los lodos generados en la planta, que aumente el porcentaje de sólidos en el lodo de un 20% hasta un rango de 30-40%, de tal forma de disminuir el volumen de lodos a transportar a disposición final, logrando reducir los costos operativos actuales.

Dentro de las soluciones esta el uso de canchas de secado de lodos, la calcinación de lodos, el secado a través de invernaderos, el secado con equipos de intercambio de calor, y la reducción química de humedad por medio de tecnología Kemicond.

De todas las alternativas, ESVAL ha decidido evaluar la implementación de la reducción química de humedad por medio de tecnología Kemicond, ya que es más factible operacionalmente y económicamente. Por ejemplo, el tratamiento químico ofrece un menor costo operacional que la calcinación de lodos y el secado con equipos de intercambio de calor. Con respecto al secado a través de canchas y de invernaderos, esas alternativas presentan desventajas sanitarias, como lo son el mal olor y la presencia de microorganismos patógenos. Kemicond consta de cuatro etapas: Acidificación, Oxidación, Neutralización y Floculación,

logrando disminuir la cantidad de agua que contiene el lodo, a niveles adecuados a los requeridos.

1.4 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es el diseño y evaluación de un proceso de reducción química de humedad del tipo Kemicond, para la reducción del volumen de lodos en la planta de tratamiento de aguas urbanas Cordillera (ESVAL).

Los objetivos específicos son:

- Estudio del proceso de reducción de lodos Kemicond.
- Aumentar el porcentaje de sólidos en lodos finales desde un 20 a un 30%.
- Búsqueda de parámetros operacionales del proceso Kemicond.
- Diseño del Proceso.
- Evaluación Económica del proceso.

1.5 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo consta de tres partes:

- Estudio de la información de procesos de reducción de lodos y específico de de Kemicond.
- Pruebas de laboratorio y si son necesarias a nivel piloto, para lograr realizar los 3 primeros objetivos específicos.
- Escalamiento y diseño del proceso Kemicond, incluyendo el diseño de los equipos y su respectiva automatización, alcanzando el cuarto objetivo.
- Factibilidad del proceso por medio de Evaluación económica del proceso.

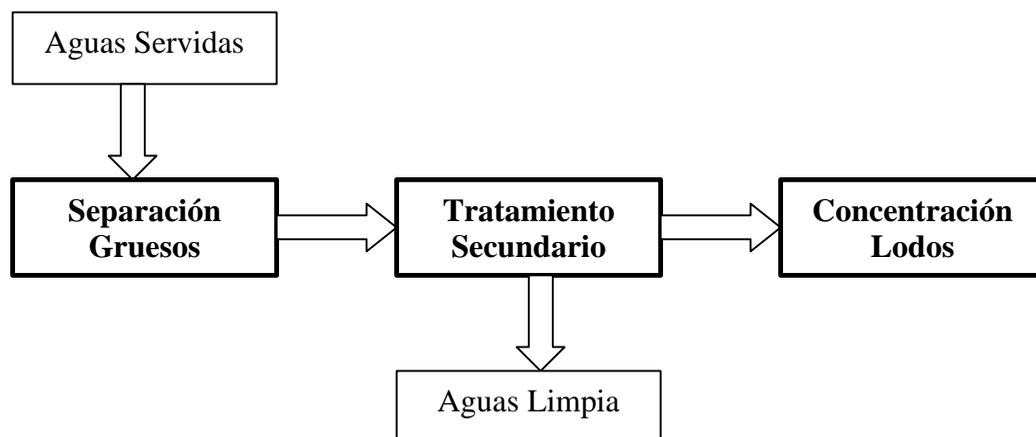
1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

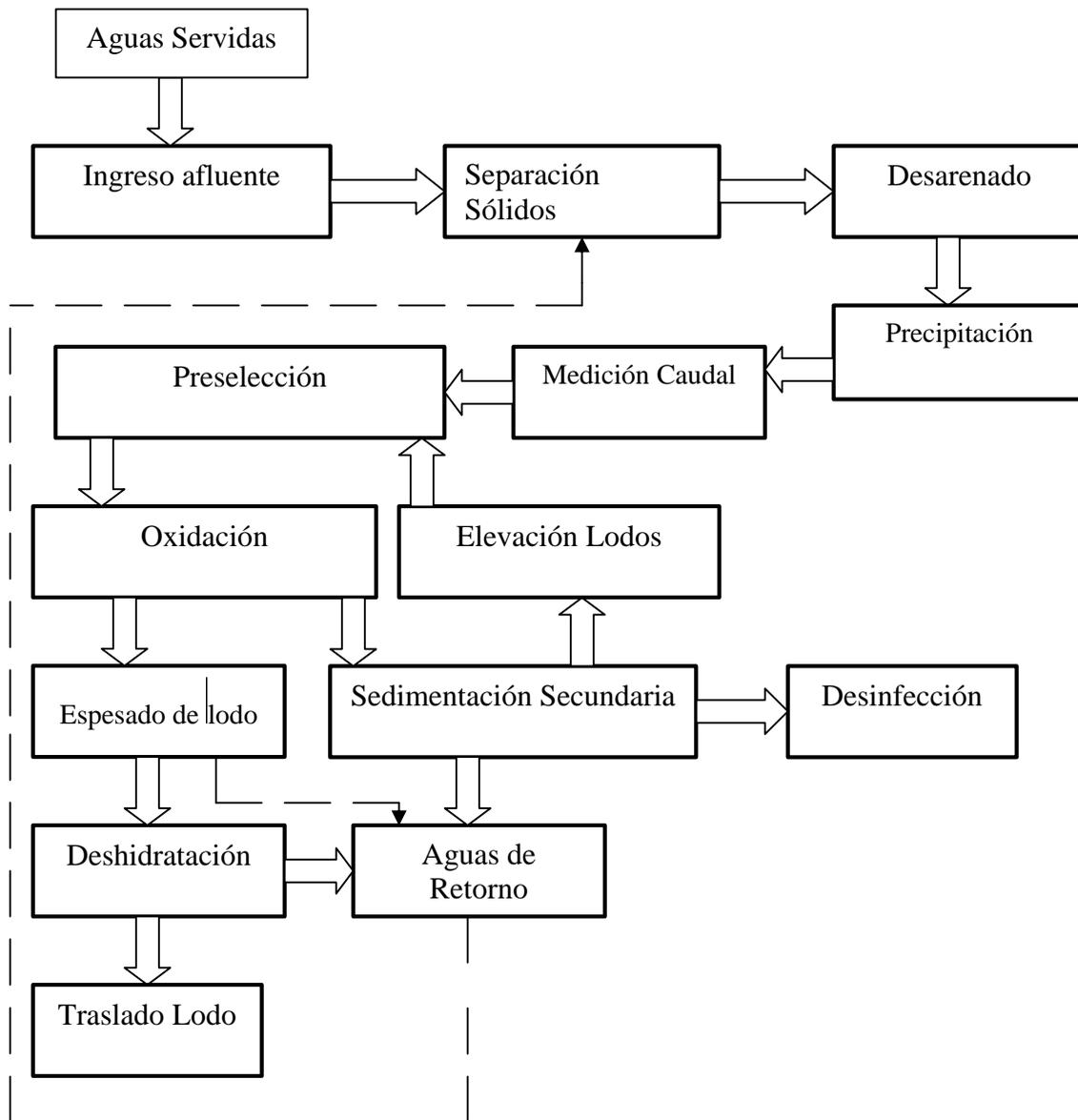
La planta Cordillera recolecta y trata las aguas servidas del sector de Los Andes a través de procesos que involucra principalmente retirar los sólidos, grasas, aceites, eliminación de la materia orgánica y reducción de lodo,

La planta Cordillera consta de las siguientes etapas:

- Ingreso afluente
- Separación Sólidos
- Desarenado y desgrasado
- Medición Caudal
- Preselección
- Oxidación
- Sedimentación secundaria
- Elevación de lodos
- Dosificación de cloruro férrico
- Desinfección
- Espesado de lodos
- Deshidratación de lodos
- Elevación aguas de retorno
- Red de lavado e incendio
- Red de Riego

A continuación se presenta un esquema de la planta Cordillera.





Ingreso afluyente

El ingreso a la planta de tratamientos de aguas servidas se realiza con la ayuda de un colector de 700 mm de diámetro, las aguas servidas no tratadas fluyen a través de dos rejillas gruesas, alcanzando luego el foso colector, en donde 4 motobombas sumergibles están instaladas. Las bombas se activan y desactivan automáticamente con el medidor de nivel de agua. Se prevén de 3 bombas para el funcionamiento normal y una de reserva. Las bombas elevan las aguas servidas no tratadas al canal de afluencia pasando antes por dos rejillas finas.

Equipos
Bomba Sumergible 1
Bomba Sumergible 2
Bomba Sumergible 3

Tabla 1: Equipos Planta Elevadora Inicial.

Separación Sólidos

Como primer paso de limpieza mecánica, las aguas servidas no tratadas son llevadas a través de dos rejillas finas colocadas paralelamente. Las rejillas toman los desechos y los arrojan al tornillo transportador, en donde luego son transportados hacia el compactador. Los desechos son lavados, comprimidos y deshidratados, siendo estos finalmente arrojados hacia un contenedor.

Equipos
Reja Fina 1
Reja Fina 2
Tornillo Transportador
Compactador

Tabla 2: Equipos Rejas Finas.

Desarenado y Desengrasado

Como segundo paso de limpieza mecánico, las aguas servidas son llevadas a través de un desarenador de 2 entradas ventiladas con desengrase integrado. Con la ayuda de 2 sopladores (uno para operación y otro de reserva) el aire comprimido es soplado a la pared central del desarenador, produciéndose en la cámara una corriente de forma espiral. Las partículas pesadas de arena se asientan en la plataforma del desarenador en la fosa recolectora, mientras que las partículas orgánicas ligeras quedan en suspensión, siendo transportadas al estanque de aireación.

Equipos
Puente Gemelo de Barrido
Bomba de arena 1
Bomba de arena 2
Bomba de grasa
Clasificador de grasa
Clasificador de arena
Compresor 1
Compresor 2

Tabla 3: Equipos Desarenador y Desengrasador.

Medición Caudal

Proceso de medición del flujo de agua servida procesada, por medio de un canal vénturi provisto de sensor ultrasónico, que se encuentra ubicado entre las etapas de desarenado y preselección.

Preselección

En el preselector se mezclan las aguas servidas y el lodo de recirculación, luego estos se reparten uniformemente hacia ambos estanques de aireación por medio de 2 vertederos de igual tamaño. Además, el ambiente anaeróbico permite que el lodo activado que llega al preselector se mantenga en un buen estado.

Oxidación

Se utilizan dos estanques de aireación para eliminar la carga orgánica de las aguas servidas a través de la acción de microorganismos, los que se denominan lodo activado. Para tal objetivo, se alimenta oxígeno a los estanques. El gas debe mantenerse en la superficie del agua, por lo que se utilizan aireadores superficiales en forma de ventiladores y agitadores sumergibles en cada estanque.

Equipos	
Aireador Superficial 1	Agitador Sumergible 2
Aireador Superficial 2	Agitador Sumergible 3
Aireador Superficial 3	Agitador Sumergible 4
Aireador Superficial 4	Agitador Sumergible 5
Aireador Superficial 5	Agitador Sumergible 6
Aireador Superficial 6	Agitador Sumergible 7
Agitador Sumergible 1	Agitador Sumergible 8

Tabla 4: Equipos Zanjas de Oxidación

Sedimentación Secundaria

Cada zanja de oxidación tiene asignado un sedimentador secundario, circular, existiendo la posibilidad de trabajar 2 zanjas con 1 sedimentador o 1 zanja con 2 sedimentadores mediante el uso del by-pass y las compuertas. La conexión se realiza a través de un conducto de 1000 milímetros de diámetro. Por medio de la sedimentación, el lodo activado es separado de las aguas depuradas en el sedimentador secundario. El lodo activado baja hasta el fondo del tanque en donde luego es llevado por medio del barredor del puente de barrido hacia el embudo central, alcanzando las bombas de lodo de recirculación por medio de un conducto de 700 milímetros de diámetro. Las aguas ya tratadas fluyen sobre los vertederos dentados hacia el canal de desagüe de los estanques de sedimentación secundaria para luego ser desinfectadas. El lodo flotante restante de los sedimentadores secundarios es llevado hacia un embudo de salida por medio de un barredor de espumas de grasa, fluyendo hacia la planta elevadora de aguas de retorno.

Equipos
Puente de Barrido 1
Puente de Barrido 2

Tabla 5: Equipos Sedimentación Secundaria.

Elevación de Lodos

El lodo activado asentado en ambos sedimentadores secundarios es transportado a través de 2 tuberías de 700 milímetros de diámetro hacia las bombas de lodo de recirculación, de donde es luego bombeado al preselector con ayuda de las 3 bombas sumergibles por una tubería de impulsión de 900 milímetros de diámetro. Allí se mezcla el lodo de recirculación con las aguas servidas afluentes siendo después repartido hacia ambas zanjas de oxidación en partes iguales. Se cuenta con 3 bombas para el lodo de recirculación (dos bombas en funcionamiento y la otra de reserva), cuya velocidad y caudal se pueden ajustar o regular continuamente con un variador de frecuencias.

Equipos
Bomba de recirculación 1
Bomba de recirculación 2
Bomba de recirculación 3
Bomba 1 lodos en exceso
Bomba 2 lodos en exceso

Tabla 6: Equipos Planta Elevadora de Lodos.

Precipitación

Para poder mantener con seguridad el valor de salida exigido de $10 \left[\frac{mg}{l} \right]$ de fósforo como fosfato (PO_4-P), se realiza una precipitación simultánea. Para este propósito se dosifica cloruro férrico ($FeCl_3$) por medio de precipitación líquida en la salida del desarenador antes de llegar al canal venturi. Mediante el salto hidráulico detrás del canal Venturi, el producto químico para la precipitación añadido se mezcla completamente con las aguas servidas. Como resultado de la precipitación se forma un fosfato de hierro $FePO_4$ que es difícil de disolver, que luego será extraído del sistema juntamente con el lodo en exceso.

Se debe destacar que si la concentración de PO_4-P es menor a $10 \left[\frac{mg}{l} \right]$, no se debe utilizar el $FeCl_3$.

Equipos
Bomba de dosificación 1
Bomba de dosificación 2

Tabla 7: Equipos Dosificación FeCl₃.

Desinfección

Para reducir la concentración de coliformes a los máximos permitidos en el efluente de la planta, se realiza una cloración. La solución de cloro se inyecta en la entrada del canal de contacto a través de difusores con ayuda de las bombas de inyección 1 y 2 (una bomba en funcionamiento y una bomba de reserva). Estas bombas succionan el agua desde el último canal de la Cámara de Contacto.

Equipos
Bomba de inyección 1
Bomba de inyección 2

Tabla 8: Equipos Desinfección.

Espesado de Lodos

El espesador de lodos tiene como función espesar el lodo en exceso para mantener la concentración de lodo en las zanjas. En la entrada del espesador, el lodo en exceso tiene una concentración de sólidos de 5 a 10 $\left[\frac{KgSST}{m^3} \right]$, alcanzando estas un contenido final de alrededor de 40 $\left[\frac{KgSST}{m^3} \right]$. El espesador esta equipado con un mecanismo de rastrillo a funcionamiento lento, para así mejorar el espesamiento. El mecanismo de rastrillo funciona de manera continua.

Es preferible de purgar y espesar el lodo durante la noche y deshidratar el lodo espesado al día siguiente.

SST=Sólidos Suspendidos Totales

Deshidratación de Lodos

El lodo ya espesado que contiene aproximadamente $40 \left[\frac{KgSST}{m^3} \right]$ de materia seca, es deshidratado por las centrifugas 1 y 2. Las centrifugas son cargadas con el lodo ya espesado con ayuda de dos bombas. Además de esto se le añade una solución de polímeros mediante las bombas de polímero 1 y 2. Una vez en el mezclador de doble espiral, se le añade cal al lodo ya deshidratado, para así elevar el contenido de materia seca a un 30 %. La adición de cal ayuda al mismo tiempo a estabilizar químicamente el lodo y a eliminar los gérmenes contenidos en este.

Hay que destacar que la utilización de cal es opcional y que la cal no puede ser utilizada si el lodo se destina como materia prima para compost.

Equipos	
Tornillo transportador de cal	Bomba de lodos 1
Exclusa de rueda celular de cal	Bomba de lodos 2
Extractor vibratorio de cal	Centrifuga 1
Bomba de polímero 1	Centrifuga 2
Bomba de polímero 2	Tornillo transportador de lodo 1
Equipo de preparación de polímero	Tornillo transportador de lodo 2
Aspirador de polímero	Mezclador de doble espiral
Tornillo transportador de polímero	Tornillo transportador de lodo 3

Tabla 9: Equipos Deshidratación.

Elevación Aguas de Retorno

El lodo flotante de los estanques de sedimentación secundaria, el agua turbia del espesador de lodos, el agua clarificada de las centrifugas, así como las aguas servidas del edificio del control fluyen a la planta elevadora de aguas de retorno, en donde se encuentran instaladas dos motobombas sumergibles (una bomba en funcionamiento y la otra de reserva). Las bombas se prenden o apagan dependiendo de la medición del nivel de agua. Estas bombean las aguas servidas al canal afluente antes de las rejillas finas.

Equipos
Bomba sumergible 1
Bomba sumergible 2

Tabla 10: Equipos Planta Elevadora de Aguas de Retorno.

A continuación se presentan datos propios de la operación de la planta Cordillera.

La siguiente tabla indica la capacidad de aguas servidas tratadas y proyectadas de la planta Cordillera.

	Año 2000	Año 2010	Año 2020
Población	56.240	67.000	74.860
Caudal medio $\left[\frac{l}{s} \right]$	183	210	234
Caudal máximo $\left[\frac{l}{s} \right]$	365	409	448

Fuente: Esva.

En la siguiente tabla se muestran algunos parámetros operacionales de la planta Cordillera:

Expresión	Parámetros	Valor de diseño afluente	Valor máximo permitido efluente líquidos (Nch2280)
Qa	Caudal	$18.200 \left[\frac{m^3}{día} \right]$	
DQO	Demanda Química de Oxígeno		
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno	$380 \left[\frac{mg}{l} \right]$	$35 \left[\frac{mg}{l} \right]$
SST	Sólidos Suspendidos Totales	$300 \left[\frac{mg}{l} \right]$	$80 \left[\frac{mg}{l} \right]$
NTK	Nitrógeno Total Kjeldahl	$80 \left[\frac{mg}{l} \right]$	$50 \left[\frac{mg}{l} \right]$
NO ₃ -N	Nitrógeno en forma de nitrato		
P	Fósforo total	$15 \left[\frac{mg}{l} \right]$	$10 \left[\frac{mg}{l} \right]$
A y G	Aceites y Grasa	$150 \left[\frac{mg}{l} \right]$	$20 \left[\frac{mg}{l} \right]$
Coliformes	Coliformes fecales	10^7 NMP/100 mL	10^3 NMP/100 mL
T	Temperatura	20 °C	35 °C
pH	Valor Ph		6,0 – 8,5
O ₂	Concentración de Oxígeno en las zanjias	$1,0 \left[\frac{mg}{l} \right]$	
SST	Sólidos Suspendidos Totales en las zanjias	$3,8 \left[\frac{g}{l} \right]$	
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles		
V 30	Volumen de lodo (30 min. sedimentación)	$574 \left[\frac{ml}{l} \right]$	
IVL	Índice Volumétrico de Lodo	$150 \left[\frac{ml}{g} \right]$	

Tabla12: Parámetros Operacionales Planta Cordillera.

DESCRIPCIÓN PROCESO KEMICOND

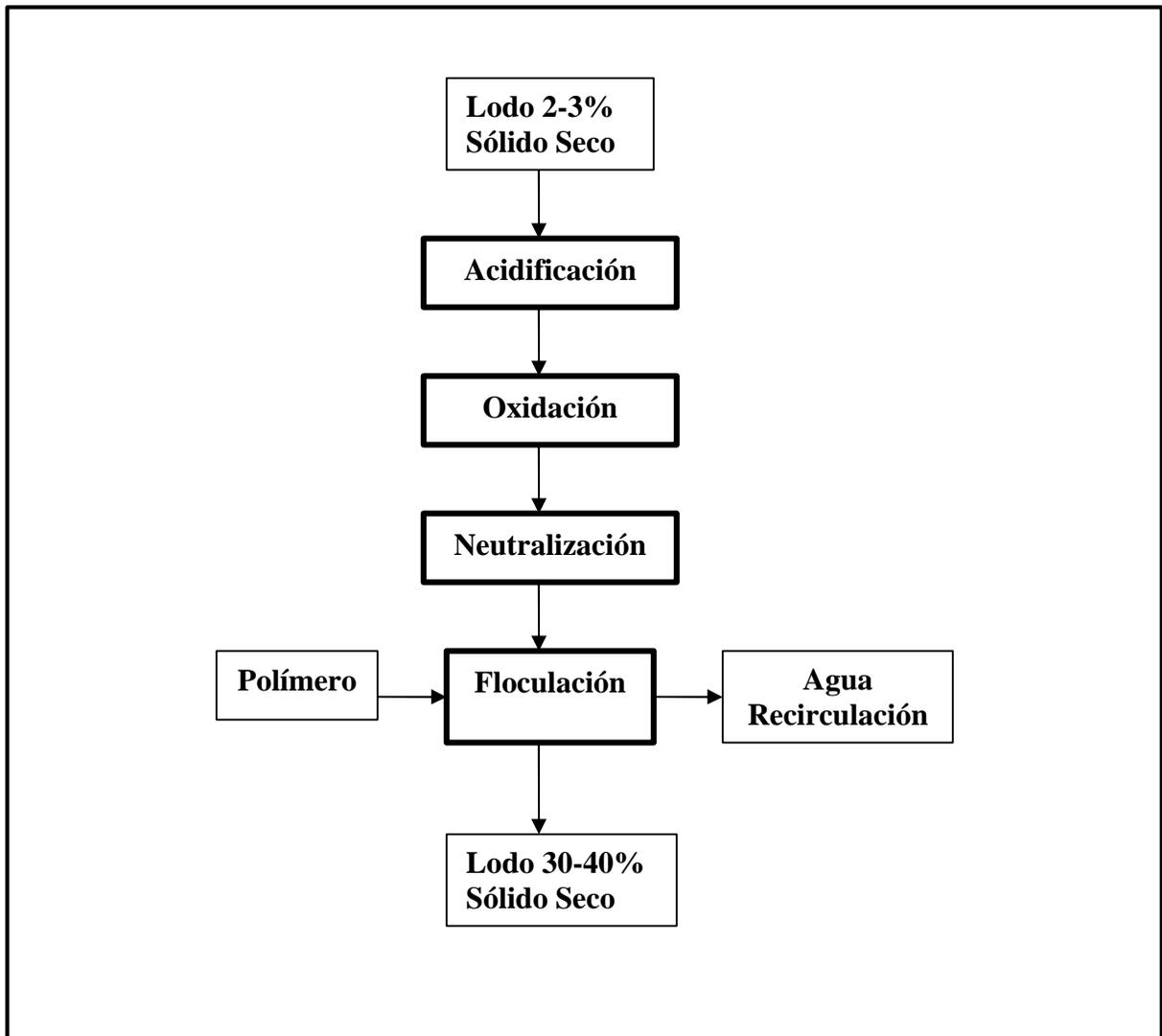
El proceso Kemicond es una tecnología patentada en el año 1995 en Canadá por los autores Simo Jokinen y Rolf Nilsson de la industria Kemira Chemicals para el acondicionamiento químico de lodos, teniendo como función la reducción de volumen, la desinfección, y el control de olores de los lodos de aguas residuales.

El proceso esta orientado a lodos en exceso (lodos residuales) de las plantas de tratamientos de aguas servidas, los cuales, poseen del orden de 3-5 [ppm] de sólidos suspendidos totales (SST), porcentajes de humedad entre 96% y 98%, pudiendo ser lodo digerido (lodo ingresado a digestores) o lodo espesado (en el capítulo anterior se explico la función de un espesador).

En general, el proceso busca atacar las estructuras hidroabsorbentes gelatinosas (por medio de acidificación y oxidación), ya sean orgánicas e inorgánicas, las que al ser destruidas o modificadas en su estructura física, liberan el agua atrapada, entregando una mayor cantidad de agua en la etapa de la separación mecánica (deshidratación).

El tratamiento consta de las etapas de acidificación, oxidación, neutralización y floculación.

A continuación se presenta un esquema del tratamiento Kemicond:



2.1 ACIDIFICACION

El pH típico de los lodos digeridos en plantas de tratamiento de aguas urbanas se encuentra alrededor de 7, se agrega Acido Sulfúrico (H_2SO_4) para la obtención de un pH inferior a 5 con el fin de disolver las estructuras inorgánicas acuosas y gelatinosas, las cuales están integradas por una mezcla de fosfato (PO_4^-) e iones ferrosos (Fe^{+2}), así como otros compuestos inorgánicos. En los lodos no digeridos, el consumo de ácido es inferior debido a la reducida alcalinidad de éstos, liberándose poco o nada de gas.

2.2 OXIDACION

Luego de dejar actuar el Acido Sulfúrico, se agrega Agua Oxigenada (H₂O₂), con lo que los iones ferrosos (Fe⁺²) disueltos se oxidan en iones férricos (Fe⁺³). En presencia de iones fosfato solubles se forma un precipitado de fosfato férrico. Si la relación molar del hierro y los fosfatos es cercana a 1:1, los fosfatos se precipitaran como fosfato férrico, pero en la mayoría de los lodos la relación de hierro es superior¹, a consecuencia de lo cual el fosfato se precipita cuantitativamente y el excedente de hierro disuelto puede reciclarse como coagulante al retornarse el agua de desecho del proceso, a la boca de entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

El fosfato férrico precipitado puede considerarse como una especie de asistente de filtrado, el cual contribuye a la liberación de agua de los lodos en una estructura de predominio orgánico.

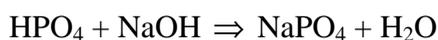
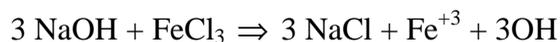
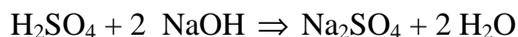
El agua oxigenada en presencia especialmente de iones ferrosos, pero también férricos, y con un pH entre 3 y 5, desarrolla un entorno altamente oxidante, dando lugar a la destrucción de las estructuras gelatinosas hidroabsorbentes de tipo orgánico, o bien a su modificación física, lo que permite la liberación del agua atrapada.

En este entorno oxidante mueren la mayor parte de los microorganismos de los lodos, como la salmonella y otros patógenos. Se reduce así la presencia en los lodos de microcontaminantes orgánicos.

2.3 NEUTRALIZACIÓN

Una vez que se completo el tiempo de actuación del Agua Oxigenada, se agrega a los lodos Hidróxido de Sodio (NaOH), con el fin de recuperar al pH neutro (5-7) que posee el lodo, de tal forma de obtener una corriente de agua y de lodo, con características neutras de acidez para no alterar los procesos en los que serán dispuestos ambos productos.

La(s) reacción(es) de neutralización a ocurrir es (son) la siguiente:



1.Kemira Kemwaters. Agua Espejo numero 1,2005; Pagina 2

2.4 FLOCULACION

Los lodos tratados con el proceso Kemicond se deshidratan tras la floculación con un polímero especialmente desarrollado para flocular lodos. Si el pH es menor a 3, puede necesitarse álcali para ajustar el pH y así obtener una mejor floculación, debido a que el polímero presenta fallas en función a las condiciones de pH antes descritas. Los lodos deshidratados muestran otras características respecto a los convencionales. Se elimina más agua, hasta un 45% de lodo seco, o superior, en función al proceso mecánico de deshidratación. En la planta sueca Kåpala se logro un 45% de lodo seco al deshidratar los lodos con ayuda de una prensa tornillo².

Se puede obtener una reducción de la materia sólida en suspensión de entre un 5 a un 10%, dependiendo de la composición de los lodos².

Las principales reacciones ocurridas durante el proceso Kemicond

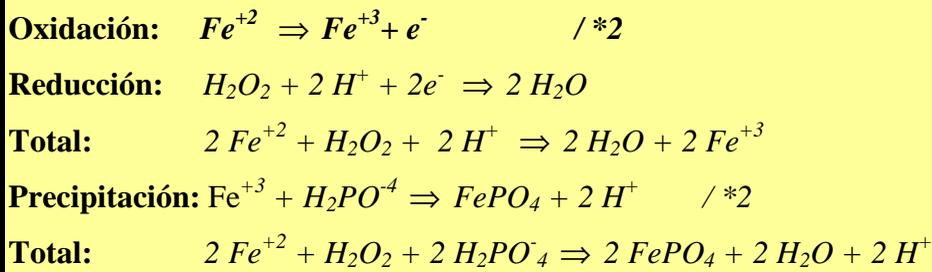


Figura 4: Reacciones ocurridas en lodos digeridos tratados con Kemicond.

2. Kemira Kemwaters. AguaEspejo numero 1, 2005; página 2

2.5 VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

Las experiencias referenciales del proceso Kemicond fueron hechas en una planta de tratamiento de aguas servidas en Dinamarca con lodo digerido, el cual se obtiene de la digestión aeróbica. Estos tienen como características un color negro, olor a tierra, y poseen entre un 45% y 60% de materia orgánica. En nuestro caso, se dispone de lodo espesado que presenta color café, mal olor, etc. A pesar de la diferencia de en los lodos, se espera obtener resultados parecidos.

Se realizo una prueba a gran escala, con el siguiente rango de dosis:

Compuesto	Rango $\left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$
Acido Sulfúrico	300-370
Agua Oxigenada	40-70
Hidróxido de Sodio	20-60
Polímero	3-5

Tabla 1: Dosis Prueba Kemicond realizada en Dinamarca.

Los resultados obtenidos en las experiencias fueron las siguientes:

1. El tratamiento Kemicond permitió duplicar la cantidad de lodo por lote de prensa, en relación al acondicionamiento únicamente con polímero. Se duplica la capacidad de la prensa
2. Los lodos resultan desinfectados e inodoros.
3. La calidad y estructura de los lodos se ve completamente transformada, pasan de ser pegajosos y mal olientes a una composición inodora y con aspecto de grava.

A través del microscopio, se logra observar las estructuras hidroabsorbentes del tipo orgánico. Se puede apreciar claramente que a través de la aplicación del acido y del peroxido aumenta la cantidad de estructuras hidroabsorbentes disponibles para liberar moléculas de agua, lo que conlleva a la disminución de la humedad contenida en el lodo.



Figura 1: Lodo sin Kemicond



Figura 2: Lodo tras acidificación

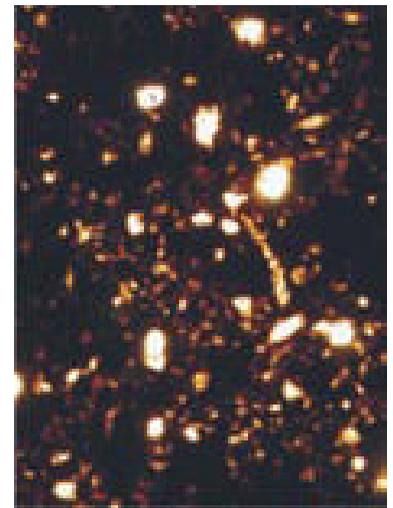


Figura 3: Lodo tras Oxigenación

A continuación se muestra un análisis de desinfección en lodos digeridos de la planta Käppala, Suecia, después del tratamiento Kemicond y comparados con una pasteurización de una hora a 70°C.

Prueba	Lodo Digerido	Kemicond	Pasteurización	Unidad
Coliformes 37°C	63.000	< 10	< 10	Cfu / ml
Coliformes termotolerantes	8.800	< 10	< 10	Cfu / ml
Escherichia coli	7.100	< 10	< 10	Cfu / ml
Chlostridium Perfringes	112.000	55.000	198.000	Cfu / ml
Salmonella Enteriditis	Positivo	Negativo	Negativo	
Salmonella Virchow	Positivo	Negativo	Negativo	

Tabla 2: Análisis comparativo de Desinfección.

En las siguientes tablas se presenta los resultados de las pruebas de Dinamarca:

Ítem	Lodo de Prensado	Lodos con Kemicond
% Sólido Seco (DS)	21	38
% Fe	6,4	6,5
% P	3,9	4,0
% C	28	27
% N	3,8	4,0
% Ca	4,5	3,2

Tabla 3: Composición de lodo de referencia y lodo con Kemicond.

Ítem	Lodos no Tratados	Lodos con Kemicond
Costo Productos Químicos (Euro)	0	45-65
Costo Kemicond licencia (Euro)	0	10
% Sólidos Secos	24	38
Cantidad Lodos Deshidratados (Toneladas)	4,2	2,5
Costo de Compostaje y Eliminación final (Euro)	252	150
Costo Total (Euro)	277	195-215

Tabla 4: Comparación de costos entre lodo no tratado y lodo con Kemicond basada en las experiencias europeas.

PRUEBAS DE LABORATORIO

3.1 INTRODUCCION

El objetivo central de esta etapa es definir la dosis mas adecuada de los reactivos químicos (ácido sulfúrico, agua oxigenada, hidróxido de sodio, polímero), tiempos de contactos requeridos para el lodo generado por la planta.

Para poder definir las variables antes mencionadas, es necesario realizar experiencias de laboratorio, lo cual, una vez definidas las dosis, permitiría escalar los resultados hasta un proceso a nivel industrial.

Las pruebas fueron realizadas teniendo como base las experiencias descritas en el capítulo anterior (planta de Dinamarca el año 2004), las cuales consideran en primer lugar la evaluación de las propiedades del lodo, por medio de un análisis de laboratorio. Para tal propósito, se realizaron pruebas de filtración a los lodos no tratados y lodos tratados con Kemicond.

Cabe destacar que estas pruebas fueron realizadas con lodos digeridos, y en Esva se genera lodo espesado, por lo que no necesariamente se debiese obtener los mismos resultados.

De acuerdo a estos datos se realizaron experiencias de filtrado en una probeta de 250 ml que se modifico de tal forma de simular un matraz de filtración para poder aplicarle vacío. En el Anexo E (Figura 4 y 5, pagina 101) se muestra el equipo adaptado para realizar las pruebas. Posterior a las pruebas de filtrado se mide la humedad de la torta.

3.2 DISEÑO DE EXPERIENCIAS

Al igual que en Dinamarca, se realizaron pruebas con lodo de referencia (lodo espesado) y lodo tratado con Kemicond.

Con la base de las pruebas antes mencionadas, se definió las variables a considerar, las cuales fueron:

- Cantidad de Acido Sulfúrico (pH)
- Cantidad de Agua Oxigenada
- Cantidad de Hidróxido de Sodio, y la forma en que se utilizaría, ya sea en lentejas, o como solución.

- Cantidad de Polímero.
- Tiempos de filtrado.
- Concentración de sólidos suspendidos en lodo espesado.
- Humedad antes y después de la filtración del lodo.

Las experiencias fueron realizadas en el laboratorio de la planta Cordillera durante tres meses. Los reactivos dispuestos para realizar las experiencias fueron los siguientes:

Reactivo	Descripción
Acido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	98% en concentración
Agua Oxigenada (H ₂ O ₂)	10 volúmenes
Hidróxido de Sodio (NaOH)	en pellets
Polímero	Características privadas

Tabla 1: Reactivos usados en las experiencias.

Como principal objetivo, se busca determinar la dosificación mas adecuada de cada reactivo, por lo que la lógica a seguir es encontrar se mejor combinación de dosificaciones, para luego repetir esos ensayos, de modo de confirmar o rechazar la combinación.

En las pruebas de lodo con Kemicond se utilizo la misma dosis descrita en el capitulo anterior (ver tabla 1), la cual debía ser perfeccionada. Se definió valores dentro del rango de cada reactivo, los dos extremos y el valor medio, los cuales formaron un total de combinaciones de 12 pruebas iniciales.

A continuación se procede a presentar una tabla con las dosificaciones para una primera ronda de pruebas.

Compuesto	Dosificación $\left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$	Dosificación $\left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$	Dosificación $\left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$
Acido Sulfúrico	300	340	370
pH	3	4	4,5
Agua Oxigenada	40	55	70
Hidróxido de Sodio	20	40	60
Polímero	3	4	5

En los primeros ensayos se busca comprobar que al agregar ácido sulfúrico, se puede usar como rango de pH, o la cantidad indicada, ya que debiese ser equivalente. Al buscar el valor de pH, resultan grandes dosis de ácido y más altas que las indicadas. Se optó por usar las cantidades recomendadas.

Una vez determinada las mejores combinaciones, se realiza dos rondas de pruebas, con las cuales se comienza a definir las cantidades ha agregar y ver los efectos de cada reactivo.

Es importante destacar que en cada día de ensayo, se considera la cantidad de sólidos secos, valor con el cual se obtiene la cantidad de reactivo a agregar.

Para el cálculo de cantidades de reactivos se considera la siguiente formula general:

$$M = \frac{Rango * SST * V}{1000}$$

Donde:

Rango: Dosis de reactivo en $[Kg / TonSS]$.

SST: Sólidos suspendidos totales $\left[\frac{gr}{l} \right]$.

V: Volumen muestra en $[l]$.

M: Cantidad de reactivo en $[Kg]$.

3.3 EXPERIENCIAS

A continuación se presenta el procedimiento experimental utilizado durante este trabajo:

3.3.1 PRUEBAS DE LODO DE REFERENCIA

- **Muestreo de lodo** en sala de Deshidratación de la planta. Se recolectan 500 [ml] de lodo espesado por día de prueba.
- **Medición Humedad lodo espesado.** Con un gotario se extraen 3 [grs] de lodo desde el jarro recolector, para depositarlos en un pequeño plato metálico, el cual se tara en el instrumento para medir humedad (Termobalanza). Luego que indicaba la cantidad de lodo (masa), se iniciaba el proceso de medición de humedad. La termobalanza tiene como base de funcionamiento el principio de masa constante. El instrumento agrega calor, el cual va eliminando el agua contenida en el lodo, y va registrando la masa del lodo, hasta que se mantiene constante, valor con el cual realiza el cálculo de humedad y que se entrega en la pantalla de la termobalanza.
- **Muestra de lodo.** Se extraen 100 [ml] de lodo del jarro recolector para depositarlas en un vaso de 250 [ml], el cual se mantenía con agitación constante.
- **Adición del polímero.** Se preparan 9 [grs] de solución de polímero al 0,1% en peso (cantidad y obtención de ésta ver en Anexo A, paginas 1 y 2) la que se agrega al vaso que contenía el lodo. Una vez logrados los floculos, se procede a filtrar.
- **Filtración de la muestra.** El matraz de filtración (Anexo E, figuras 4 y 5, pagina 101) esta conectado a una bomba de vacío, la cual opera siempre a 10 [mmHg], debido a características propias de la bomba. En el matraz se deposita la muestra lodo con polímero, la cual se filtra durante 12 minutos debido a que en ese tiempo se satura el papel y deja de filtrar, midiendo el volumen filtrado cada un minuto. Como medio filtrante, se utilizo papel filtro numero 0,2.
- **Medición de Humedad.** Una vez filtrado el lodo floculado, se obtenía una torta del sólido filtrado, de la cual se extraía una muestra significativa para medir la humedad del lodo filtrado.

Los valores de humedad final se muestran en la siguiente tabla

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Volumen filtrado	75 [ml]	76 [ml]	72 [ml]	69 [ml]	72 [ml]
Tiempo filtrado	12 [min]				
Humedad	79%	80,3%	81%	83 %	81,5 %

Tabla 1: Resultados Pruebas Lodo de referencia.

El detalle de estas pruebas se encuentra en el Anexo A, páginas 9 y 10.

3.2.2 PRUEBAS A LODO TRATADOS CON KEMICOND

El procedimiento es el mismo hasta el tercer paso de las pruebas de referencia:

- Se introduce un medidor de pH al lodo y se fija en el vaso, sin que interrumpa el proceso de agitación.
- **Adición de Acido Sulfúrico.** En un vaso de 50 [ml] previamente tarado, se agrega la cantidad definida de H₂SO₄, la cual se pesa, y se traspasa al vaso de lodo a través de un gotario. Se registra el pH, al agregar el ácido, y luego de su actuación, que fue de 45 minutos¹.
- **Adición de Agua Oxigenada.** Antes de que se cumplieran los 45 minutos de tiempo de actuación del ácido, se comienza a preparar la cantidad a agregar de H₂O₂, de la misma forma que el H₂SO₄. Una vez agregado el peroxido, se mide nuevamente el pH antes y después de actuar el agua oxigenada. El tiempo de contacto fue de 45 minutos¹.
- **Adición de Hidróxido de Sodio.** Se uso una solución de soda al 50 %, y luego se opto definitivamente por una solución al 30 % en peso, debido a inconvenientes con las propiedades físicas (Temperatura de fusión, en el siguiente capitulo se procede a explicar) de la soda al 50%. Una vez hecha la solución, se guarda y para cada prueba, se pesa antes y después de agregar la soda, y por diferencia se obtiene la cantidad agregada

1. Kemira; Report Kemicond, 2004-2005, pagina 41.

En la adición de Polímero, la filtración y la medición de la humedad del lodo es el mismo procedimiento que en las pruebas de referencia.

Dosis Ronda primaria

Esval decidió limitar el número de análisis a realizar, sobre la base del diseño de experiencias mostrado anteriormente. Las dosis acordadas para la primera ronda es la siguiente:

Detalle	Cantidad
Volumen muestra	100 [ml]
Sólidos suspendidos totales en el lodo	40 $\left[\frac{gr}{l} \right]$
Acido Sulfúrico (gramos)	0,3
Agua Oxigenada (gramos)	1,6
Soda	Se agregaba hasta alcanzar pH: 5-7
Polímero (gramos)	3 - 4 -5

Tabla 2: Dosis primera ronda experiencias.

En el Anexo E se encuentran imágenes del lodo generado una vez aplicado el tratamiento Kemicond (figuras 1 y 2, página 100).

Antes que todo, se tomaron muestras de lodo espesado, que sería el lodo que entra al proceso de tratamiento, y se midió su humedad obteniéndose los siguientes resultados que se encuentran en la tabla 3.

Se realizaron 13 pruebas, ya que los valores de humedad obtenidos confirmaban la información entregada por la empresa respecto a la cantidad de agua contenida en los lodos, por lo que no tenía ningún sentido seguir testeando esos valores.

Muestra	Humedad
1	97,75 %
2	97,05 %
3	97,0 %
4	97,0 %
5	98,2 %
6	96,4 %
7	97,1 %
8	97,2 %
9	97,1%
10	97,1%
12	97,2%
13	98,15%

Tabla 3: Humedad Lodo Espesado.

Los resultados obtenidos en las pruebas de lodo con Kemicond se presentan en las tablas 4 y 5.

El detalle se puede revisar en el Anexo A, entre las paginas 10 y 34.

Se supuso que la cantidad recomendada por Kemira de peróxido es al 100% en volumen. En las pruebas se dispuso de H₂O₂ de 10% en peso (10 volúmenes).

Primera Ronda	H ₂ SO ₄	H ₂ O ₂	Volumen filtrado	Tiempo Filtración	% Humedad
Prueba 1	1,25 [gr]	1,6 [gr]	81 [ml]	14 [min]	65,5 %
Prueba 2	1,28 [gr]	1,6 [gr]	79 [ml]	14 [min]	67 %
Prueba 3	1,23 [gr]	1,6 [gr]	82 [ml]	14 [min]	64,3 %
Prueba 4	1,27 [gr]	1,63 [gr]	81 [ml]	14 [min]	67,5 %
Prueba 5	pH:3,9	1,6 [gr]	80 [ml]	14 [min]	69,8%

Tabla 4: Primera ronda experiencias lodo con Kemicond.

Dosis segunda ronda

En la segunda ronda se formulo la siguiente dosis:

Detalle	Cantidad
Sólidos suspendidos totales	45 $\left[\frac{gr}{l} \right]$
Acido Sulfúrico	300 $\left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$
Agua Oxigenada	40 $\left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$
Soda	Se agregaba hasta alcanzar pH: 5-7
Polímero (gramos)	3 - 4 -5

Tabla 5: Dosis segunda ronda experiencias.

Cabe destacar que la prueba 6 y 7 fueron distintas.

En la prueba 6 se considero 50 $\left[\frac{gr}{l} \right]$. Como se obtuvo buenos resultados con la cantidad de acido descrita en la tabla 5, se realizaron pruebas con un volumen mayor de lodo (500 [ml]).

En la prueba 7 se filtraron intervalos de 200 [ml] debido a que el quitasato posee una capacidad de 250 [ml]. El resto de las experiencias se filtró volúmenes de 100 [ml].

Segunda Ronda	H ₂ SO ₄	H ₂ O ₂	Volumen filtrado	Tiempo Filtración	% Humedad
Prueba 6	pH: 3,9	2 [gr]	80 [ml]	14 [min]	66%
Prueba 7	6,75 [gr]	9 [gr]	158 [ml]	14 [min]	69,45 %
			142 [ml]	14 [min]	71,7 %
			156 [ml]	14 [min]	69,25 %
Prueba 8	6,75 [gr]	9 [gr]	78 [ml]	14 [min]	66,5 %
			76 [ml]	14 [min]	67,5 %
Prueba 9	6,75 [gr]	6,75 [gr]	79 [ml]	14 [min]	66,3 %
			79 [ml]	14 [min]	66%
			80 [ml]	14 [min]	65%
			80 [ml]	14 [min]	65 %
			135 [ml]	14 [min]	68 %
Prueba 10	2,7 [gr]	2,7 [gr]	72 [ml]	14 [min]	65,9 %
			100 [ml]	14 [min]	70,05

Tabla 6: Segunda ronda experiencias lodo con Kemicond.

En la prueba 9 y 10, se agregan $30 \left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$ agua oxigenada, para comprobar si con un valor

menor dentro del rango de dosis se alcanzan humedad del lodo cerca de al 70%.

A pesar de que se obtuvo una cantidad aceptable de humedad (65%), la cantidad de soda (50% p/p) es muy alta (22 [grs] para 500 [ml] de lodo) por lo que se optó por hacer la misma

experiencia pero con la mitad de la cantidad de ácido y con $30 \left[\frac{Kg}{TonSS} \right]$ agua oxigenada, ya

que se probó con cantidades menores y no se cumplió con el objetivo de reducir la humedad a los valores fijados (< 70%). Se puede revisar las experiencias A, B, C en el Anexo A, páginas A-11 y A-12.

Se considero $40 \left[\frac{gr}{l} \right]$ de sólidos suspendidos.

Repetición	H ₂ SO ₄	H ₂ O ₂	Volumen filtrado	Tiempo Filtración	% Humedad
Prueba 11	0,62 [gr]	1,2 [gr]	89 [ml]	14 [min]	68,1 %
Prueba 12	0,62 [gr]	1,2 [gr]	87 [ml]	14 [min]	69,2 %
Prueba 13	0,61 [gr]	1,2 [gr]	87 [ml]	14 [min]	68,65 %

Tabla 7: Resultados pruebas finales.

Al obtener humedades bajo el 70% en las últimas pruebas y disminuir la cantidad de soda (30% p/p) (5 [gr] para 100 [ml]), se define las cantidades.

La dosis óptima obtenida para aplicar el tratamiento Kemicond en la planta Cordillera de Los Andes, de ESVAL, de acuerdo a las experiencias realizadas es la siguiente:

Reactivo	Cantidad $\left[\frac{Kg}{tonSS} \right]$
Acido Sulfúrico 98%	150
Agua Oxigenada	30
Hidróxido de Sodio	375
Polímero	5,25

Tabla 8: Dosis obtenida en pruebas de lodos con Kemicond.

Los valores obtenidos se pueden revisar en el Anexo A, paginas 1,2,3.

3.4 CONCLUSIONES

Al revisar las pruebas realizadas, se advierte que más de una alternativa resulta favorable, ya que con más de una se alcanzan valores de 66% o 67% de humedad de lodo final, si se agrega ácido en base al pH. Si se disminuye la humedad de 67% a 65%, tiene mucha relevancia en la disminución del volumen del lodo, por lo que en primera instancia se ha seleccionado la alternativa de 300 kg de ácido y 30 Kg de agua oxigenada por tonelada de sólido seco, pero la combinación anterior requiere una cantidad de soda muy alta, ante lo cual, la dosis favorable para el proceso es la de 150 Kg de ácido y 30 Kg de agua oxigenada por tonelada de sólido seco, con la que se alcanza una humedad en el lodo de 68%, y disminuye notoriamente el consumo de soda.

En relación a la cantidad de polímero, cabe destacar que se obtiene una mayor eficiencia en el tiempo de floculación, floculos más definidos y de mayor tamaño, con la dosis de 7,021 grs (0,3% p/p). Mientras más grande la cantidad de solución agregada, se filtra más volumen, debido a que contenía mas agua dicha solución, pero la humedad final del lodo no variaba.

Por ultimo, cabe mencionar el tener precaución cuando se lleve a cabo a la neutralización a nivel industrial, ya que al comienzo cuesta que aumente el pH, pero una vez que llega a 4, este es muy sensible, por lo que debe agregarse lentamente para así no llegar a $\text{pH} > 7$.

DISEÑO DEL PROCESO

4.1 INTRODUCCION

El proceso a seguir esta definido en si por el proceso Kemicond, el cual se explico en detalle en el capitulo 2.

En la planta Cordillera se producen $150 \left[\frac{m^3}{día} \right]$ de lodo en exceso (lodo espesado) con un 97%

de humedad, el cual pasa a la etapa de deshidratación, generando $22,5 \left[\frac{m^3}{día} \right]$ de lodo con una humedad de 80%, lo que se traduce en 1,5 contenedores de $15 [m^3]$ retirados diariamente.

El proceso Kemicond se diseña en este capitulo, considerando que será emplazado a un costado de la planta de tratamiento actual, y se incluye los balances, diseño operativo y mecánico de equipos involucrados.

Cabe destacar que se comprará soda al 50%, y se diluirá al 30%, debido a que la soda al 50% se congela a la temperatura de 9°C, y en la zona se alcanzan temperatura bajo 0°C en invierno. Es importante destacar que la etapa de floculación es parte de la etapa de la deshidratación, por lo que en los diagramas se hace mención a esta última etapa.

En la figura se presenta la posible ubicación de la planta Kemicond dentro de la planta de tratamientos

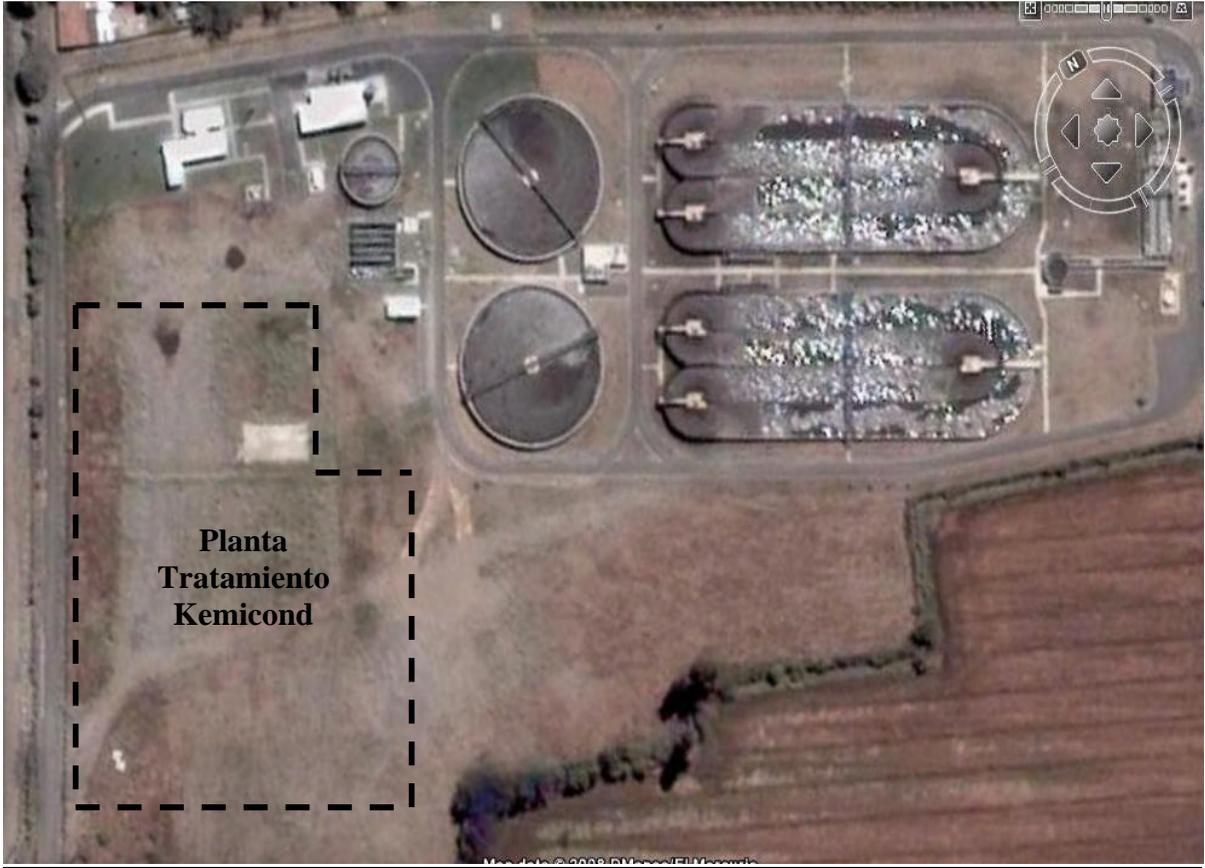


Figura 1: Bosquejo ubicación Planta Proceso Kemicond dentro de la Planta Cordillera.

Diagrama de Proceso Kemicond

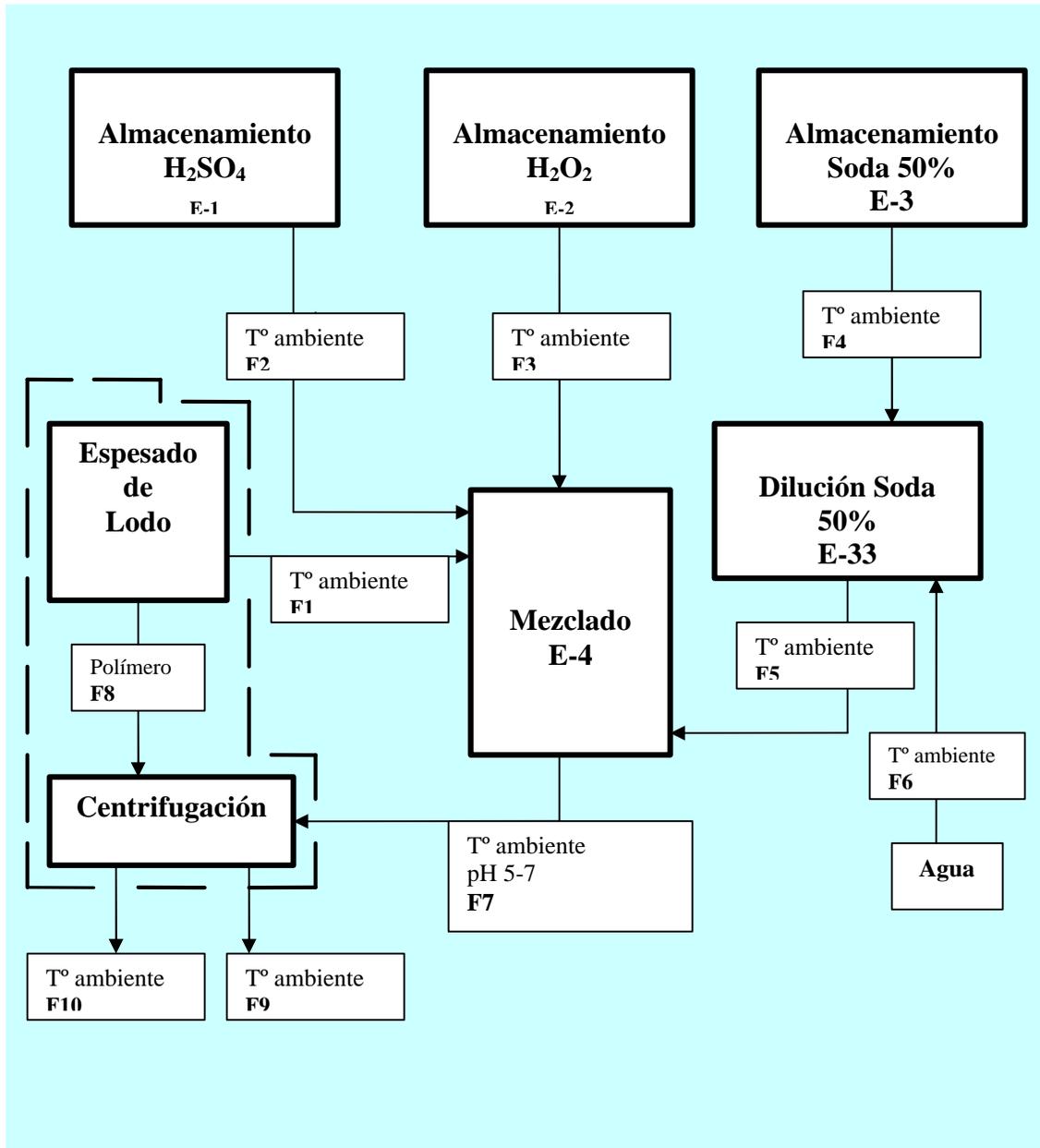


Figura 2: Diagrama Procesos Unitarios Tratamiento Kemicond.

4.2 PARAMETROS DE DISEÑO

Los datos que se presentan a continuación, se definieron de acuerdo a las necesidades del proceso Kemicond. El tiempo de residencia se definió por ESVAL, y los valores elegidos fueron dados de acuerdo a variables como traslado y disponibilidad de materias primas, y dosis diarias suficientes para un periodo de tiempo extendido. En cuanto a la presión y la temperatura, el proceso no requiere condiciones específicas, por lo que se opera a condiciones ambientales. El tiempo de carga, es decir, el tiempo de funcionamiento de cada bomba, se definió de acuerdo a la jornada de operación, de tal forma de que se obtuviesen equipos de bombeo pequeños, y lograr una jornada laboral entre 8 y 10 horas. Por último, el tiempo de actuación de cada reactivo se debe a valores utilizados en los ensayos utilizados en Europa¹.

Reactivo	Cantidad $\left[\frac{Kg}{tonSS} \right]$
Acido Sulfúrico 98%	150
Agua Oxigenada	30
Hidróxido de Sodio	375
Polímero	5,25

Tabla 1: Dosis obtenida en pruebas de lodos con Kemicond.

4.2.1 ACIDIFICACIÓN

Parámetro	Valor
Tiempo Residencia en estanque E-1	45 [días]
Presión Operacional	1 [atm]
Temperatura	Ambiente
Tiempo de carga a estanque de mezclado E-4	0,5 [hora].
Tiempo Agitación	1 [hora]

Tabla 2: Parámetros de diseño etapa Acidificación.

Kemira. Report "Evaluation and development of the Kemicond-process at Käppala wastewater treatment plant". 2004-2005. pag 41.

4.2.2 OXIDACIÓN

Parámetro	Valor
Tiempo Residencia en estanque E-2	60 [días]
Presión Operacional	1 [atm]
Temperatura	Ambiente
Tiempo de carga a estanque de mezclado E-4	0,5 [hora].
Tiempo Agitación	1 [hora]

Tabla 3: Parámetros de diseño etapa Oxidación.

4.2.3 NEUTRALIZACIÓN

Parámetro	Valor
Tiempo Residencia en estanque E-3	1 [día]
Tiempo Residencia en estanque E-33	14 [día]
Presión Operacional	1 [atm]
Temperatura	Ambiente
Tiempo de carga a estanque E-33	4 [hora]
Tiempo de carga de agua a estanque E-33	4 [hora]
Tiempo de carga a estanque de mezclado E-4	0,5 [hora].
Tiempo Agitación	0,5 [hora]

Tabla 4: Parámetros de diseño etapa Neutralización.

4.2.4 FLOCULACIÓN

Parámetro	Valor
Tiempo carga de lodo tratado a centrífugas	6,5 [hora]
Presión Operacional	1 [atm]
Temperatura	Ambiente
Tiempo operación centrífuga	6,5 [hora].
Humedad lodo tratado con Kemicond	68%

Tabla 5: Parámetros de diseño etapa Floculación.

4.3 BALANCE DE MASA

Para el desarrollo del balance de masa del proceso se contaba con los siguientes datos:

Propiedad	Valor
Humedad lodo espesado	97%
Humedad lodo centrifugado	80%
Volumen lodo centrifugado generado	22,5 [m ³]

Tabla 6: Datos disponibles para el desarrollo del balance de masa.

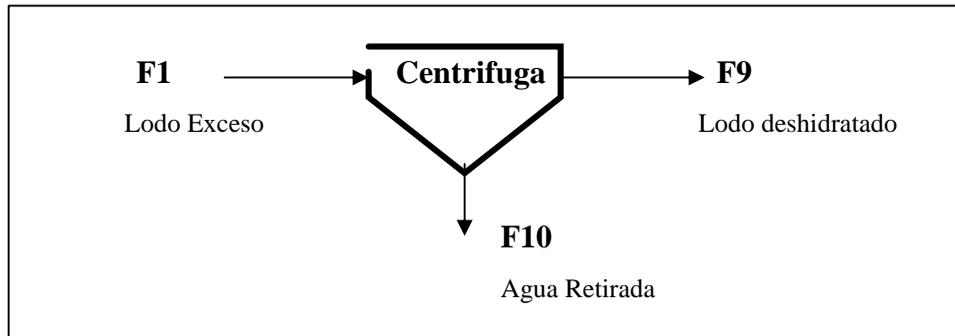
4.3.1 BALANCE AL PROCESO ACTUAL DE CENTRIFUGADO

A continuación, en la siguiente tabla se presenta el balance de masa para el lodo centrifugado (Proceso actual de deshidratación)

	Corriente F1	Corriente F10	Corriente F9	Unidad
Humedad	97%		80%	
Flujo Sólidos Secos	4,5		4,5	$\left[\frac{ton}{dia} \right]$
Flujo Agua	145,5	127,5	18	$\left[\frac{ton}{dia} \right]$
Flujo Total	150	127,5	22,5	$\left[\frac{ton}{dia} \right]$

Tabla 7: Balance de Masa Lodo Centrifugado.

Es necesario destacar que el flujo que entra es de lodo espesado (lodo en exceso). El detalle de los cálculos se obtiene en el Anexo B, páginas 46 y 47. Para ayudar a entender el balance, se presenta el siguiente diagrama:



4.3.2 BALANCE AL PROCESO KEMICOND

En la siguiente tabla se presenta el balance al lodo con tratamiento Kemicond.

	Corriente F1	Corriente F10	Corriente F9	Unidad
Humedad	97%		68 %	
Flujo Sólidos Secos	4,5		4,5	$\left[\frac{ton}{dia} \right]$
Flujo Agua	145,5	135,9	9,6	$\left[\frac{ton}{dia} \right]$
Flujo Total	150	135,9	14,1	$\left[\frac{ton}{dia} \right]$

Tabla 8: Balance Masa Lodo tratado.

A continuación se presenta el balance global de proceso Kemicond por compuesto:

	Entrada	Salida	Unidad
Acido Sulfúrico 98%	675	0	$\left[\frac{Kg}{día} \right]$
Agua Oxigenada	270	0	$\left[\frac{Kg}{día} \right]$
Soda 50 %	5,7	0	$\left[\frac{Ton}{día} \right]$
Polímero 3%	7,9	0	$\left[\frac{Ton}{día} \right]$
Lodo	150	165,4	$\left[\frac{Ton}{día} \right]$

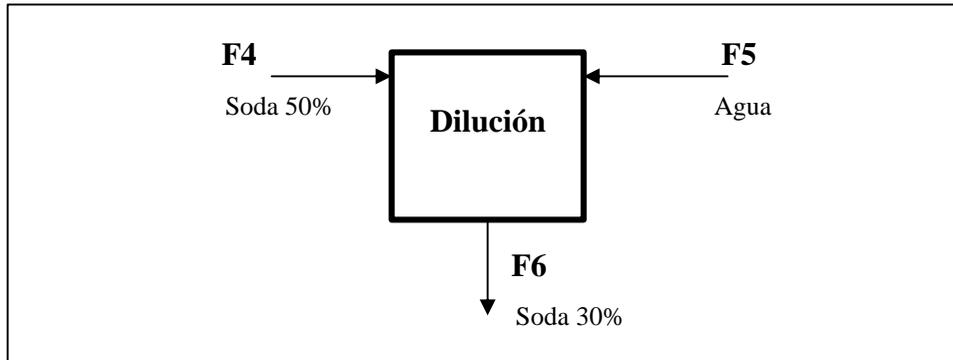
Tabla 9: Balance Masa global proceso Kemicond.

Al observar las cifras, primeramente se hace referencia al lodo, el cual entra al proceso como lodo espesado, y sale tratado con Kemicond. El detalle de los cálculos se encuentra en el Anexo B, páginas 48-52.

Para dar a entender más el proceso, se presentara el balance de masa a través de los procesos más relevantes del tratamiento Kemicond.

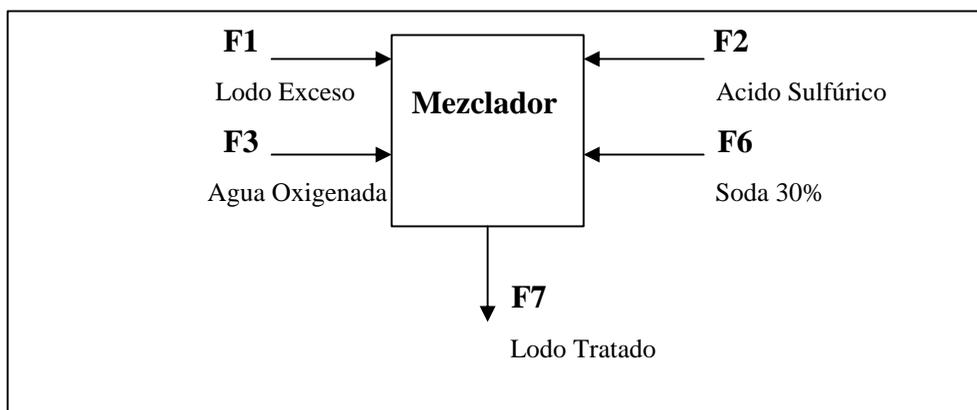
	Corriente F4	Corriente F5	Corriente F6	Unidad
Hidróxido de Sodio	1,7		1,7	$\left[\frac{Ton}{día} \right]$
Agua	1,7	2,3	4	$\left[\frac{Ton}{día} \right]$
Total	3,4	2,3	5,7	$\left[\frac{Ton}{día} \right]$

Tabla 10: Balance Masa Dilución Soda.



	Corriente F1	Corriente F2	Corriente F3	Corriente F6	Corriente F7	Unidad
Acido Sulfúrico		675				$\left[\frac{Kg}{día} \right]$
Agua Oxigenada			270			$\left[\frac{Kg}{día} \right]$
Soda 30 %				5,7		$\left[\frac{Ton}{día} \right]$
Lodo	150				156,7	$\left[\frac{Ton}{día} \right]$

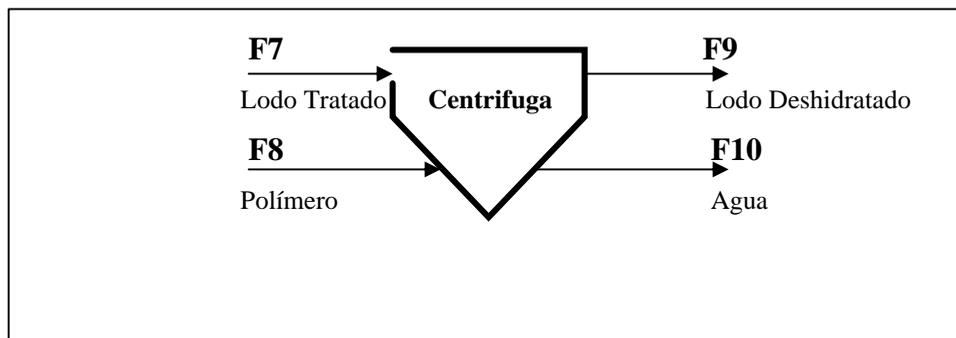
Tabla 11: Balance Masa Mezclado.



Una vez obtenido el flujo de lodo tratado, éste se deshidrata a través de centrifugación. Es importante recordar que la corriente F8, alimenta una solución al 0,3% en peso de polímero. El balance es el siguiente:

	Corriente F7	Corriente F8	Corriente F10	Corriente F9	Unidad
Polímero		7,9			$\left[\frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right]$
Agua	152,2		150,3	9,6	$\left[\frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right]$
Sólidos	4,5			4,5	$\left[\frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right]$
Lodo	156,7			14,1	$\left[\frac{\text{Ton}}{\text{día}} \right]$

Tabla 12: Balance Masa Centrifugación.



A continuación se muestra una tabla comparativa con los flujos de salida (lodo tratado con Kemicond y lodo centrifugado), teniendo como entrada el lodo espesado.

	Lodo Espesado	Lodo Centrifugado	Lodo Tratado
Humedad	97%	80%	68%
Flujo Lodo $\left[\frac{ton}{día} \right]$	150	22,5	14
Flujo Agua $\left[\frac{ton}{día} \right]$	145,5	18	9,6
Flujo Sólido $\left[\frac{ton}{día} \right]$	4,5	4,5	4,5
Flujo Lodo $\left[\frac{m^3}{día} \right]$	150	22,5	14

Tabla 13: Tabla comparativa entre lodo centrifugado y lodo tratado con Kemicond.

Como se puede apreciar, al aplicar el tratamiento Kemicond se logra disminuir el volumen del lodo en un 38% con respecto al tratamiento actual (Centrifugación), el cual se traspa directamente en la reducción de los costos de traslados del lodo.

DISEÑO DE EQUIPOS

5.1 INTRODUCCION

Una vez desarrollados los balances de masa, se puede dar paso al diseño operativo y al diseño mecánico, lográndose con éstos una buena estimación en el costo de los equipos y costo de operación necesarios para la evaluación económica.

El diseño operativo se realiza sobre la información determinada por los balances, más las consideraciones operativas propias de la planta de tratamiento, en lo que refiere a producción de lodos, jornadas de trabajo, turnos, etc.

El proceso será desarrollado en un solo estanque mezclador con agitación, que albergará los procesos de acidificación, oxidación y neutralización, considerando la secuencia cronológica que impone el método Kemicond. Los equipos auxiliares se conforman por los estanques de almacenamientos de insumos, bombas y sistemas de piping asociados.

Para la selección del material de los equipos, los más recurrentes son el acero, la fibra de vidrio (FRP) y el polímero de alta densidad (HDPE). En cada caso se consultó a textos como “*Corrosión Engineering*”, del autor Mars Fontana, y al “*Manual del Ingeniero Químico*”, (6ª Edición) del autor Robert H. Perry, para luego discriminar finalmente, por el factor costo.

5.2 DISEÑO OPERATIVO

La planta opera en régimen de proceso semicontinuo, y operará 26 días al mes. El proceso Kemicond requiere 10,5 horas, por lo que se proyecta iniciar la operación en las primeras horas de la mañana (4-6 a.m.), debido a que la planta mantiene las centrifugas en marcha solamente hasta las 17:00 horas, por lo que se cumple con tal requerimiento.

De acuerdo al balance de masa, se generaran $14,1 \left[\frac{m^3}{día} \right]$, lo que equivale a un contenedor de

lodo diario (el proceso actual genera 1,5 contenedores diarios).

El tratamiento Kemicond se realizara paralelamente al tratamiento de aguas, pero se entiende que depende en cierta forma de la planta de aguas servidas, ya que es esta la que genera el lodo espesado. Mientras se disponga de lodo en el espesador para purgar, el tratamiento se llevara a cabo.

A continuación se presenta por etapas la descripción operativa y un diagrama de flujo con los equipos necesarios para el proceso Kemicond.

El detalle de los cálculos se puede revisar en el Anexo C.

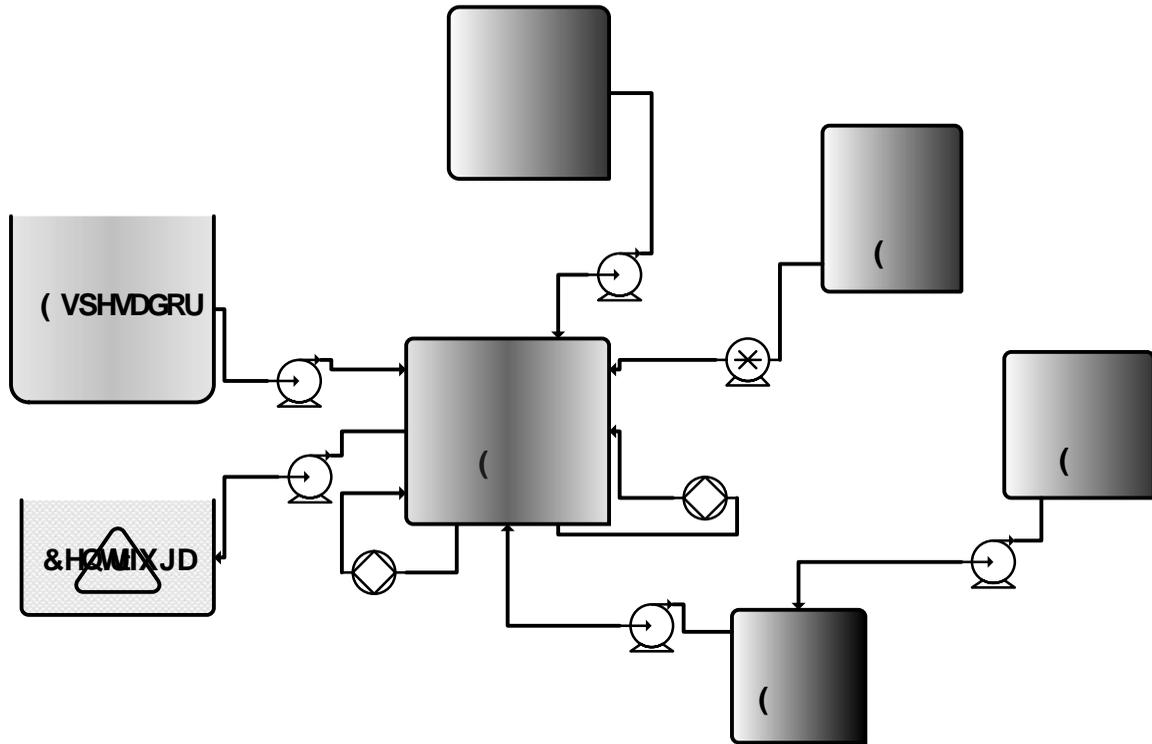


Figura 1: Diagrama de flujo equipos tratamiento Kemicond.

Los parámetros de diseño general de cada etapa se muestran en la siguiente tabla:

	Detalle
Sobrecapacidad estanques	20 %
Altura liquido	80 % Altura Estanque
Sobrecapacidad bombas	20 %
Bomba auxiliar por equipo	1
Relación H/D	1

Tabla 1: Parámetros de diseño generales de cada etapa.

MEZCLADO LODO

En el estanque de mezclado se lleva a cabo la acidificación, la oxidación y la neutralización. Una vez cargado el estanque con lodo espesado, se agrega el ácido y luego de una hora, se bombea el agua oxigenada para dejarla actuar por una hora. Posteriormente, se dosifica la soda al 30% hasta alcanzar un pH entre 5-7.

Estanque E-4	Detalle
Forma	Cilíndrica
Flujo lodo tratado	156,6 $[ton/dia]$
Días almacenamiento	1 $[dia]$
Masa lodo tratado	156,6 $[ton]$
Densidad	1,011 $[ton/m^3]$
Volumen liquido	155 $[m^3]$
% Sobrecapacidad	20 %
Volumen liquido con sobrecapacidad	186 $[m^3]$
Relación H/D	1
Altura liquido	6,19 $[m]$
Diámetro	6,19 $[m]$
Altura liquido	80% Altura Estanque
Altura Estanque	7,73 $[m]$
Volumen Estanque	232 $[m^3]$

Tabla 2: Descripción operativa Estanque Mezclado.

Las bombas de recirculación tienen como finalidad generar agitación a la mezcla del lodo con los reactivos, ya que se prefirió usar bombas en vez de un agitador, para disminuir costos en los equipos. Además, es importante acotar que las dos bombas funcionan en paralelo.

Bombas Recirculación	Detalle
Tipo	Tornillo Excéntrico sin fin
Caudal	$20 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
Potencia	$1,5 [HP]$

Tabla 3: Descripción operativa bombas en estanque de Mezclado.

Las bombas de descarga trasladan el lodo tratado hasta la etapa de la deshidratación, y también funcionan las dos bombas a la vez. Se eligió este tipo de bomba, ya que son aptas para tipos de fluidos como barros y lodos, que poseen un esfuerzo de corte no constante. Además, ESVAL trabaja con este tipo de bombas para el traslado de los lodos.

Bombas	Detalle
Tipo	Tornillo Excéntrico sin fin
Sobrecapacidad	20 %
Caudal	$12 \left[\frac{m^3}{h} \right]$
Potencia	$0,5 [HP]$
Cantidad	2 unidades

Tabla 4: Descripción operativa bombas en estanque de Mezclado.

ETAPA ACIDIFICACION

El estanque E-1 acumula ácido sulfúrico, del cual se alimentan las dosis diarias necesarias para cumplir con la primera etapa del tratamiento Kemicond.

El estanque fue calculado de la misma manera anterior, por lo que debido a la simplicidad del cálculo, se omiten los datos antes usados en este caso y en los siguientes.

Estanque E-1	Detalle
Forma	Cilíndrica
Volumen liquido	16 [m ³]
Diámetro	2,91 [m]
Altura Estanque	3,63 [m]
Volumen Estanque	19,3 [m ³]

Tabla 5: Descripción operativa Estanque etapa Acidificación.

Para las bombas de descarga, se selecciono bombas del tipo centrífuga, debido a que son aptas para el fluido y las características operativas.

Bombas	Detalle
Tipo	Centrifuga
Caudal	0,73 $\left[\frac{m^3}{h} \right]$
Potencia	0,5 [HP]

Tabla 6: Descripción operativa bombas etapa Acidificación.

ETAPA OXIDACION

El estanque E-2, acumula agua oxigenada para entregar diariamente la dosis necesaria para llevar a cabo la segunda etapa del tratamiento en estanque de mezclado.

Estanque E-2	Detalle
Forma	Cilíndrica
Volumen liquido	13,61 $[m^3]$
Diámetro	2,75 $[m]$
Altura Estanque	3,88 $[m]$
Volumen Estanque	20,43 $[m^3]$

Tabla 7: Descripción operativa Estanque etapa Oxidación.

Para el traslado del agua oxigenada, se selecciono bombas de desplazamiento positivo, ya que son aptas para caudales pequeños, y en este caso, nos encontramos en esa situación.

Bombas	Detalle
Tipo	Desplazamiento Positivo
Caudal	0,47 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Potencia	0,25 $[HP]$

Tabla 8: Descripción operativa bombas etapa Oxidación.

ETAPA NEUTRALIZACION

El estanque E-3 tiene como función recibir la entrega de la soda al 50%, la cual se llevara hasta el estanque E-33 para diluir la soda.

El estanque posee aislación, debido a que la soda al 50% en peso tiene como punto de congelamiento $9^{\circ}C$ (en la zona se alcanzan temperaturas bajo $0^{\circ}C$ en el invierno).

En el Anexo B, páginas 53 y 54, se encuentran los cálculos que determinan el espesor del aislante.

Estanque Receptor E-3	Detalle
Forma	Cilíndrica
Volumen liquido	30 $[m^3]$
Diámetro	3,58 $[m]$
Altura Estanque	4,47 $[m]$
Volumen Estanque	45 $[m^3]$
Aislación	Lana Mineral
Espesor Aislante	1/2 $[pu\lg]$

Tabla 9: Descripción operativa Estanque etapa Neutralización.

Las bombas seleccionadas son de tipo centrifuga debido a que son recomendadas para los fluidos a transportar en este caso(soda, agua), además de ser necesarias debido a los requerimientos operacionales.

Bombas	Detalle
Tipo	Centrífuga
Caudal	7,5 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Potencia	0,75 $[HP]$

Tabla 10: Descripción operativa bombas etapa Neutralización.

En el estanque E-33 se mezcla la soda al 50% con agua, de tal forma de alcanzar una solución al 30% en peso.

Estanque Disolución E-33	Detalle
Forma	Cilíndrica
Volumen liquido	56,7 $[m^3]$
Diámetro	4,43 $[m]$
Altura Estanque	5,53 $[m]$
Volumen Estanque	85 $[m^3]$

Tabla 11: Descripción operativa Estanque etapa Neutralización.

Bombas	Detalle
Tipo	Centrífuga
Caudal	8,4 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Potencia	1,5 $[HP]$
Cantidad	2 unidades

Tabla 12: Descripción operativa bombas etapa Neutralización.

Bomba para agua	Detalle
Tipo	Centrífuga
Caudal	7,5 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Potencia	0,5 $[HP]$
Cantidad	1 unidad

Tabla 13: Descripción operativa bombas etapa Neutralización

No se realizó ningún diseño para la etapa de deshidratación, ya que la empresa dispone del equipamiento necesario para la floculación y deshidratación del lodo, y lógicamente, se utilizarán estas mismas unidades. El caudal de las bombas de descarga del estanque de mezclado dependen de las centrifugas, ya que ese caudal es la capacidad máxima de los equipos de centrifugación (Revisar el capítulo 1, descripción de la planta, etapa deshidratación).

5.3 DISEÑO MECANICO

5.3.1 ACUMULADOR ACIDO SULFURICO

Selección del Material

El ácido sulfúrico a concentraciones altas posee un bajo poder corrosivo. Mientras más diluido, más corrosivo es el ácido¹. En el caso del tratamiento Kemicond, se utiliza ácido al 98%, es decir, concentrado, por lo que se considera como material para almacenamiento y transporte Acero Carbono y HDPE, usando como factor discriminatorio el costo. Finalmente se optó por Acero Carbono para el estanque y cañerías.

Item	Valor
Factor de Seguridad	4,7
Factor de Corrosión	3 [mm]
Eficiencia Soldadura	1

Tabla 1: Parámetros diseño Acumulador Acido Sulfúrico.

Carcasa

Material	Acero Carbono tipo SA 285
Diámetro	2.760 [mm]
Altura	4.130 [mm]
Espesor	4 [mm]

Cabezal Superior

Material	Acero Carbono tipo SA 285
Tipo	Plano
Espesor	3 [mm]

Cabezal Inferior

Material	Acero Carbono tipo SA 285
Tipo	Plano
Espesor	3 [mm]

Cañerías Descarga

Material	Acero Carbono tipo SA 53° B
Velocidad fluido	$1,6 \left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	$3/8 \text{ [pulg]} = 9,525 \text{ [mm]}$
Largo total	35 [m]
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	$0,091 \text{ [pulg]} = 2,31 \text{ [mm]}$

Cañerías Succión

Material	Acero Carbono tipo SA 53° B
Velocidad fluido	$1,01 \left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	$1/2 \text{ [pulg]} = 12,7 \text{ [mm]}$
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	$0,109 \text{ [pulg]} = 2,77 \text{ [mm]}$
Largo total	5 [m]

A continuación se muestra un esquema del estanque acumulador:

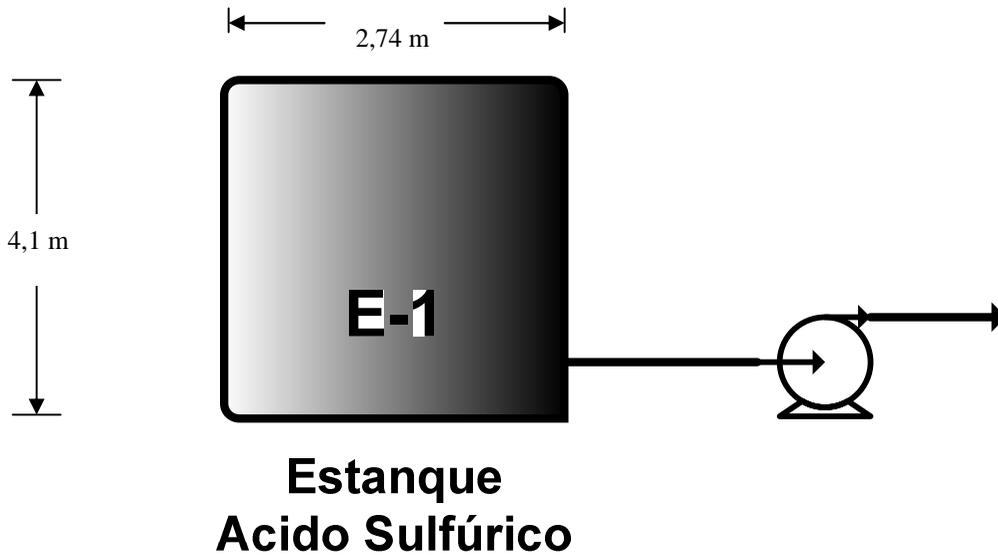


Figura 2: Esquema Estanque acumulador.

5.3.2 ACUMULADOR AGUA OXIGENADA

Selección del Material

El agua oxigenada posee un poder altamente corrosivo, ya que genera un ambiente oxidante, por lo que se consultó en bibliografía y a la empresa mexicana **FMC**, vendedores del compuesto en cuestión a nivel industrial, generando como alternativas para su almacenamiento HDPE, Acero inoxidable y Aluminio puro; y para cañerías Acero Inoxidable. Se optó finalmente por Acero Inoxidable para el estanque.

Ítem	Valor
Factor de Seguridad	4,7
Factor de Corrosión	2 [mm]
Eficiencia Soldadura	1

Tabla 2: Parámetros diseño Acumulador Agua Oxigenada.

Carcasa

Material	Acero Inoxidable AISI 304
Diámetro	2.590 [mm]
Altura	3.880 [mm]
Espesor	3 [mm]

Cabezal Superior

Material	Acero Inoxidable AISI 304
Tipo	Plano
Espesor	2 [mm]

Cabezal Inferior

Material	Acero Inoxidable AISI 304
Tipo	Plano
Espesor	2 [mm]

Cañerías Descarga

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	1,88 $\left[\frac{m}{s}\right]$
Diámetro nominal	1/4 [pulg]= 6,35 [mm]
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	0,088 [pulg]= 2,24 [mm]
Largo total	40 [m]

Cañerías Succión

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	$1,02 \left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	$3/8 [pulg] = 9,525 [mm]$
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	$0,091 [pulg] = 2,31 [mm]$
Largo total	$5 [m]$

A continuación se muestra un esquema del estanque acumulador:

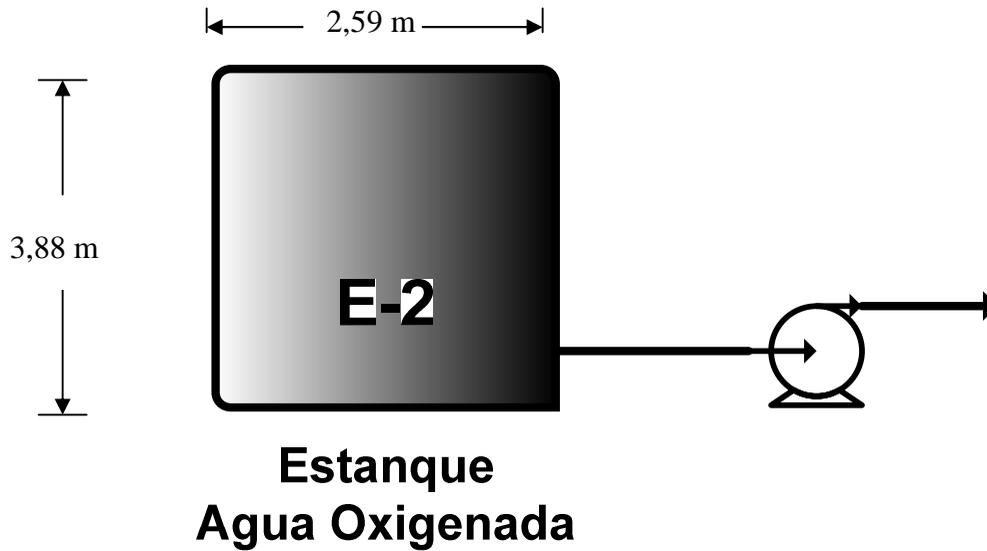


Figura 3: Esquema Estanque acumulador.

5.3.3 ACUMULADORES SODA

Selección del Material

En este caso se necesitan dos estanques, uno receptor de soda al 50%, el cual estará cubierto con aislante, y otro para diluir la soda hasta un 30%.

El Hidróxido de Sodio es altamente corrosivo. En situaciones de alta concentración y temperatura, el Níquel y sus aleaciones ofrecen una buena resistencia. En nuestro caso, se utilizara en solución al 50% y al 30% pero a temperatura ambiente, ante lo cual las opciones admisibles son el Acero y el FRP (Fibra de Vidrio), respectivamente. Finalmente se opto por Acero Inoxidable para las cañerías y FRP para el estanque.

Estanque Soda 50%

Item	Valor
Factor de Seguridad	4,7
Factor de Corrosión	2 [mm]
Eficiencia Soldadura	1

Tabla 2: Parámetros diseño Acumulador Soda 50%.

Carcasa

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Diámetro	3.880 [mm]
Altura	5.050 [mm]
Espesor	3 [mm]

Aislante

Tipo	Lana mineral
Espesor	1/2 [pulg]= 12,7 [mm]

Cabezal Superior

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Tipo	Plano
Espesor	2 [mm]

Cabezal Inferior

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Tipo	Plano
Espesor	2 [mm]

Cañería Descarga

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	1,59 $\left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	3/2 [pulg]= 38 [mm]
Nº Cedula	40 ST
Espesor cañería	0,145 [pulg]= 3,68 [mm]
Largo total	10 [m]

Cañerías Succión

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	0,96 $\left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	2 [pulg]= 50,8 [mm]
Nº Cedula	40 ST
Espesor cañería	0,154 [pulg]= 3,91 [mm]
Largo total	5 [m]

A continuación se muestra un esquema del estanque receptor:

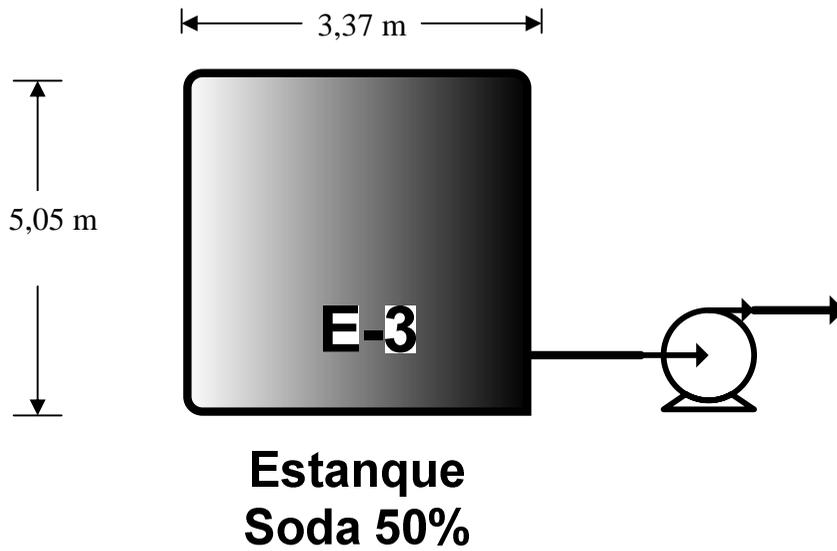


Figura 4: Esquema Estanque receptor.

Estanque soda 30%

Carcasa

Material	Fibra de Vidrio (FRP)
Diámetro	4.160 [mm]
Altura	6.250 [mm]
Espesor	12,5 [mm]

Cabezal Superior

Material	Fibra de Vidrio (FRP)
Tipo	Plano
Espesor	3 [mm]

En relación al diseño del estanque de FRP, el diseño se hizo en base a la cotización entregada por la empresa TECNOFIBER S.A.I.C. El detalle se encuentra en el Anexo E, pagina 16

Cabezal Inferior

Material	Fibra de Vidrio (FRP)
Tipo	Plano
Espesor	3 [mm]

Cañería Descarga

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	1,78 $\left[\frac{m}{s}\right]$
Diámetro nominal	3/2 [pulg]= 38 [mm]
Espesor cañería	0,145 [pulg]= 3,68 [mm]
N° Cedula	40 ST
Largo total	45 [m]

Cañerías succión

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	1,08 $\left[\frac{m}{s}\right]$
Diámetro nominal	2 [pulg]= 50,8 [mm]
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	0,154 [pulg]= 3,91 [mm]
Largo total	5 [m]

A continuación se muestra un esquema del estanque disolución:

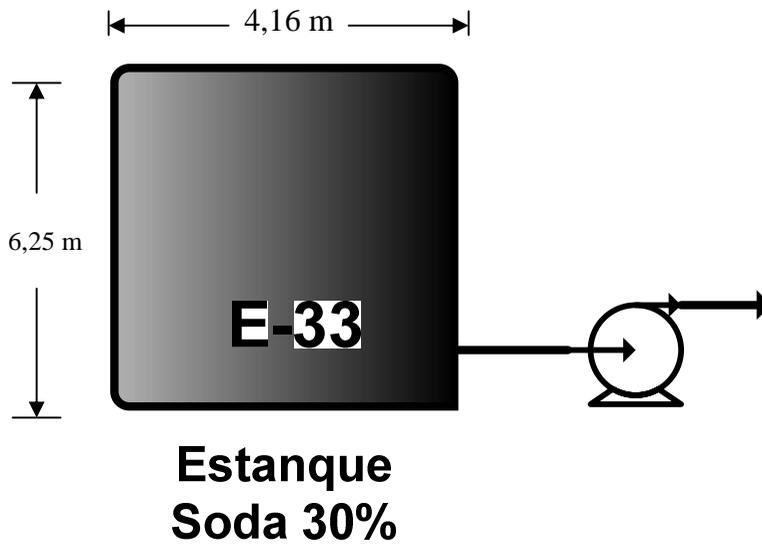


Figura 5: Esquema Estanque disolución.

Traslado Agua

Cañerías Descarga

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	$1,6 \left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	$3/2 [pulg] = 38 [mm]$
Espesor cañería	$0,145 [pulg] = 3,68 [mm]$
Nº Cedula	40 ST
Largo total	$20 [m]$

Cañerías succión

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	$0,98 \left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	$2 \text{ [pulg]} = 50,8 \text{ [mm]}$
Nº Cedula	40 ST
Espesor cañería	$0,154 \text{ [pulg]} = 3,91 \text{ [mm]}$
Largo total	5 [m]

5.3.4 FLOCULACION

Dentro del proceso actual de deshidratación, la planta cuenta con dos centrifugas tipo WESTFALIA SEPARATOR, modelo Klaer-Dekamter, AD 0814. Cada centrífuga tiene como capacidad $12 \left[\frac{m^3}{h} \right]$, y un motor de potencia de 22 [KW]. Para esta etapa no es necesario ningún equipo adicional, ya que por disposición de ESVAL, se usara la sala de deshidratación con el equipamiento actual. Los equipos de centrifugación dan abasto, ya que en base a sus capacidades se realizaron los diseños de bombas que alimentaran las centrífugas.

5.3.5 MEZCLADO

Selección del Material

En esta etapa se llevara a cabo el tratamiento químico en si, es decir, la adición al lodo del ácido sulfúrico, el agua oxigenada y la soda. Para la selección del material se debe considerar además del poder corrosivo, la resistencia mecánica, ya que la mayoría de los estanques de lodos son de hormigón, eso es debido al gran volumen de lodo. En nuestro caso es un volumen pequeño en comparación a los que se almacenan en los estaques antes mencionados (el estanque sedimentador tiene una capacidad de $11.000 \text{ [m}^3\text{]}$, en cambio el estanque en cuestión tiene una capacidad de $230 \text{ [m}^3\text{]}$), por lo que se opto por usar Acero, ya que posee una resistencia mecánica adecuada para el caso, además de resistencia a la corrosión. Entre acero inoxidable y acero carbono, se decidió por este ultimo, debido a gran diferencia de

costos entre uno y otro. Para asegurar que no se presenten problemas de corrosión, se utilizara como revestimiento interno fibra carbón antiácido.

Item	Valor
Factor de Seguridad	4,7
Factor de Corrosión	3 [mm]
Eficiencia Soldadura	1

Tabla 3: Parámetros diseño Mezclador.

Carcasa

Material	Acero Carbono SA 285
Diámetro	5.820 [mm]
Altura	8.730 [mm]
Espesor	6 [mm]

Revestimiento Interno

Tipo	Fibra carbón antiácido
Espesor	2 [mm]

Cabezal Superior

Material	Acero Carbono SA 285
Tipo	Plano Reforzado
Espesor	3 [mm]

Cabezal Inferior

Material	Acero Carbono SA 285
Tipo	Plano Reforzado
Espesor	3 [mm]

Bombas recirculación

Cañerías Descarga

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	0,3 $\left[\frac{m}{s}\right]$
Diámetro nominal	6 [pulg]= 153 [mm]
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	0,28 [pulg]= 7,11 [mm]
Largo total	10 [m]

Cañerías Succión

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	0,2 $\left[\frac{m}{s}\right]$
Diámetro nominal	8 [pulg]= 203 [mm]
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	0,322 [pulg]= 8,18 [mm]
Largo total	2 [m]

Bomba descarga

Cañerías Descarga

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	$0,19 \left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	$6 [pu\lg] = 153 [mm]$
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	$0,28 [pu\lg] = 7,11 [mm]$
Largo total	$30 [m]$

Cañerías Succión

Material	Acero Inoxidable AISI 304-3
Velocidad fluido	$0,13 \left[\frac{m}{s} \right]$
Diámetro nominal	$8 [pu\lg] = 203 [mm]$
N° Cedula	40 ST
Espesor cañería	$0,322 [pu\lg] = 8,18 [mm]$
Largo total	$5 [m]$

A continuación se muestra un esquema del estanque de mezclado:

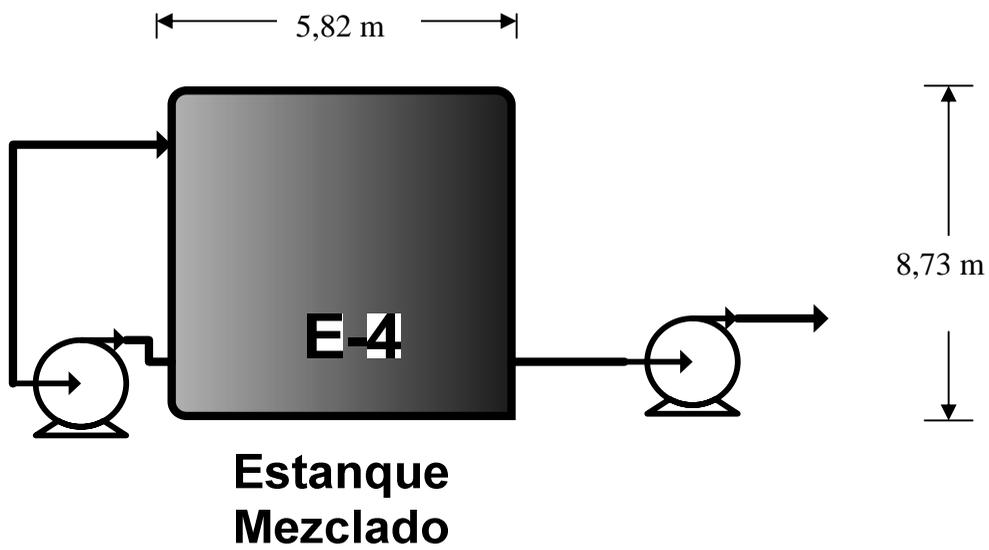


Figura 6: Esquema Estanque mezclado.

Cabe destacar que el detalle de los cálculos, consideraciones y suposiciones se encuentran en el Anexo C

EVALUACION ECONOMICA

6.1. INTRODUCCION

La evaluación económica de este proyecto incluye el calculo de indicadores de rentabilidad de proyecto como lo son el VAN (Valor Actualizado Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno), y análisis de sensibilidad de la o las principales variables.

Para obtener ambos indicadores es necesario calcular la inversión (Método de Lang) y el costo total del proceso, y así desarrollar correctamente el flujo de caja neto proyectado.

El detalle de todos los cálculos se encuentra en el Anexo D

6.2 INVERSION

El capital total de inversión esta constituido por el Capital Fijo y el Capital de Trabajo. A continuación se presenta la información obtenida a partir de los cálculos realizados.

Capital Fijo	
Capital Fijo Directo (Depreciable)	Valor \$
Equipos de proceso	\$ 92.527.053
Instalación Equipos	\$ 27.758.116
Aislamiento	\$ 8.327.435
Instrumentación	\$ 9.252.705
Cañerías	\$ 9.252.705
Instalación Eléctrica	\$ 10.177.976
Ampliaciones	\$ 9.252.705
Total	\$ 166.548.696

Tabla 1: Capital fijo Depreciable.

<i>Capital Fijo Indirecto (No Depreciable)</i>	Valor \$
Ingeniería y Supervisión	\$ 27.758.116
Gastos de Construcción	\$ 37.010.821
Contingencias	\$ 41.637.174
Total	\$ 106.406.111
Capital fijo	\$ 272.954.807
Capital de Trabajo	\$ 67.260.375
INVERSION	\$ 321.123.303

Tabla 2: Capital Fijo Indirecto y Capital Total Inversión.

El capital de trabajo representa el costo de los reactivos para los tres primeros meses de operación, a los cuales se les aplico un 25% como sobrestimación.

6.3 COSTO TOTAL DEL PRODUCTO

En nuestro caso no se tiene por finalidad la obtención de un producto para ponerlo a la venta, pero si se tiene un costo operativo, el cual, se considero como costo total del producto.

El costo total del producto consta de dos ítems: costos de producción y gastos generales de la empresa. En las siguientes tablas se presenta el detalle de estos costos.

Costo Producción	
<i>Costos Directos</i>	Valor \$
Materias Primas	\$ 215.233.200
Personal	\$ 2.400.000
Utilidades	
<i>Electricidad</i>	\$ 43.301
Mantenimiento y Reparación	\$ 13.647.740
Suministro de operación	\$ 2.047.161
Laboratorio	\$ 240.000
Patentes	\$ 8.765.982
Total	\$ 241.661.529
Costos Indirectos	
Depreciación	\$ 16.654.870
Seguros	\$ 16.377.288
Gastos Generales Planta	\$ 8.023.870
Costo Producción	\$ 283.433.413

Tabla 3: Costos de Producción

Gasto General Empresa	Valor \$
Costos Administrativos	\$ 8.765.982
COSTO TOTAL PRODUCTO	\$ 292.199.395

Tabla 4: Gastos Generales Empresa y Costo Total Producto.

A continuación se presenta una comparación del costo unitario del metro cúbico deshidratado entre el tratamiento actual y el tratamiento Kemicond:

Detalle	Kemicond	Centrifugado
Metro cúbico de lodo	4.388	7.020
Traslado	\$ 68.445.000	\$ 109.512.000
Operación	\$ 292.199.395	
Total	\$ 360.644.395	\$ 109.512.000
$\left[\frac{\$}{m^3} \right]$	\$ 7.706	\$ 2.340

Tabla 5: Costo unitario metro cúbico deshidratación del lodo.

6.4 FLUJO DE CAJA NETO

El flujo de caja neto representa el ingreso o pérdida monetaria anualmente en la vida de un proyecto, por lo que este da un indicio si el proyecto es rentable o no lo es.

Las consideraciones utilizadas para el flujo de caja son las siguientes:

Financiamiento	100% propio
Depreciación	Lineal
Tasa Impositiva	19%
Tasa Interna	12%

En la tabla 6 se muestra el flujo de caja de nuestro proyecto.

Año	Flujo Caja Neto
0	-\$ 321.123.303
1	-\$ 251.132.395
2	-\$ 251.132.395
3	-\$ 251.132.395
4	-\$ 251.132.395
5	-\$ 251.132.395
6	-\$ 251.132.395
7	-\$ 251.132.395
8	-\$ 251.132.395
9	-\$ 251.132.395
10	-\$ 183.872.020

Tabla 6: Flujo de Caja Neto.

Una vez obtenido el flujo de caja, se puede obtener indicadores económicos de rentabilidad como el VAN (Valor Neto Actualizado) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). En nuestro caso, no tiene sentido calcular estos indicadores, ya que basta con observar los valores obtenidos en cada año para concluir que el proyecto no es rentable. Ante tal situación, se procede a realizar un análisis de sensibilidad.

6.5 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Un análisis de sensibilidad implica el seguimiento a la utilidad operativa, ya sea el costo total del producto, específicamente en el costo de las materias primas, o al ingreso, revisando de este el precio de venta del producto generado.

Como en nuestro caso no se genera ningún producto con fines de venta, se analizó el costo del producto. Se observa claramente que las materias primas aportan la mayoría del valor del costo operativo. Estas representan un 75% del valor total, del cual el valor fuerte es el costo que genera la soda, debido a la gran cantidad requerida. En la siguiente figura se puede apreciar los valores unitarios entregados vía teléfono por la empresa Oxiquim S.A.

Precios	US\$/Kg	\$ / Kg	Kg /año	\$ / Año
H2SO4	0,12	\$ 60,00	210.600	\$ 12.636.000
H2O2	0,56	\$ 280,00	82.340	\$ 23.587.200
Soda	0,34	\$ 170,00	1.053.000	\$ 179.010.000
Total				\$ 215.233.200

Tabla 7: Aporte monetario de materias primas.

Además, para cerrar el análisis, basta con revisar el aporte del resto de los ítems que forman parte del costo total del producto, que es de \$71.398.118, valor mas alto que el valor considerado como ingreso, que es de \$41.067.000, por lo que en ninguna circunstancia podría hacerse viable económicamente el proyecto, manteniendo las mismas condiciones operativas. Existe una condición de que el proyecto se viable, y la situación seria que el costo del traslado de los lodos aumentase a UF\$6,2, manteniendo el resto de las variables constantes (Costo reactivos, costo operación). A continuación se presenta una tabla con distintos valores del costo por metro cúbico de lodo trasladado y su respectivo VAN.

Costo	UF\$0,8	UF\$2	UF\$4	UF\$6	UF\$6,1	UF\$6,114	UF\$6,2
VAN	-\$6,9 *10 ⁹	-\$5,5*10 ⁹	-\$2,8*10 ⁹	-\$15*10 ⁷	-\$2*10 ⁷	\$0	\$1,2*10 ⁷

Tabla 8: Análisis de Sensibilidad respecto al costo traslado lodo.

6.6 CONCLUSIONES

Si se mantienen las actuales condiciones operativas, el proyecto siempre será inviable económicamente hablando, ya que como se mostró en el análisis de sensibilidad, además de ser muy alto el costo de las materias primas, el resto de ítems del costo operativo superan notablemente el valor que se logra ahorrar al utilizar la tecnología Kemicond, por lo que no requiere un razonamiento mas profundo.

Con respecto a la inversión, se puede decir que es alta, pero en el análisis no se considero ningún tipo de leasing o préstamo bancario, lo que modificaría el flujo de caja neto, el VAN y el TIR. Para poder recuperar la inversión, es necesario mejorar la utilidad operativa, ya que si no se obtienen valores anuales positivos en el flujo de caja, es imposible recuperar la inversión.

Resumiendo, el gran problema de nuestro proyecto, es el costo operativo, sin mejorar este, no posibilidad de realizar el proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSION

Como primera conclusión, es importante destacar que la información de las experiencias realizadas del tratamiento Kemicond fue hecha con un tipo de lodo distinto, específicamente lodo digerido, el cual posee características distintas al lodo purgado en la planta Cordillera, ya que este lodo es lodo espesado. Por lo que se obtuvieron resultados muy distintos en las dosis de reactivos, afectando directamente en la viabilidad del proyecto. El resultado más llamativo fue la cantidad obtenida en el laboratorio de soda a agregar, siendo este el que más difería de la información bibliográfica, ya que el valor recomendado era cercano a los 40 kilos, y el valor obtenido en los ensayos fue de 375 kilos, ambos en referencia a toneladas de sólido seco. Una vez obtenidas las dosis y realizado los balances de masa correspondientes, se determinó que operativamente, el tratamiento Kemicond es técnicamente viable y conveniente, ya que logra reducir el volumen un 38%, lo que es significativo, pudiendo incluso lograr reducir hasta un 40%, pero se requieren dosis aun más altas. Traduciendo esto a dinero, significa disminuir el valor del traslado en \$ 40.000.000 al año, suma bastante considerable.

Para finalizar, el proyecto no es rentable debido al alto costo que genera la soda, incluso no siendo el compuesto más caro, pero sí debido al alto consumo de esta. Como operativamente, seguir con el proceso actual es bastante más barato que implementar el proceso Kemicond, no tiene ningún sentido aplicar el tratamiento, por ahora, a la planta de tratamientos de aguas servidas Cordillera.

7.2 RECOMENDACIONES

Claramente se debe estudiar el proceso, pero con reactivos distintos que cumplan las mismas funciones descritas en el Marco Teórico de este informe. Sobre todo buscar alternativas para la neutralización; alguna base que no afecte mayormente el lodo, que solamente disminuya la acidez alcanzada al agregar los compuestos anteriores. Se recomienda cotizar bases, seleccionar las mas baratas, y luego estudiar las propiedades de estas; como afectan el lodo espesado, el efluente, etc. Cabe destacar que la soda la única función que cumple es disminuir el pH. Todo eso es parte de un pequeño estudio, el cual se realizara dependiendo de las partes interesadas en el tema.

Al cambiar la solución para neutralizar, la operación y el proceso no requiere grandes cambios, por lo que seria muy probable que la evaluación económica cambie drásticamente, llegando a ser rentable. En el caso de que se logre mejorar la utilidad operacional, sin que se obtenga una cifra positiva, debe hacerse un análisis de sensibilidad respecto al costo del traslado de los lodos, que es muy probable que este aumente a través de los años, haciendo que en algún momento el proceso sea factible operativamente y económicamente.

Si actualmente el valor del traslado fuese UF\$6, producto de la inversión, el proyecto sigue siendo inviable, pudiendo pedir un préstamo bancario para disminuir esta. Por el contrario, si el valor fuese de UF\$6,2, el proyecto sería totalmente rentable y conveniente operativa y económicamente hablando, sin ningún tipo de crédito o préstamo bancario.

Para cerrar el tema, seria conveniente proyectar este trabajo en conjunto con la calcinación de lodos, ya que al disminuir la humedad del lodo, se requiere una menor cantidad de energía que para el lodo actual, y además terminaría el traslado de los lodos, lo que hace necesario un estudio a la brevedad.

BIBLIOGRAFIA

- FONTANA, Mars G. Corrosión Engineering. 3ª ed. Ohio. Mc Graw-Hill, 1986. capítulo VII, pp 369-319.
- KERN. Donald Q. Procesos de Transferencia de Calor. 33ª Reimpresión. Nueva York. Mc Graw-Hill, 2001. 453p.
- METCALF and EDDIE. Ingeniería de Aguas Residuales. Tomo II capítulo 8. 1995.
- VEGA, Luís. Apuntes Ingeniería Económica. Valparaíso. 2006.
- CREUS. Antonio. Instrumentación Industrial., 6ª ed. Barcelona. Alfaomega Ediciones.1997. Capítulo 6 .Capítulo 7. 353p.
- OLGUIN, Gianni. Apuntes Diseño Mecánico. Valparaíso. 2004.
- TORRES, José. Apuntes Mecánica de Fluidos. Valparaíso. 2004.
- Revista AguaEspejo, Año 2006.