

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERIA
AMBIENTAL**

**RECICLAJE DE LODOS RESIUALES PROVENIENTES DE LA
PLANTA DE PRODUCCION DE LAMINAS DE FIBROCEMENTO
MEDIANTE LA OPTIMAZACION DEL SISTEMA DE
SEDIMENTACIÓN DE AGUA DE LA EMPRESA ETERNIT
ECUATORIANA**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CARLOS ORDÓÑEZ

ELABORADO POR:

ALEXANDRA SÁNCHEZ LARRETA

QUITO – ECUADOR

2001 - 2002

A Dios, a mis padres y esposo
por su incondicional apoyo

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad Internacional SEK y en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental, a la Ing. Katy Coral y el Ing. Fabio Villalba por las enseñanzas, valores, experiencias y amistad que han contribuido en mi formación académica y personal.

Un agradecimiento muy especial para el director de este trabajo el Dr. Carlos Ordóñez por haber puesto confianza en mi, en la elaboración del mismo, y por su muy valiosa guía y amistad brindada a lo largo de la carrera.

Quiero también agradecer de manera especial a la empresa ETERNIT ECUATORIANA, en particular al Ing. Walter Peter por brindarme la oportunidad de haber trabajado junto a ellos en pro de la empresa y el ambiente.

A mis padres queridos y admirados, que con gran sacrificio y esfuerzo me han dado el apoyo que me ha traído a coronar una etapa importante de mi vida y quienes me han enseñado que lo principal de ser un profesional es ser persona y humano.

A mi amado esposo por ser mi apoyo moral y espiritual, por ser quien me ha dado fuerzas en los momentos difíciles y me dio ánimos para culminar mis estudios y quien apoyó inmensamente para el término de este trabajo.

A Dios por ser la guía de mi vida.

RESUMEN

El problema principal de la industria de fibrocemento estudiada constituye la pérdida de materia prima por el ineficiente sistema de retención de sólidos y fibras que se hallan en operación, y la consiguiente sobrecarga de sólidos a la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa.

Para resolver este problema se propone un proceso alternativo en el sistema de sedimentación de las aguas de fabricación que contienen residuos de materia prima (cemento, fibras de crisotilo, rellenos, etc.) fundamentado básicamente en el uso de coagulantes (Sulfato de Aluminio) y ayudantes de coagulación (polímeros orgánicos modificados) para conseguir una rápida sedimentación y recuperación de sólidos suspendidos en el agua.

Los resultados obtenidos demuestran la validez de la solución propuesta, obteniéndose una eficiencia en la recuperación de sólidos del sistema de sedimentación del 96.9% en el punto n° 3 correspondiente al rebose del cono 1 al cono 2, resultado que se confirmó con el análisis de laboratorio de los lodos y las pruebas de sedimentación de los sólidos suspendidos con floculación registrándose una turbidez residual de 19 NTU y 0.016 g/L de sólidos suspendidos, cuando se dosificó 200 mg/L de Sulfato de aluminio y 1 mg/L del ayudante de coagulación Envifloc.

ABSTRACT

The main problem of studied industry , is the lost of matter because the outweighs by the inefficient retention system of solids and fibers that are found in operation, and the solids overcharge to the waste water treatment company plant .

To solve this problem, is proposed an alternative system in the sedimentation system of the manufacture waters that contain matter residues outweighs (cement, fibers of chrysotyle, fills, etc), based basically in the use of coagulants (Aluminium Sulfate) and coagulation assistants (modified organic polymer) to obtain a faster sedimentation and suspended solids recovery in the water.

The results demonstrate that the proposed solution is valid , being obtained an efficiency in the solids recovery of the sedimentation system of the 96.9 %, in the place nº 3 corresponding to brim of cone 1 to the cone 2, result that was confirm with lab analysis of muds and the sedimentation tests of suspended solids with flocculation registering residual turbidity of 19 NTU and 0.016 g/L of discontinued solids, when the dosage was 200 mg/L of Aluminium Sulfate and 1 mg/L of Envifloc coagulation assistant.

INDICE GENERAL

Capítulo 1.

1. Marco teórico

1.1 Producción de láminas de fibrocemento.	1
1.2 El crisotilo.	2
1.2.1 Uso del crisotilo.	3
1.2.2 Productos del cemento crisotilo.	4
1.2.3 El crisotilo, ambiente y salud.	4
1.3 Los cementos.	6
1.3.1 definición.	6
1.3.2 Clasificación según componentes.	6
1.3.3 Tipos de cemento	8
1.4 Los lodos industriales	15
1.5 Coagulación y floculación de sólidos en suspensión.	20
1.5.1 Modelos de la coagulación	23
1.5.2 Aspectos importantes sobre los coagulantes	25
1.5.3 Productos de la hidrólisis	27
1.5.4 dosificación de coagulante vs turbidez y pH	30
1.6 Floculación	30
1.6.1 Tipos de floculación	31
1.7 Sedimentación.	32
1.7.1 Tipos de sedimentación.	33

Capítulo ii.

2. Parte experimental..

2.1 Determinación de la composición química de lodo seco.	35
---	----

2.2 Determinación de la concentración de sólidos suspendidos y de 36

la turbidez en el agua de proceso y en el agua del sistema de sedimentación.

2.3 Ensayos de coagulación – floculación de sólidos suspendidos en el agua 37

de proceso (prueba de jarras).

2.4 Curva de calibración.

38

2.5 Concentración de sólidos suspendidos en función de la turbidez mínima 39

(dosis óptima).

2.6 Balance de masas.

40

2.7 Proceso de sedimentación de sólidos suspendidos 40

2.7.1 Proceso de sedimentación de sólidos suspendidos por gravedad. 40

2.7.2 Proceso de sedimentación de sólidos suspendidos con floculación. 45

Capítulo III

3. Resultados

3.1 Determinación de la composición química de lodo seco.
49

3.2 Determinación de la concentración de sólidos suspendidos y de la turbidez en el agua de proceso y en el agua del sistema desedimentación
50

3.3 Determinación de la dosis optima para el sistema prueba de jarras) 51

3.4 Curva de calibración 64

3.5 Determinación de la dosis óptima de coagulante para el sistema de aguas de 65

3.6 Gráficos comparativos de la eficiencia de operación 68

3.7 Tablas comparativas de sedimentación de sólidos suspendidos por gravedad y con floculación 73

Capítulo IV

4. Conclusiones y Recomendaciones	74
-----------------------------------	----

Capítulo V

5. Bibliografía	78
-----------------	----

Anexos	80
---------------	-----------

INTRODUCCIÓN

El presente estudio trata sobre el reciclaje de lodos provenientes de la planta de producción de láminas de fibrocemento de la empresa ETERNIT EUATORIANA S. A. (Quito), mediante la optimización del sistema de sedimentación en los conos de agua de proceso, utilizando un sistema de coagulación – floculación con agentes químicos para tratar los vertidos presentes como espumas y lodos.

Estas espumas y lodos se producen debido a que el cemento adquirido por la empresa localmente tiene características de un cemento fino puzolánico (puzolana: que por si solo posee poco o ningún valor cementante, pero que finamente dividido y en medio húmedo a temperatura ordinaria, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio formando un compuesto con propiedades cementantes. Se emplea en la fábrica de cemento como adición al clinker para obtener cemento con puzolana o como sustitución del contenido requerido del cemento en algún determinado tipo de hormigón. Convirtiéndose en un problema, ya que dichos residuos son una pérdida de material mineral y una inversión infructuosa de capital por la empresa en la compra de la materia prima.

El objetivo general es por tanto el de recuperar los residuos en el sitio donde se generan, es decir, en el sistema de decantación de lo

que forma parte de la línea de producción; con lo que se consigue reducir significativamente la cantidad de lodos que llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales además de mejorar la eficiencia de producción de láminas corrugadas de fibrocemento con una mínima pérdida de materia prima de tal forma que se mejore económica y técnicamente el desarrollo de la actividad empresarial.

Los objetivos específicos de este estudio son el análisis de la composición o consistencia química del lodo seco en diferentes puntos de muestreo del proceso de fabricación de las láminas para la obtención del porcentaje real del cemento fino, fibras de celulosa y fibras de crisotilo.

Adicionalmente se determinan los volúmenes y masa de lodos generados en un determinado período de producción de las laminas de fibrocemento así como también los ensayos de floculación – coagulación con muestras de lodos seleccionados en diferentes puntos para la obtención de la dosificación óptima y el punto de inyección del coagulante / ayudante, así como la determinación de las condiciones óptimas para la floculación de lodos.

Además se pretende que empresarios, técnicos y funcionarios tomen conciencia de la necesidad de la preservación de los valores ambientales que demanda la sociedad actual, frente a intereses, exclusivamente económicos.

Los resultados de la determinación de la composición química de lodo seco marca que el mayor porcentaje corresponde al cemento fino, las fibras de celulosa y fibras de crisotilo respectivamente.

Para la determinación de la dosis óptima, se realizo la prueba de jarras obteniéndose los mejores resultados para la entrada al cono de sedimentación #1 (punto # 2), como la mejor opción para la inyección del químico floculante.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 PRODUCCION DE LAMINAS DE FIBROCEMENTO

Descripción:

Para la elaboración de las láminas de fibrocemento la planta productora cuenta con diversos procesos, cada uno de ellos con su función específica.

Este estudio se centra en el sistema de sedimentación que inicia con ingreso de la materia prima (cemento, fibras y agua) al GEMI (general mixer, aproximadamente 30 minutos), el GEMI es el mezclador de estos materiales para la obtención de la pasta que consiguientemente pasa al fieltro compuesto por conos de succión del agua de exceso y materiales muy finos, siendo estos los componentes de los lodos residuales que se depositan en el canal de la máquina donde está la bomba recúpero; bomba de recuperación y reciclaje de los lodos residuales que envía dichos lodos a los conos de sedimentación. En el cono número 1 se produce la primera sedimentación y los sólidos sedimentados de este cono regresan al mezclador general para ingresar nuevamente al ciclo de producción, (reciclaje de materia prima); cuando este cono ha llegado a su

capacidad máxima de retención se da el rebose del agua de producción y sólidos suspendidos al cono 2; en este cono ocurre una segunda sedimentación de los sólidos suspendidos y dichos lodos se envían a la planta de tratamiento de agua residual.

En el anexo #1 se puede apreciar el diagrama del sistema de sedimentación.

1.2 EL CRISOTILO

El crisotilo es una fibra mineral correspondiente a una variedad fibrosa, grupo de las serpentinas, su formula es: $Mg_6[(OH)_8Si_4O_{10}].*(11)$

No se quema ni se pudre, resiste a la mayoría de los productos químicos, es flexible y tiene una gran resistencia a la tracción. Esta combinación única de propiedades hace del crisotilo un material extremadamente útil, que durante muchas décadas fue considerado como un componente principal de productos livianos de cemento reforzado, materiales de fricción, sellos y guarniciones para altas temperaturas y una gran variedad de otras aplicaciones.

Los modernos productos de amianto son diametralmente diferentes de los antiguos; si las fibras que forman el crisotilo son largas y párllelas, el producto se denominaría amianto o asbesto.

La industria pone en el mercado únicamente los productos que se consideran inocuos para el público, en especial los materiales de construcción con cemento-crisotilo, los frenos, las juntas y algunos

plásticos. Todos estos productos son densos y no friables, y la fibra de crisotilo se encuentra encapsulada dentro de una matriz de cemento o de resina, que impide que se desprendan. Más del 90% del crisotilo que se usa hoy día en el mundo se encuentra en los materiales de construcción con fibrocemento.

En los antiguos productos, sobre todo en los aislantes, se utilizaban numerosos tipos de fibras de amianto, incluyendo la crocidolita y la amosita (anfíboles), para fabricar materiales con frecuencia friables, que pueden desmenuzarse ejerciéndole una simple presión con los dedos.

1.2.1 Uso del crisotilo

Tabla 1

	Antiguamente	Actualmente
Productos	Cemento amianto Fricción Aislamiento Textiles Baja densidad	Cemento crisotilo Fricción Alta densidad
Tipos de fibras	Crisotilo Amosita Crocidolita	Crisotilo

*(10) *(11)

1.2.2 Productos de cemento crisotilo

Más del 90% de la producción mundial de crisotilo se utiliza en la fabricación de cemento crisotilo, para los tubos, planchas y tejas. Estos productos se utilizan en unos sesenta países industrializados y en vías de desarrollo. El cemento crisotilo es apreciado principalmente por su excelente índice de eficacia en relación a los costos y durabilidad.

Dado su resistencia natural al calor, las fibras crisotílicas han sido ampliamente utilizadas en los materiales de fricción. Las zapatas de frenos para vehículos, las pastillas de los discos, los embragues y los frenos de ascensores son ejemplos corrientes de los productos que utilizan la fibra de crisotilo.

En el anexo 1 se pueden apreciar algunas características y tipos de peligro que el crisotilo representa.

1.2.3 El Crisotilo: Ambiente y salud

Las fibras de asbestos han estado presente en el medio ambiente mucho antes de que el hombre explotara el mineral. Este fenómeno se debe a que la erosión natural de las formaciones geológica es bastante común en el mundo y que la cantidad total del asbestos emitido de las fuentes naturales de asbestos es mucho mayor que el que emiten las plantas industriales. ^{*(11)}

A esto niveles tan bajos, el riesgo es indetectablemente bajo, de hecho muy inferior a otros riesgos, tales como la radiación ambiental. Dichos niveles tan bajos de riesgo se denominan: "Aceptables" por la OMS, o "no significativos", por la Comisión Real de Ontario acerca del asbesto o que "...mayores controles no se justifican", según la sociedad de Londres.

Al mezclar la fibra con cemento, estos lazos físico - químicos permiten que se manufacture un producto más liviano y fuerte. Por lo tanto, este lazo entre fibras y la matriz no permite que hayan fibras libres en el aire, inclusive en áreas de erosión fuerte de agua o viento.

Los estudios realizados en esta área donde se utilizan materiales de crisotilo cemento han servido para demostrar ampliamente que su contribución a la presencia de fibras de crisotilo en el medio ambiente es insignificante. ^{*(12)}

Sin embargo, en lugares donde no se usa de manera segura y responsable al asbesto se han dado casos de afecciones a la salud humana, siendo estos principalmente tres: el mesotelioma (cáncer a la pleura y al peritoneo), el cáncer al pulmón y la fibrosis pulmonar, llamada asbestosis ^{*(13)}

Algunos tipos de peligro/ exposición, prevención y primeros auxilios se pueden observar en los anexos.

1.3 LOS CEMENTOS

1.3.1 Definición:

El cemento es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menores proporciones por aluminatos de calcio, que, mezclados con agua se combinan con ella, fragua y endurece a la temperatura ambiente al aire o bajo agua.

1.3.2 Clasificación según componentes

Los cementos se obtienen por molienda conjunta de los componentes y los clasifican en:

- Cementos **Portland**, están compuestos por clínker y un bajo porcentaje de yeso.
- Cementos **Portland siderúrgicos**, compuestos de clínker, escoria básica granulada de alto horno y yeso. El porcentaje de escoria de alto horno debe ser inferior al 30 %.

- Cementos **siderúrgicos**, cuando la escoria de alto horno está presente en porcentajes comprendidos entre 30 y 75 %.
- Cementos **Portland puzolánicos** compuestos por clínker, puzolana y yeso. El porcentaje de puzolana debe ser inferior a 30 %.
- Cementos **puzolánicos**, cuando el porcentaje de puzolana está entre 30 y 50 %.

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales compuestos principalmente por sílice amorfa, que por sí solas no poseen propiedades hidráulicas, pero que las desarrollan cuando están finamente molidas, mezcladas con clínker o con cal.

De acuerdo a las resistencias mecánicas de la composición química, se distinguen dos clases de cemento

- Cementos corrientes.
- Cementos de alta resistencia.

Al cemento de alta resistencia se le exige que a 7 días cumpla con la resistencia mínima especificada a 28 días para los cementos

corrientes. Para efectos prácticos se pueden medir resistencias a cualquier edad.

El tiempo de fraguado es de algo más de una hora para los cementos de fraguado rápido y de tres o más horas para los cementos de fraguado lento.

El tiempo de fraguado no se debe relacionar con la calidad del cemento, puesto que la ventaja o desventaja de un fraguado rápido o lento, depende del tipo de obra y del tiempo de manipulación requerido para el hormigón. En todo caso, los tiempos de fraguado, así como otras propiedades, se pueden modificar con aditivos.

1.3.3 Tipos de cemento.

1.3.3.1 Cementos siderúrgicos

Los cementos siderúrgicos están compuestos por clínker, escoria básica granulada de alto horno y yeso.

La escoria de alto horno se puede agregar en variados porcentajes.

La norma ASTM C595 acepta hasta 70% y la norma europea ENV 197 -1 hasta 95% en la mezcla

Características generales de las escorias

Las escorias que se usan en la fabricación de cemento, deben cumplir tres requisitos:

- 1) Debe provenir de alto horno donde se procese mineral de hierro y es por eso que se les llama escoria siderúrgica; .
- 2) Deben ser básicas, esto es, que el contenido de elementos básicos tiene que ser superior al contenido de los elementos ácidos; .
- 3) Debe ser granulada, es decir, se debe enfriar bruscamente a la salida del alto horno dejándola en estado vítreo.

Si alguna de estas condiciones no se cumple, no sirve para fabricar cemento.

1.3.3.2 Cemento Pozolánico

Resulta de la molienda conjunta de clínker, puzolana y yeso. La adición de puzolana confiere características ventajosas para los cementos, tales como mayor resistencia química, menor calor de hidratación, inhibición de la reacción nociva álcalis / ácido.

El cemento Pozolánico tiene las características observadas en la tabla 2

1.3.3.3 Cementos Pórtland

Cemento Portland es el producto de la molienda de clínter con un pequeño porcentaje de yeso (3% a 6%).

Algunas características del cemento portland puzolánico pueden ser apreciadas en las tablas 3 y 4.

Tabla 2 : Cemento puzolánico ^{*(14)}

Características	INACESA Especial	Requisitos NCh 148
Clase	Cemento Puzolánico	
Grado	Corriente	
Peso específico, kg/dm ³	2,9	
Fraguado inicial (hr:min)	3:00	1: 00 mín
Fraguado final (hr:min)	4:00	12: 00 máx
Resistencia compresión (kg/cm ²)		
a los 3 días	190	
a los 7 días	260	180 mín
a los 28 días	370	250 mín
Flexotracción, kg/cm ²		
a los 3 días	35	
a los 7 días	40	35 mín
a los 28 días	55	45 mín
Expansión en autoclave, %	0,05	1 máx
Pérdida por calcinación, %	1,6	5 máx
Residuo insoluble	30	50 máx
SO ₃ , %	1,7	4 máx

Tabla 3 :Clase: Cemento Portland Puzolánico
Grado: Corriente

Propiedades Físicas y Mecánicas:(*)			NCh148	ASTM C595
Peso específico	2,95	g/ml	-	-
Tiempos de Fraguado:				
Inicial	2:30	h:min	1 hr. mín.	45 min.
Final	3:30	h:min	12 hr. máx.	mín.
Expansión en autoclave	0.05	%	1.0 máx.	0.80 máx.
Superficie específica Blaine	4500	cm ² /g	-	-
(**) Kg/cm ²			Kg/cm ² (**)	Mpa(***)
Resistencia compresión			mín.	mín.
a 3 días	270	"	-	13.0
a 7 días	320	"	180	20.0
a 28 días	410	"	250	25.0

Características Químicas: (*)		NCh148	ASTM C595
Pérdida por calcinación	2,5 %	4,0 máx.	5,0 máx.
SO ₃	2,8 %	4,0 máx.	4,0 máx.

(*) valores promedio

(*) valores promedio

(**) Mortero NCh 158

(***) Mortero ASTM C 109 (No comparable con NCh 158)

- (14)

Tabla 4: cemento Pórtland puzolánico ^{*(14)}

Características	INACESA A.R.	Requisitos según NCh 148
Clase	Cemento Portland Puzolánico	
Grado	Alta Resistencia	
Peso específico, kg/dm ³	3,0	
Fraguado inicial (hr:min)	2:30	0: 45 mín
Fraguado final (hr:min)	3:30	10: 00 máx
Resistencia compresión (kg/cm ²)		
a 3 días	270	
a 7 días	370	250 mín
a 28 días	480	350 mín
Resistencia tracción (kg/cm ²)		
a 3 días	45	
a 7 días	55	45 mín
a 28 días	65	55 mín
Expansión en autoclave (%)	0,1	1 máx
Pérdida por calcinación (%)	1,0	4 máx
Residuo insoluble (%)	15	30 máx
SO ₃ , %	1,8	4 máx

- (14)

1.3.3.4 Reacciones del cemento portland

Tabla 5

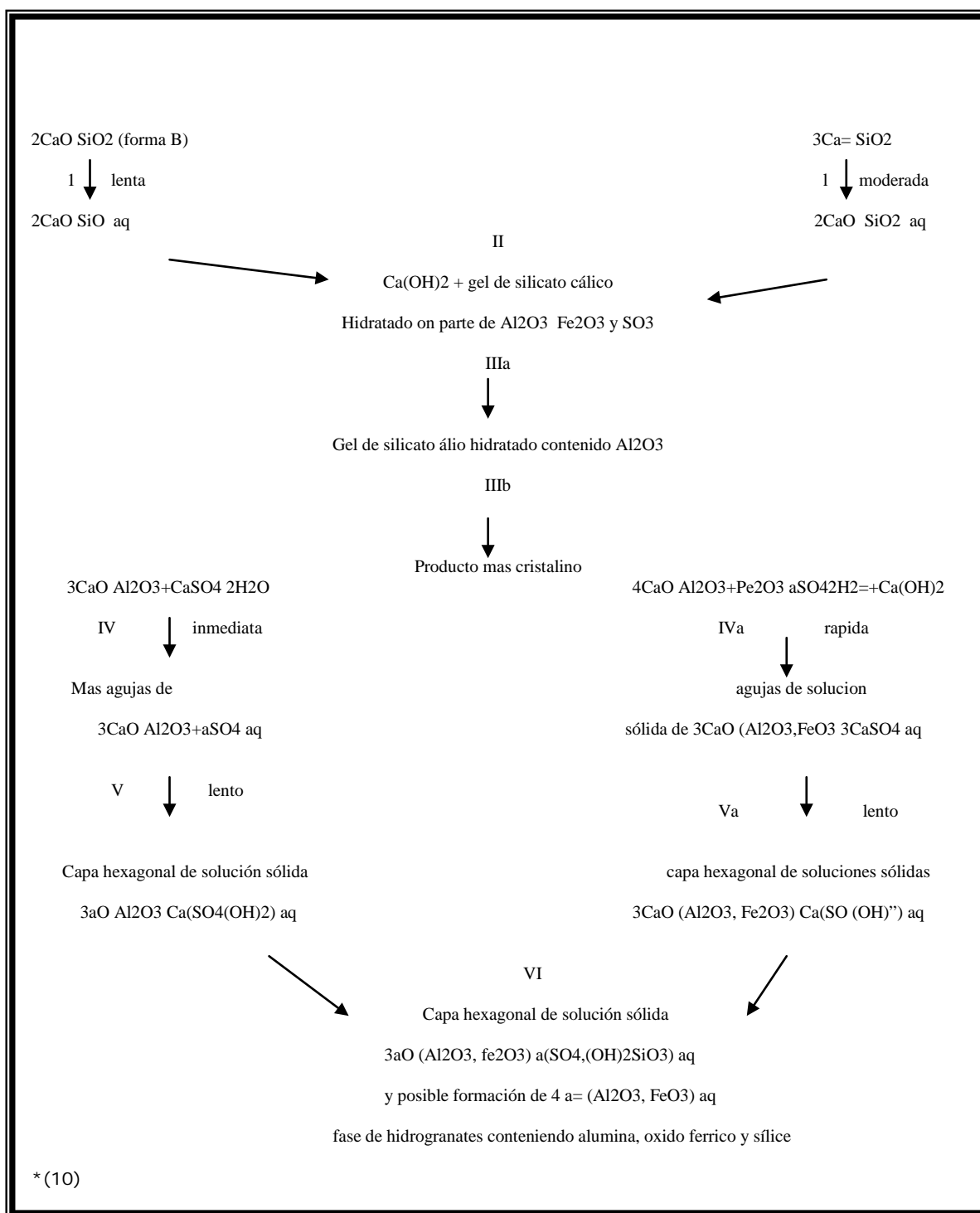
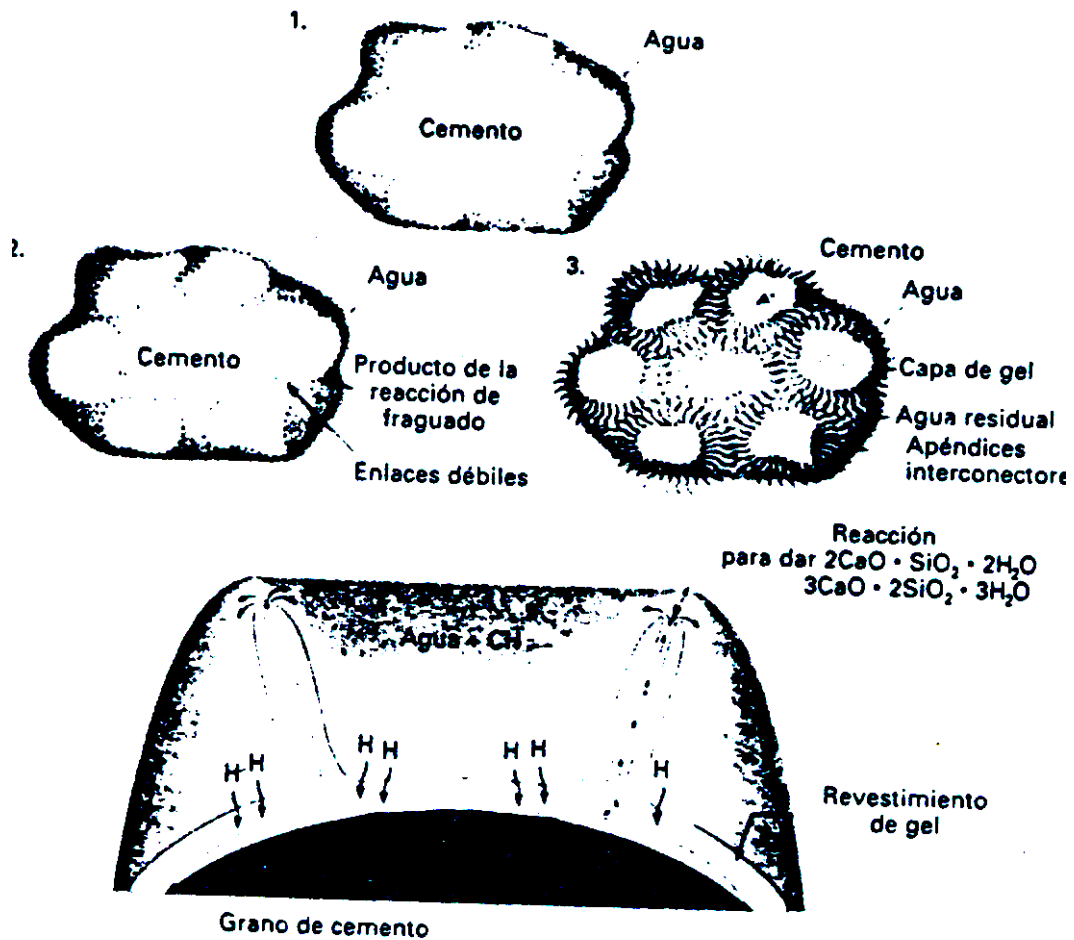


Figura 1





Representación esquemática de la hidratación del cemento * (14)

1.3.3.5 Almacenamiento del cemento

El cemento debe protegerse de la intemperie al transportarlo o almacenarlo. En buenas condiciones de almacenamiento el cemento puede mantener sus características por 3 meses.*⁽¹⁰⁾

1.4 LOS LODOS INDUSTRIALES

El reciclaje y la reutilización son un tema que recientemente han tenido aceptación en la industria, para que la materia prima pérdida sea reutilizada, reelaborada y refabricada.

Un residuo tóxico y peligroso sólido se define como: ^{*(9)}

“ Un residuo sólido que puede causar o contribuir significativamente a un aumento de la mortalidad o un aumento en las enfermedades graves irreversibles o reversibles con incapacidad; o presentan un riesgo considerable presente o potencial para la salud humana o el ambiente cuando es inadecuadamente tratado, almacenado, evacuado o manipulado; y las características pueden medirse por un ensayo normalizado o pueden ser razonablemente detectadas por los generadores de residuos sólidos mediante el conocimiento de sus residuos

Un residuo sólido industrial es toda aquella materia que se genera en los procesos de producción y consumo que no alcanza un valor económico con el contexto en el que se producen. ^{*(15)}

La planificación apropiada, el tratamiento y las prácticas de minimización se basan en datos exactos con respecto a la composición y a las tasas de generación de residuos dependiendo de la clasificación industrial que, por lo general, son producidos dentro

de industrias productoras de materiales ligeros y pesados, refinerías, plantas químicas, minas, generación de energía, etc.

Los residuos sólidos industriales pueden ser clasificados en función de la toxicidad y la prioridad de manejo, teniendo los siguientes tipos de lodos industriales:

- no peligrosos
- peligrosos

dentro de los que se pueden distinguir:

- lodos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos fácilmente degradables, prioridad I.
- Los orgánicos e inorgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos
- Los orgánicos fácilmente degradables, prioridad II
- Los orgánicos e inorgánicos conteniendo contaminantes tóxicos, prioridad III. ^{*(1)}

Composición que reflejara el tratamiento y las opciones de manejo para el residuo o la posible recuperación de sus componentes. Esta establecido en función de su prioridad

- Prioridad I: reúso como fertilizante dependiendo de la composición, del proceso de generación, relleno sanitario e incineración
- Prioridad II reúso y revaloración dependiendo de la composición; compostaje, incineración, relleno
- Prioridad III: prevención dependiendo de los procesos de generación del lodo o disposición en rellenos.

En los Estados Unidos, el Manual de clasificación Industrial Normalizado (SIC) identifica los residuos industriales según la industria y el tipo de producto, esto se puede apreciar en la descripción de la tabla 6

**Composición física de residuos sólidos según manual de
Clasificación Industrial
Normalizado (SIG)**

Tabla 6

Composición general	Composición típica	Composición específica
Orgánica	Alimentos putrescibles	Alimentos vegetales
	Papel y cartón	Papel
		Cartón
	plásticos	Polietileno tereftalato (PETE)
		Polietileno de alta densidad
		cloruro de polivinilo (PVC)
		polietileno de baja densidad
		polipropileno (PP)
		poliestireno (PS)
		otros plasticos multicapa
	Ropa / telas	productos textiles
		alfombras
Inorgánica		goma
		pieles
	Residuos de jardín	restos de jardín
	Madera	madera
	Restos orgánicos	huesos
	Metales	latas
		metales ferrosos
		aluminio
		metales no ferrosos
	Vidrio	Incoloros
		Coloreados
	Tierra, cenizas, etc.	Tierra, sólidos de desbaste
		cenizas
		Piedras
		ladrillos
	No clasificados	Objetos voluminosos

*(1)

Un residuo industrial se puede considerar como peligroso si muestra una o más de las siguientes características:

- Inflamable - la sustancia causa o aviva fuegos
- Reactiva - la sustancia reacciona con otros y puede explotar
- Corrosiva - la sustancia destruye tejidos o metales
- Tóxica - la sustancia es un peligro para la salud, el agua, los alimentos y el aire.

-

Dentro de la Unión Europea se han hecho esfuerzos por elaborar una legislación más amplia que se ocupe de la peligrosidad de los residuos.

Para la decisión, si un residuo entra dentro de la clasificación de los residuos de la UE debe estar dentro de dos niveles claves. El primer nivel es general y no requiere ningún procedimiento de ensayo, consiste en una inspección visual junto con la valoración de una documentación del manifiesto y la legislación pertinente, el segundo nivel consiste de una evaluación específica, normalmente mediante ensayos, las pruebas de evaluación pueden ser físicas, químicas o lixiviados.

En el resultado de esta evaluación los residuos pueden ser considerados como:

- No – peligroso y adecuado para vertido
- Peligrosos y adecuados para incineración

- Peligrosos y adecuados para incineración solo después de pre-tratamiento
- Peligrosos inorgánicos y tratables en una planta inorgánica sin incineración.

Las industrias de producción de láminas de fibrocemento corresponden a la clasificación internacional CIIU 2695.9 y según la propuesta de Ordenanza de la Dirección del Ambiente del Distrito Metropolitano, los lodos provenientes de la planta de producción de estas industrias, son clasificados como de tipo tóxico – peligroso, prioridad III

1.5 COAGULACIÓN Y FLOCULACION DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, para promover la agregación de partículas.

La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

La cantidad de coagulante requerida para obtener una concentración residual dada de sólidos suspendidos después de la floculación y sedimentación, es una función de numerosos factores que incluyen:

- características químicas del agua,
- tipo y concentración de las partículas suspendidas,
- duración de la agitación
- carga eléctrica

La mayoría de partículas en suspensión tienen cargas electroestáticas negativas, lo que significa que se repelen unas a otras y por ello se mantienen en suspensión.

Las partículas que se mantienen en suspensión se dice que son estables.

La cantidad de coagulante químico o polielectrolito necesario para una calidad concreta de agua se puede determinar mediante el ensayo de coagulación conocido como prueba de jarras ("jar test") en laboratorio.

Los resultados obtenidos en la prueba de jarras continúan siendo los mejores para seleccionar al coagulante

Los coagulantes inorgánicos más conocidos son:

- sulfato de aluminio (alumina) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - 14\text{H}_2\text{O}$
- sulfato ferroso $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 - 3\text{H}_2\text{O}$
- sulfato férrico $\text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$
- cloruro férrico (40%) $\text{FeCl}_3 - 6\text{H}_2\text{O}$
- Cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Policloruro de aluminio $\text{Cl}_{3n-m} (\text{OH})_m/\text{Al}_n$
- Poliaminas sol 1% peso mol < 100000

A veces los coagulantes se apoyan con otros productos químicos, conocidos como coadyuvantes, básicamente estos son:

- polielectrolitos
- adición de alcalinidad de cal
- Corrección de pH: cal, ácido sulfúrico

Los polielectrolitos son productos orgánicos sintéticos de cadena larga, pueden ser catiónicos, aniónicos o poli-anfóteros.

La dosis óptima de coagulante más los coadyuvantes puede determinarse mediante la prueba de jarras.

La prueba de jarras es un ensayo compuesto de 6 vasos de precipitación de un litro con muestras del agua bruta, en que a cada uno se le añade una cantidad distinta del coagulante siguiéndole una mezcla rápida durante un minuto y 7 minutos con mezcla suave, se

deja sedimentar las muestras durante 7 minutos y se llevan a la lectura de turbidez en el espectrofotómetro.

1.5.1 Modelos de la coagulación

1.5.1.1 Modelos Físicos

- **Modelo de Helmholtz:** Su fundamento se basa en dos superficies cargadas eléctricamente y separadas por una distancia constante. Esta situación se puede modelar como un condensador simple con potencial en la superficie
- **Modelo de Gouy Chapman:** Introduce el concepto de capa difusa. Para esto usa la ecuación de Poisson, lo que permite calcular las posiciones de equilibrio de los iones de la doble capa.
- **Modelo de Stern:** Señala que existe la posibilidad de coexistencia de ambas capas. Por tanto, es un modelo de doble capa eléctrica. Hay una capa fija de contra-iones que está adherida a la superficie coloidal (en ella el potencial cae rápido). Parte de la capa difusa de contra-iones está adsorbida a la superficie de la partícula coloidal y se mueve con ella.

La capa fija se compara al modelo de un condensador eléctrico. La superficie del coloide más el solvente adherido forman una placa con carga $/q_1/ + /q_2/$ y la capa difusa no adherida, la otra placa con carga q_3 .

Relación entre pH, carga superficial y potencial de superficie.

La interdependencia de la energía de interacción coulombica con pH y densidad de carga superficial a varias fuerzas iónicas para óxido férrico hidratado en suspensión en que H^+ es solamente la determinación del ion. La influencia del pH y de la fuerza iónica sobre la interacción de energía coulombica y sobre el factor de corrección coulombico son calculados de acuerdo al modelo de doble capa.

Modelo Simplificado de la doble capa (Capacitancia Constante).

La estructura de doble capa más simple es suponer la carga superficial en un plano y el contador de carga en un plano similar paralelo.

Este modelo se conoce como modelo de Helmholtz. Tiene validez cuando la carga total superficial es pequeña en magnitud absoluta o cuando la concentración del electrolito inerte es grande (compresión de la doble capa).

1.5.1.2 Modelo Químico

La carga de las partículas coloidales se produce por la ionización de grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie de los coloides. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes, lo que genera la posterior precipitación. Así la desestabilización de los sistemas coloidales se ve mejor bajo el punto de vista químico.

- **teoría del puente químico:** Esta teoría supone una molécula polimérica unida a la superficie del coloide en uno o más sitios mientras el resto de los sitios de adsorción están vacantes los que pueden ser ocupados por otros coloides generando así un puente químico. Esto genera un aumento de tamaño y consiguiente precipitación.

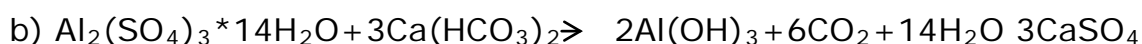
1.5.2 Aspectos importantes sobre coagulantes.

En general los coloides hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrofóbicos, que no reaccionan químicamente con el coagulante.

Entre los coagulantes, el más usado es el sulfato de aluminio (o alumbre). Esta sustancia presenta las siguientes reacciones:



Esta reacción va disminuyendo su pH a medida que la reacción se lleva a cabo hasta un punto en que se detiene. Si el agua contiene bicarbonatos, el pH puede mantenerse relativamente constante, ya que estos actúan como amortiguadores. La reacción se puede ver en (b).



El CO_2 puede producir corrosión y por lo tanto suele neutralizarse con cal. La reacción origina endurecimiento del agua y según los requerimientos podría ser posteriormente tratado.

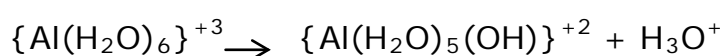
Para producir la coagulación el agua requiere de cierta alcalinidad.

Si no posee esta alcalinidad, se debe agregar algún tipo de sustancia que la asegure como es el CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH o NaCO_3 .

Existe un pH óptimo de coagulación según el tipo de agua.

1.5.3 Productos de la hidrólisis.

Se pueden obtener producto de la hidrólisis iones hidratados con un pH inferior a 4 los que son del tipo: $\{\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6\}^{+3}$. También es posible generar monómeros y productos poliméricos con un pH entre 4 y 7. Los monómeros se forman según la reacción:



Los cuales son inestables. Estas reaccionan entre sí y forman las siguientes especies:

- $\{\text{Al}_8(\text{OH})_{20}\}^{+4}$
- $\{\text{Al}_7(\text{OH})_{17}\}^{+3}$
- $\{\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}\}^{+5}$
- $\{\text{Al}_6(\text{OH})_{15}\}^{+3}$

En cuanto a la velocidad de formación de las sustancias, el hidróxido de Aluminio se forma lentamente. Su importancia en el proceso es que genera un barrido al sedimentar. Los iones hidratados se forman muy rápido. Su efecto más importante es que comprimen y neutralizan la doble capa. Esto está muy ligado a lo que se explicó bajo la perspectiva de modelo físico, Por su parte, las moléculas

poliméricas se forman rápidamente y su efecto más importante es la formación de puentes químicos haciendo adsorción de coloides, (enfoque químico), una agitación lenta favorece este proceso.

La impureza liofoba es más fácil de precipitar que una liofílica. En cuanto al número de impurezas se obtiene una mejor coagulación con un número mayor de impurezas.

En general los coagulantes con mayor valencia actúan mejor debido a su mayor capacidad de intercambio de carga. El Al^{+3} es muy efectivo. Según el tipo de agua que se tenga es tipo de mecanismo de coagulación que más influye.

En aguas poco turbias, la coagulación es principalmente por hidróxidos metálicos. Su efecto es el del barrido. En aguas muy turbias en cambio se tiene gran participación también de los otros mecanismos y las relaciones de dosis de coagulante y coloides son prácticamente estequiométricas.

Los coagulantes metálicos se polimerizan en solución. Los polielectrolitos (poliacrilamida, alginate de sodio) son polímeros en sí. Actúan ambos de igual forma.

Respecto de la dosificación de los coagulantes está puede ser en seco o en solución. Si se desea dispersar los coagulantes es conveniente una mezcla rápida.

Si lo que se desea es la aglutinación de partículas es adecuada una mezcla lenta.

Los polielectrolitos pueden ser de tres tipos:

- no iónicos
- aniónicos
- catiónicos.

En el primer grupo está el polivinil alcohol, las poliacrilamidas y el óxido de polietileno.

En el segundo grupo se encuentra el sulfonato de poliestireno, la parcialmente ionizada poliacrilamida y el poliacrilato.

En el tercer grupo se encuentra la polivinil piridina y la polietilena-
amina.

La dosis de coagulante tiene gran relación con el intervalo de pH sobre el cual se maneja la dosis y por supuesto según el nivel de turbidez. En general a mayor dosis, mayor es el rango de pH donde tiene efecto el coagulante

El caso de la turbidez marca un comportamiento parabólico respecto a pH. Sin embargo el valor óptimo de pH permanece casi constante.

1.5.4 Dosificación de coagulante vs turbidez y pH.

Los coagulantes metálicos (alumbre: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ y sales de hierro), han sido los más empleados en la clarificación del agua. Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez. Añadidos al agua forman especies cargadas positivamente en el intervalo de pH típico para la clarificación que va entre 6 y 7

Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del rango adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el Hierro o el Aluminio. Cuanto menor sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios en el pH.

Una observación destacable radica en ver que el valor óptimo de pH permanece casi constante, pero el intervalo de pH es menos limitante a medida que aumenta la dosificación de coagulante.

1.6 FLOCULACIÓN.

El propósito del proceso de floculación es promover el crecimiento y agrupación de las partículas contenidas en el agua, aumentando su tamaño y peso, para conseguir una fase más efectiva de separación

El proceso consiste en someter al agua a un período de agitación lenta (floculación o mezcla lenta) para promover la formación de flóculos más grandes y sedimentables.

Las variables más importantes del proceso de floculación son:

- la concentración de coagulante
- la intensidad de agitación con que la suspensión es mezclada en el tanque de floculación, expresada como gradiente de velocidad
- y el tiempo de retención

Los floculantes más utilizados son:

- polielectrolitos catiónicos.: copolímeros a base de arilamidas con peso mol > 1000000
- Sol de 0.1 al 1%
- No iónicos: policrilamidas
- Aniónicos: policrilatos
- Sílice activa diluida al 0.5 – 1% como SiO₂
- Polielectrolitos naturales: almidones, taninos, alignatos, etc.

1.6.1 Tipos de floculación

- **floculación ortocinética**

siendo la primera producida por la energía disensada al agua por fuerzas externas (energía mecánica y/o hidráulica),

- **floculación pericinética,**

producida por el movimiento normal de las partículas (movimiento Browniano y gravedad).

se llega a definir la eficiencia del proceso en función de las características de la suspensión, del tamaño del flóculo, del tiempo de retención, gradiente de velocidad y del número de compartimentos.

1.7 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es la separación sólido – líquido por acción de la gravedad que decanta los sólidos en suspensión por diferencia de densidad

En la sedimentación se aprovecha la fuerza de gravedad que imprime a las partículas un movimiento descendente, cuya velocidad depende de la densidad y viscosidad del líquido, y del tamaño, forma y densidad de la partícula.

Para obtener una máxima eficacia en el proceso de sedimentación conviene obtener partículas pesadas y grandes.

Si esto no ocurre espontáneamente se acude a una coagulación – floculación preliminar.

Cuando la concentración de sólidos es importante, la densidad aparente del líquido aumenta y se produce una sedimentación retardada.

Las distintas fases de sedimentación pueden verse claramente mediante los ensayos de decantación con muestras en suspensión introducidas en una probeta.

En función del tiempo se forma en la parte superior una superficie libre de agua clarificada.

1.7.1 Tipos de sedimentación

- Sedimentación de partículas discretas: tipo I

la sedimentación de tipo uno es la decantación de partículas no floculadas y no coaguladas en suspensión diluida, presentándose por decantación simple de aguas superficiales.

En este tipo de sedimentación las partículas sedimentan individualmente.

Las partículas se aceleran verticalmente en sentido descendente hasta que la fuerza de arrastre sea igual a la fuerza impulsora.

Sedimentación de partículas: tipo II

- la sedimentación tipo dos es la sedimentación de las partículas en grupos.

Las partículas floculadas son ayudadas químicamente para unirse y formar partículas mas grandes, por ende aumentar su masa y así decantar.

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo los objetivos planteados en este trabajo se realizaron los siguientes pasos:

- Determinación de la composición química de lodos
- Determinación de la concentración de sólidos suspendidos y de la turbidez en el agua de proceso y en el agua del sistema de sedimentación
- Ensayos de coagulación – floculación de sólidos suspendidos en el agua de proceso.
- Determinación de la curva de calibración en función de la concentración vs turbidez residual
- Determinación de la concentración de sólidos suspendidos en función de la turbidez mínima (dosis óptima).
- Balance de masas (sólidos suspendidos)
-

2.1 Determinación de la composición química de lodo seco

Procedimiento.

- Filtrar 5 litros de agua de proceso a través de un papel filtro semi-cuantitativo (Wathman #40).

- El residuo húmedo, someter a secado en estufa eléctrica por 24 horas a 105 °C
- Colocar en un crisol de porcelana y proceder a calcinar a 550 °C por 0.5 horas en la mufla eléctrica, enfriar el crisol y pesar; así determinamos el porcentaje (%) de fibra celulósica
- El residuo que queda en el crisol pasar a un vaso de precipitación de 250 cc y añadir 50 ml de Ácido Fórmico (20%); calentar suavemente e inmediatamente filtrar a través de un papel filtro semi-cuantitativo (Wathman # 40).
- En el Papel filtro quedan separadas las fibras del crisol insolubles en el ácido, lavar secar y pesar.
- Por diferencia de peso, con el valor original (2,0 g)se obtiene la cantidad de cemento fino de lodo seco.

2.2 Determinación de la concentración de sólidos suspendidos y de la turbidez en la agua de proceso y en el agua del sistema de sedimentación. ^{*(7)}

Procedimiento:

- Filtrar un litro del efluente líquido a través de un papel filtro semi-cuantitativo
- (Whatman # 40) previamente pesado
- Secar el papel filtro y su contenido en la estufa eléctrica a 105 °C hasta peso constante.

- Calcular la concentración en g/L de sólidos suspendidos
- Tomar otra porción de agua de proceso (250 ml), en un vaso de precipitación y dejar en reposo por 7 minutos; al cabo de este tiempo determinar la turbidez residual en el líquido sobrenadante.

2.3 Ensayos de coagulación - floculación de sólidos suspendidos en el agua de proceso.

Procedimiento: prueba de jarras.*⁽⁵⁾, *⁽⁶⁾

- Determinar el pH y la turbidez inicial de la muestra bien homogenizada.
- Verter porciones de un litro de muestra en cada uno de 6 vasos de precipitación y colóquelos en el aparato de jarras
- Añadir la solución del coagulante a los 5 primeros vasos de precipitación con diferentes concentraciones (100, 150, 200, 250 y 300 mg/L de sulfato de aluminio); el vaso restante sirve como "testigo".
- Agitar por un minuto a 100 rpm después de la adición del coagulante. Si se utiliza ayudante de coagulación añadir en este momento
- Flocular las muestras a una velocidad de 40rpm durante 7 minutos exactos.
- Después de la floculación retirar los agitadores y dejar en reposo durante 7 minutos.

- Medir la turbidez residual en cada vaso cuidando de no resuspender las partículas del sedimento de la muestra.
- Determinar la dosis óptima del coagulante y del ayudante de coagulación en caso de haberse utilizado.

2.4 Curva de calibración.

Concentración vs turbidez residual

Utilizando los datos de la tabla 7 se procedió a elaborar la curva de calibración para calcular la concentración de sólidos suspendidos en función de la turbidez residual para el agua de proceso y del sistema de sedimentación. Dicha curva se puede observar en el gráfico 10

La ecuación resultante para la curva es:

$$Ss = 0.0001 T^{1.7261}$$

Donde:

Ss = concentración de sólidos suspendidos (g/L)

T = turbidez residual (NTU)

El algoritmo desarrollado para encontrar la ecuación es:

$$y = cx^b$$

$$\log y = c + b \log x$$

$$\log yx = c + (b+1) \log x$$

$$\log y = c + b \log x \quad \left\{ \begin{array}{l} \log y = c + b \log x \\ x \log y = cb + x \log x \end{array} \right.$$

2.5 Concentración de sólidos suspendidos en función de la turbidez mínima (dosis óptima)

De acuerdo a lo establecido en el análisis de la tabla 9, la turbidez mínima obtenida que corresponde a la dosis óptima de coagulante mas ayudante es de 15 NTU.

Interpolando este valor en el grafico 10 o calculando matemáticamente obtenemos que.

Punto # 1 : bomba recúpero: turbidez residual = 15 NTU

$$1.7261$$

$$Ss \text{ (g/L)} = 0.0001 * 15$$

$$S_s \text{ (g/L)} = 0.011 \text{ g/L}$$

2.6 Balance de masas (sólidos suspendidos)

En virtud de que no existe acumulación de sólidos en la zona de sedimentación tenemos que:

$$\textit{entrada} = \textit{salida del efluente} + \textit{salida zona de sedimentos}$$

$$\text{salida a zona de sedimentos} = \text{entrada} - \text{salida en el efluente}$$

utilizamos un día como periodo de tiempo razonable para el cálculo presente.

2.7 Proceso de sedimentación

2.7.1 Proceso de sedimentación de sólidos suspendidos por gravedad

Cono 1 :

Entrada sólidos suspendidos

Ess (promedio) = 0.521 g/L

$$\text{ESs} = \frac{72\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{dia}} \times \frac{0.521\text{g}}{\text{L}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} = 900.288 \text{ Kg/ dia}$$

Salida sólidos suspendidos

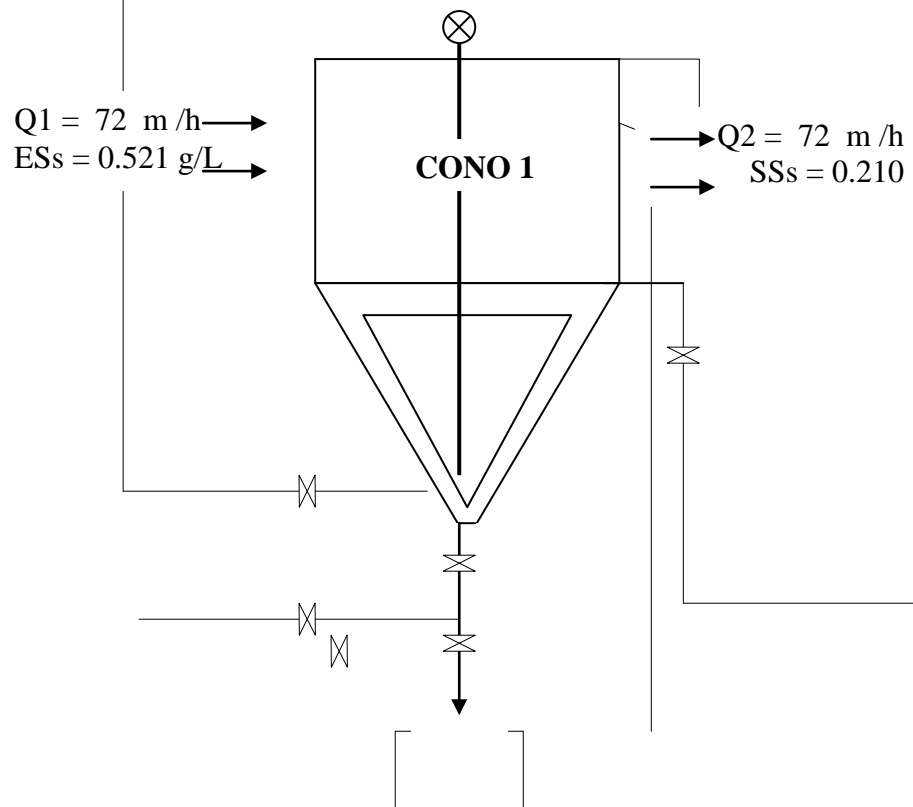
$$\text{SSs} = \frac{72\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{24\text{h}}{1\text{dia}} \times \frac{0.210\text{g}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} = 362.9 \text{ Kg / dia}$$

por tanto:

Descargue:

Salida a zona de sedimentos = 900.2 – 362.9 = 537.3 Kg /día

Figura 2



Q1 = caudal de entrada de sólidos suspendidos

Ess = Concentración de entrada de sólidos suspendidos

Q2 = caudal de salida de sólidos suspendidos

SSs = Concentración de salida de sólidos suspendidos

Eficiencia de separación

$$E(\%) = \frac{(Ess - Sss) * 100}{Ess} = \%$$

$$E(\%) = \frac{(0.521 - 0.210) * 100}{0.521} = 59.7\%$$

Cono 2 :

Entrada sólidos suspendidos

$$\text{ESs} = \frac{72\text{m}^3 \cdot 24\text{h} \cdot 0.210\frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 1\frac{\text{Kg}}{1000\text{g}} \cdot 1000\frac{\text{L}}{\text{m}^3}}{\text{h} \cdot \text{día}} = 362.9 \text{ Kg/día}$$

Salida sólidos suspendidos

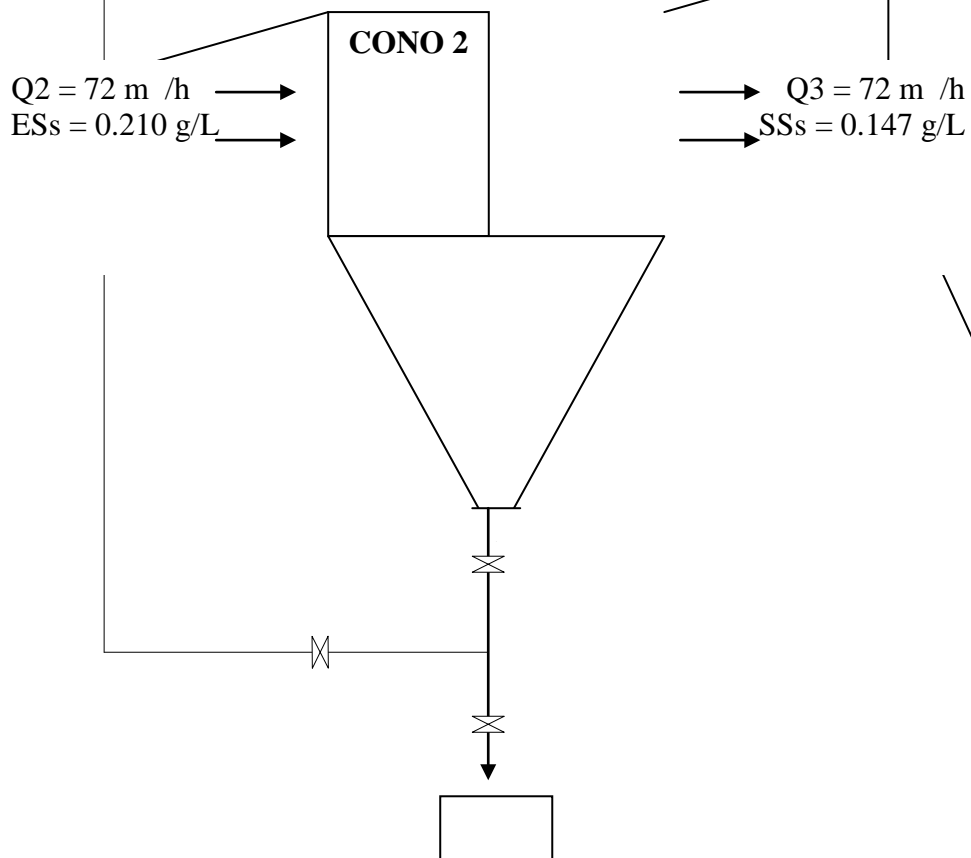
$$\text{SSs} = \frac{72\text{m}^3 \cdot 24\text{h} \cdot 0.147\frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 1\frac{\text{Kg}}{1000\text{g}} \cdot 1000\frac{\text{L}}{\text{m}^3}}{\text{h} \cdot \text{día}} = 254.0 \text{ Kg/día}$$

por tanto:

Descargue

$$\text{zona de sedimentos (lodos)} = 962 - 254.4 = 108.9 \text{ Kg / día}$$

Figura 3



Q2 = caudal de entrada de sólidos suspendidos

Ess = Concentración de entrada de sólidos suspendidos

Q3 = caudal de salida de sólidos suspendidos

Ess = Concentración de salida de sólidos suspendidos

Eficiencia de separación

$$E(\%) = \frac{(Ess - Sss) * 100}{Ess} = \%$$

$$E(\%) = \frac{(0.210 - 0.147) * 100}{0.210} = 30\%$$

2.7.2 Proceso de sedimentación de sólidos suspendidos con floculación.

Seleccionamos los valores óptimos en cuanto a la dosis de coagulante y ayudante en función de la mínima turbidez residual obtenida así:

Cono 1 : rebose cono 1 a cono 2

Turbidez residual = 19 NTU

Sólidos suspendidos: 0.016 mg / L

Entrada sólidos suspendidos

$$Ess = \frac{72m * 24h * 0.521g * 1Kg * 1000L}{h \quad 1dia \quad L \quad 1000g \quad 1m} = 900.2 \text{ Kg / dia}$$

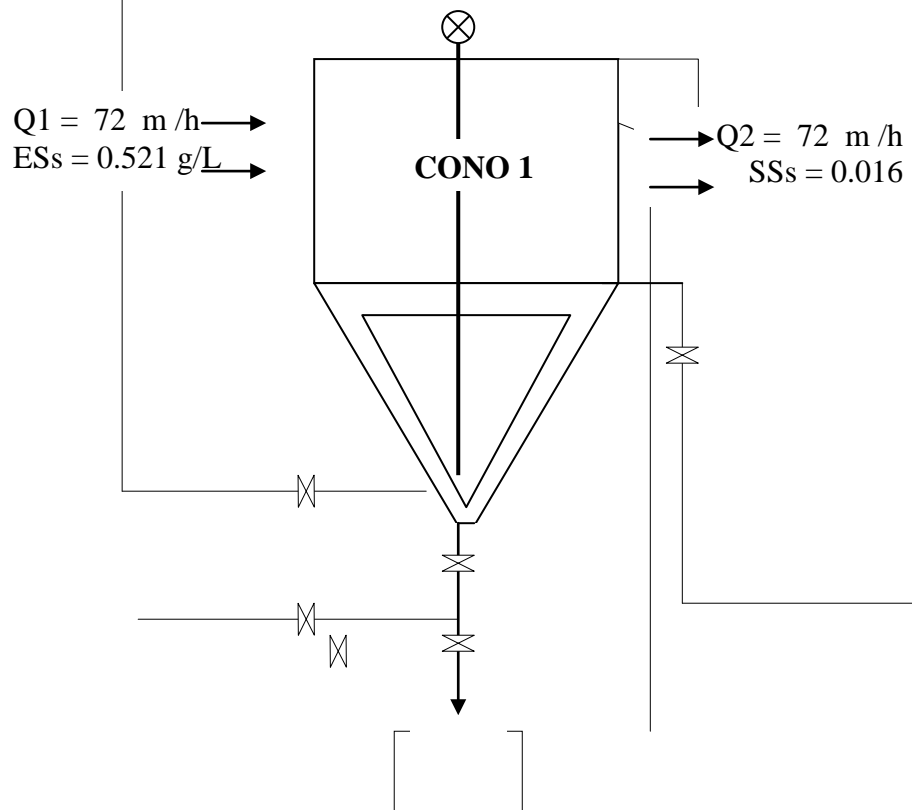
Salida sólidos suspendidos

$$Sss = \frac{72m * 24h * 0.016g * 1000L * 1 Kg}{h \quad 1dia \quad L \quad 1m \quad 1000g} = 27.6 \text{ Kg / dia}$$

por tanto:

$$\text{Descarga a zona de sedimento} = 900.2 - 27.6 = 872.6 \text{ Kg / dia}$$

Figura 5



Q1 = caudal de entrada de sólidos suspendidos

Ess = Concentración de entrada de sólidos suspendidos

Q2 = caudal de salida de sólidos suspendidos

Ess = Concentración de salida de sólidos suspendidos

Eficiencia de separación

$$E(\%) = \frac{C1 - C2}{C1} * 100 = \%$$

$$E(\%) = \frac{(0.521 - 0.016)}{0.521} * 100 = 96.9\%$$

Cono 2 : salida a bomba recupero

Turbidez residual = 15 NTU

Sólidos suspendidos: 0.011 mg / L

Entrada sólidos suspendidos

$$\text{Ess} = \frac{72\text{m}^3 * 24\text{h} * 0.016\text{g} * 1\text{Kg} * 1000\text{L}}{\text{h} * 1\text{dia} * \text{L} * 1000\text{g} * 1\text{m}} = 27.6 \text{ Kg / dia}$$

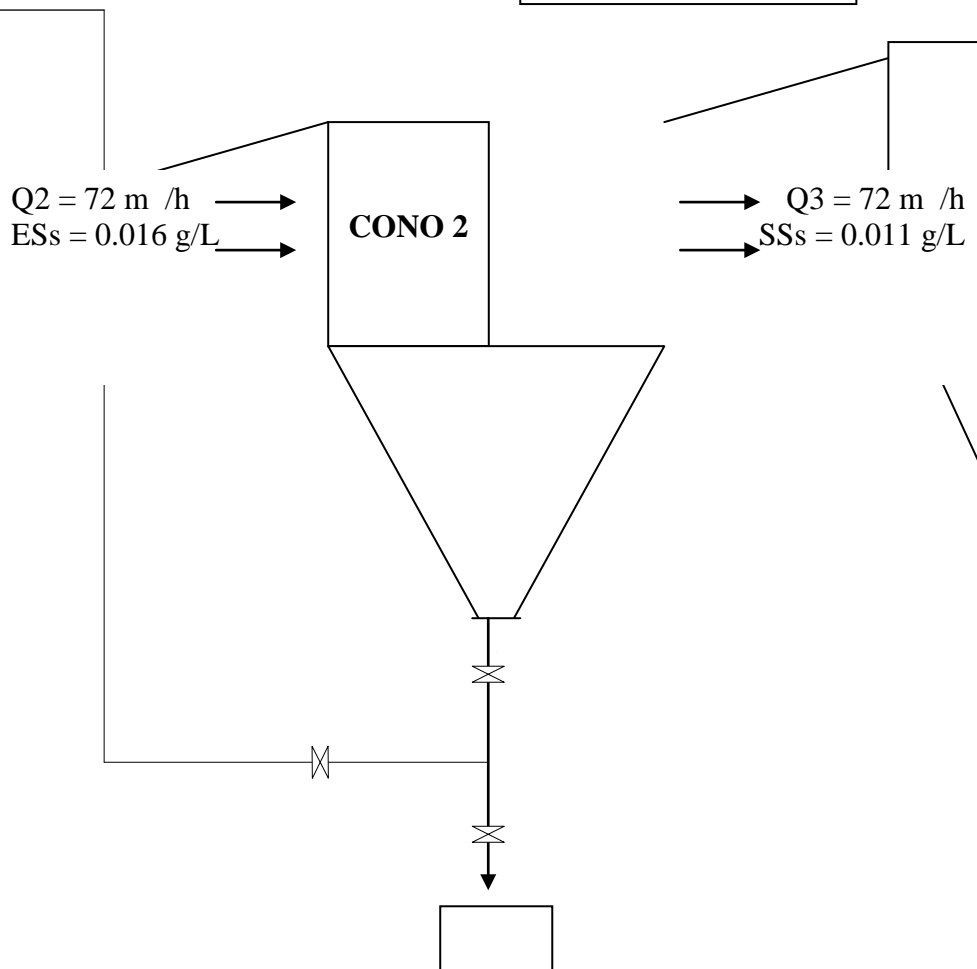
salida sólidos suspendidos

$$\text{Sss} = \frac{72\text{m}^3 * 24\text{h} * 0.011\text{g} * 1000\text{L} * 1 \text{ Kg}}{\text{h} * 1\text{dia} * \text{L} * 1\text{m} * 1000\text{g}} = 19.0 \text{ Kg / dia}$$

por tanto:

Descarga a zona de sedimentos = 27.6 – 19 = 8.6 Kg / dia

Figura



Q2 = caudal de entrada de sólidos suspendidos

Ess = Concentración de entrada de sólidos suspendidos

Q3 = caudal de salida de sólidos suspendidos

Ess = Concentración de salida de sólidos suspendidos

Eficiencia de separación

$$E(\%) = \frac{(Ess - Sss) * 100}{Ess} = \%$$

$$E(\%) = \frac{(0.016 - 0.011) * 100}{0.016} = 31.2\%$$

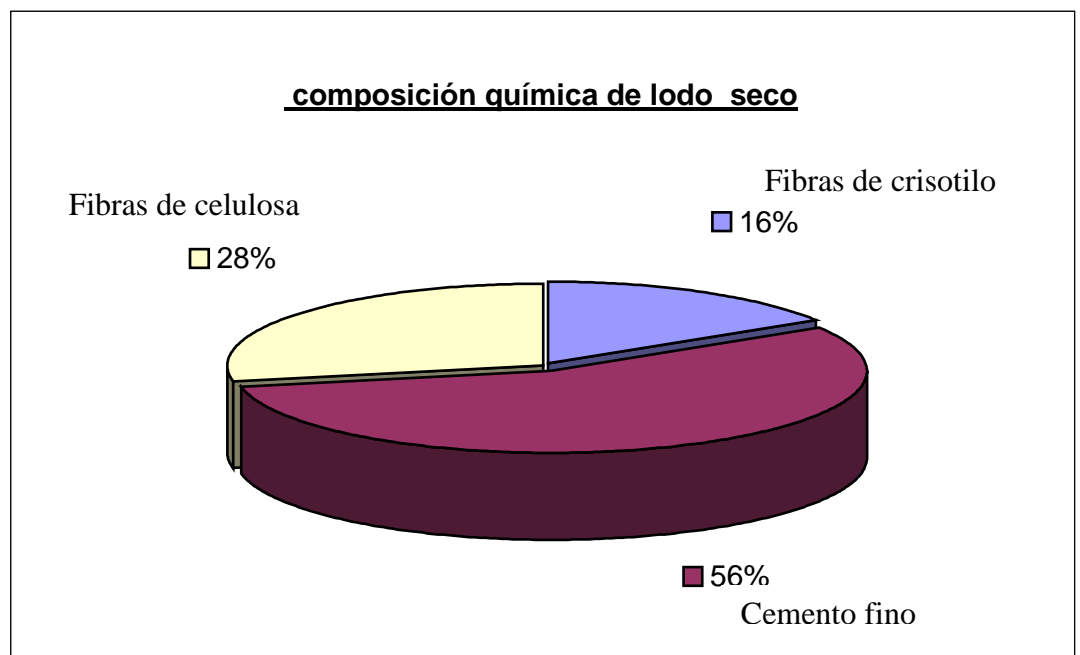
CAPITULO III

RESULTADOS

En las tablas y gráficos que se presentan a continuación se resumen los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas.

3.1 Determinación de la composición química de lodo seco

Figura 6



3.2 Determinación de la concentración de sólidos suspendidos y de la turbidez en el agua de proceso y en el agua del sistema de sedimentación

Tabla 7

Punto de muestreo: sitio	sólidos suspendidos (g/L)	turbidez (NTU)
p1 bomba recúpero	0,548	138
p2 entrada cono 1	0,495	130
p3 rebose cono 1 a 2	0,21	84
p4 rebose cono 2	0,147	63
PROMEDIO	0,521	

3.3 determinación de la dosis optima para el sistema (prueba de jarras)

las mejores opciones obtenidas en la prueba de jarras están representadas por la dosis optima de coagulación y ayudante de coagulación teniendo la descripción de resultados en las siguientes tablas y gráficos: que se presentan en las hojas de Excel

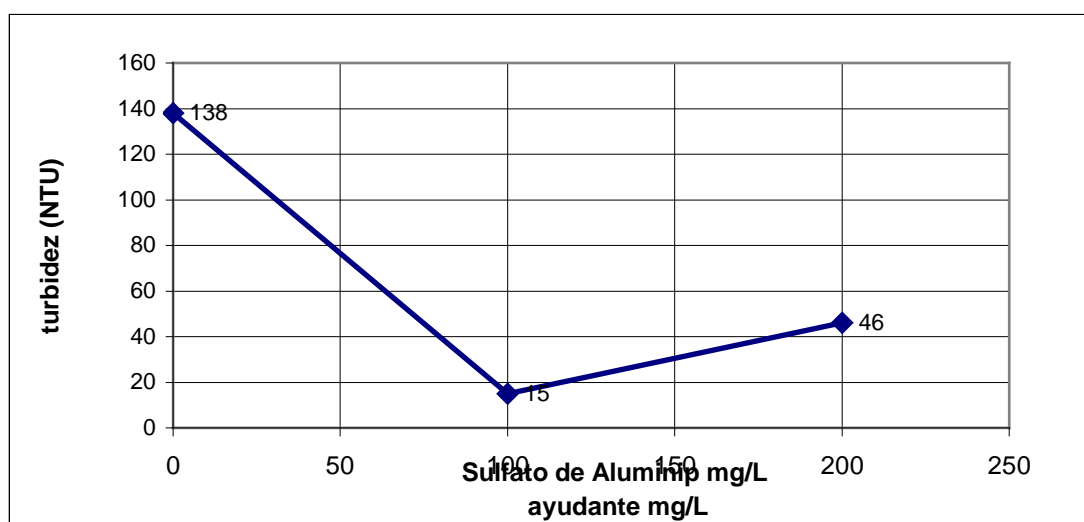
3.5 Determinación de la dosis óptima de coagulante para el sistema de aguas de proceso

del análisis de resultados obtenidos en las pruebas de jarras se ha seleccionado las mejores opciones representadas por la dosis óptima de coagulación para cada punto de muestreo, así como la dosis de ayudante de coagulación, todo esto en relación a la mínima turbidez obtenida; estos datos se resumen en la siguiente tabla y graficos correspondientes.

tabla 14

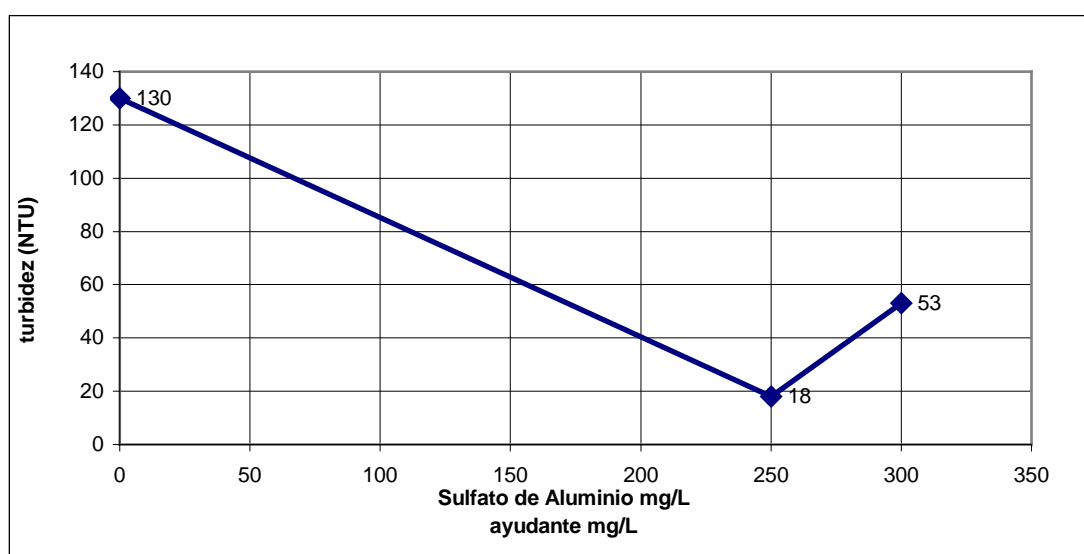
Muestra	dosis óptima		turbidez (NTU)
	sulfato de aluminio (mg/L)	ayudante (mg/L)	
#1 bomba recúpero	200	0	46
#2 bomba recúpero	100	1	15
#3 entrada cono 1	300	0	53
#4 entrada cono 1	250	1	18
#5 rebose cono 1	150	0	40
#6 rebose cono 1	200	1	19

Gráfico 11: bomba recúpero



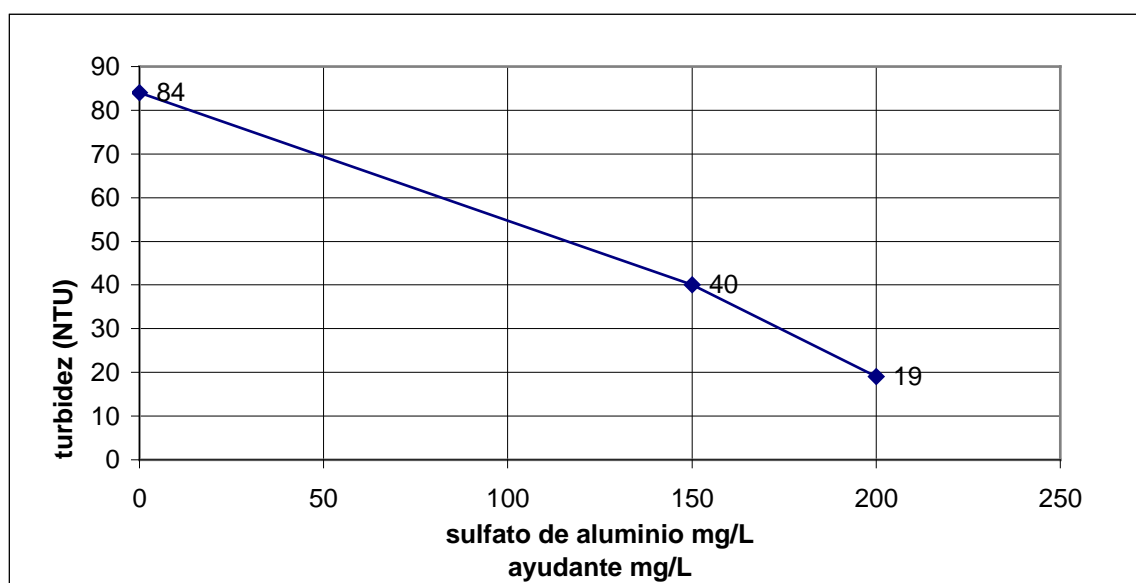
se ha logrado bajar la turbidez inicial de 138 NTU a 46 NTU con 200 mg/L de Sulfato de Aluminio y a 15 NTU con 100 mg/L de Sulfato de Aluminio y 1 mg/L de ayudante de coagulación.

Gráfico 12: entrada cono 1



se ha logrado bajar la turbidez inicial de 130 NTU a 53 NTU con 300 mg/L de Sulfato de Aluminio y a 18 NTU con 250 mg/L de Sulfato de Aluminio y 1 mg/L de ayudante de coagulación.

Gráfico 13: entrada cono1



Se ha logrado bajar la turbidez inicial de 84 NTU a 40 NTU con 150 mg/L de Sulfato de Aluminio y a 19 NTU con 200 mg/L de Sulfato de Aluminio y 1 mg/L de ayudante de coagulación.

3.6 Gráficos comparativos de la eficiencia de operación

Tabla 15: Sólidos suspendidos vs turbidez residual

Punto 1: bomba recúpero

Químico	turbidez (NTU)	Sulfato de Aluminio (mg/L)
sulfato de aluminio (0 mg/L)	138	0.548
0.00.00.548sulfato de aluminio (200 mg/L)	46	0,074
sulfato de aluminio (200mg/L) ayudante (1mg/L)	15	0,011

Los gráficos comparativos se pueden encontrar el la hoja de excel
entro de la carpeta

3.7 Tablas comparativas de sedimentación de sólidos suspendidos por gravedad y con floculación

Sedimentación de sólidos suspendidos por gravedad

Tabla 18

muestra	turbidez (NTU)	sólidos suspendidos (g/L)	descarga (Kg/día)	eficiencia (%)
entrada cono 1	130	0,521	537,3	59,7
Rebose cono 1 a 2	84	0,21	108,9	30

Sedimentación de sólidos suspendidos con floculación

Tabla 19

muestra	turbidez (NTU)	sólidos suspendidos (g/L)	descarga (Kg/día)	eficiencia (%)
rebose cono 1 a 2	19	0,016	872,6	96,9
salida a bomba recúpero	15	0,011	8,61	31,2

El ciclo iniciaría con una turbidez de 15 NTU para entrar al cono 1 optimizando de esta manera el sistema de sedimentación disminuyendo los sólidos suspendidos de 0.521 g/L en el primer paso a 0.011 g/L, para que luego en el punto de rebose del cono 1 al cono 2 se de la baja de los sólidos suspendidos que, sin químicos Ayudantes, es de 0.21 g/L pasando a la concentración de 0.016 g/L. con la floculación química.

Lo mismo se puede observar en la cantidad de lodos descargados que bajan de 537.3 Kg/día a 8.61 Kg/día.

En cuanto a la eficiencia del sistema en la tabla# 18 se indica que antes de la inyección de coagulante y el ayudante de coagulación está en 30% y luego del tratamiento recomendado sube la eficiencia del sistema al 96.9 % obteniendo un incremento en la eficiencia del 66.7 % para el mejoramiento en la recuperación de lodos residuales.

CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES

1. En la determinación de lodo seco se llegó a la conclusión que en la composición química de estos lodos la mayor parte constituye el cemento fino (56%) y que existe el 16% e fibras de crisotilo que se desperdician con el consiguiente costo económico.
2. La mayor cantidad de lodos se producen en el punto de la bomba recúpero.
3. Se obtiene una mejor sedimentación con el uso de agentes químicos coagulantes y coadyuvantes, esto se observa claramente en los resultados, con la acumulación de sólidos
4. El método de la prueba de jarras es el más adecuado ya que permite conocer la cantidad de coagulante químico necesario para el análisis de las dosis óptimas de inyección de los químicos coagulantes y ayudantes de coagulación
5. Los 528.7 Kg de los lodos que van a la planta de tratamiento de agua residual serán recuperados en un día utilizando este tratamiento

6. Las condiciones óptimas para la inyección del químico coagulante y ayudante de coagulación son en el punto 2 correspondiente a la entrada al cono de sedimentación 1.
7. La optimización del sistema ha sido valida ya que la eficiencia de sedimentación se incrementa un 66.7%
8. Con el sistema aplicado se recuperará 193 toneladas de lodos residuales como materia prima para el reciclaje en un año.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se debe proceder a la inyección de 100 mg/L de sulfato de aluminio y 1 mg/L de ayudante de coagulación en la salida a la bomba de recúpero
- Luego de la implementación del sistema se debe llevar a cabo una nueva prueba de jarras para verificación del correcto funcionamiento de optimización del sistema
- Realizar un monitoreo permanente del funcionamiento óptimo del sistema de sedimentación con el asesoramiento de quien realiza este trabajo.

- Que el uso del crisotilo sea de una manera segura y responsable , lo que implica un planteamiento de evaluación de riesgo, no solo para el crisotilo sino que para todos materiales. ya que la mayoría de las sustancias tienen un potencial de ser dañinas si se utilizan inadecuadamente.

- Además que el uso del crisotilo y demás materiales sea de una manera responsable y segura como un punto mas para poder acceder a la implantación de la Norma ISO 14000

CAPITULO V

BIBLIOGRAFÍA

1. Kiely Gerard (1999), INGENIERIA AMBIENTAL: fundamentos, entornos , tecnologías y sistemas de gestión, 1era edición, editorial McGraw Hill, Madrid – España, Volumen II pgs. 612-627, volumen III; pgs. 851-853, 940 – 943.
2. Kemmer, Frank, Mc Callion, John (1995), NALCO, MANUAL DEL AGUA. Tomo I, editorial McGraw Hill, Mexico – Mexico, pgs 8.1-12.1
3. API publication 420, chemistry and chemicals of coagulation and flocculation (1990), 1st edition.
4. Clair N., Saweer, Perry L, Mc Carty (2001), QUIMICA PARA INGENIERIA AMBIENTAL, editorial EMMA ARIZA, Bogota – Colombia, cuarta edición
5. Eckenfelder et al, (1980), JAR TESTS PROCEDURES
6. Coagulation – flocculation jar test of water, ASTM D 2035 – 84

7. Manual del control de procesos, ETERNIT ECUATORIANA, 1999
8. William Mendall, (1988), ESTADÍSTICA, ec Iberoamericana, segunda edición, México – México, pgs 444-449.
9. Dirección del Ambiente, PROPUESTA DE ORDENANZA DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL Y LODOS INDUSTRIALES, (octubre 2000), Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
10. INSTITUO DEL ASBESTO: www.asbestos-intitute.ca
11. www.chrysotyle.com
12. Felbermayer W, and Ussar MB (1980). Reporte de investigación: Asbesto libre en el aire producto de la erosión sobre láminas de asbesto cemento.
13. Safety & Welfare of Western Australia (1990). Report of the Working Party on Asbestos Cement Products
14. www.pcrsa.com.ar
15. USEPA, CFR 260.10.