

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO
PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
EN LA FABRICACIÓN DE
ÁCIDO SULFÚRICO Y
PRODUCTOS SULFONADOS

Director de Tesis:
Ing. Kléber Machado

Elaborado por:
María Gabriela Landázuri Vásquez

2001 – 2002

A mis Padres, a mi hermana, que siempre
me han apoyado
y contribuido con mucho
cariño a lo largo de mi
carrera universitaria.
Y a Dios por no abandonarme y guiarme
por el camino correcto.

María Gabriela

Agradecimientos:

A la Universidad Internacional SEK, en especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental por haberme brindado una correcta y excelente formación académica.

Un muy sincero reconocimiento al Ingeniero Kléber Machado por su valiosa contribución como Director de tesis, por su constante enseñanza y por confiar en mí.

A la Ingeniera Katty Coral y al Doctor Carlos Ordóñez por su apoyo y asesoramiento en la elaboración de este proyecto y fundamentalmente por haberme manifestado su amistad en el transcurso de la carrera

A Lilian Godoy, por su amistad, su paciencia, dedicación y ayuda.

Un agradecimiento muy especial a la empresa JABONERÍA WILSON S. A. por la valiosa oportunidad y las facilidades prestadas para la elaboración del presente trabajo.

A mis Padres y mi hermana, porque sin sus palabras de aliento y apoyo no hubiera salido adelante como lo he hecho hasta ahora.

A mis compañeros y amigos que de una u otra forma me apoyaron, y colaboraron desinteresadamente durante estos cinco años, en especial a María José Mancheno J. por ser mi compañera de fórmula en este proyecto.

Y a Dios y la naturaleza por enseñarme que es única y no renovable, que si no la protegemos, nos quedaremos sin lugar para vivir.

RESUMEN

En este trabajo se realizaron pruebas, a nivel de laboratorio, de los procesos de tratamiento factibles para la eliminación de los detergentes, con el fin de reducir los parámetros de la demanda química de oxígeno DQO y la demanda bioquímica de oxígeno DBO en las aguas residuales provenientes de los procesos de producción de ácido sulfúrico y sulfonados de la industria productora de detergentes de uso doméstico e industrial: “Jabonería Wilson S.A.”.

Mediante las pruebas realizadas, se comprobó la factibilidad de diseñar una planta de tratamiento, para que las aguas residuales descargadas al alcantarillado público, cumplan con los parámetros establecidos en las Ordenanzas Municipales vigentes.

El proceso seleccionado tiene como fundamento la eliminación de los detergentes mediante precipitación catiónica, utilizando “cal” como agente aglomerante, obteniendo así la reducción de aproximadamente un 87% en la presencia de detergentes, en un 89% la DQO y casi el 100% de la DBO.

ABSTRACT

In this work it was carried out tests at laboratory level of the feasible treatment processes for the elimination of the detergents with the purpose of reducing the parameters of the chemical demand of oxygen CDO and the biochemical demand of oxygen BDO in waste waters coming from the production processes of sulfuric acid and sulfonated of the domestic and industrial detergents industry “Jabonería Wilson S.A.”.

By means of the realized tests, it was proven the feasibility of designing a treatment plant so that the waste waters discharged to the public sewer system fulfill the parameters settled down in the effective Municipal Ordinances.

The selected process eliminate detergents by means of cationic precipitation using "lime" obtaining this way a reduction of approximately 87% the presence of detergents, in 89% the chemical demand of oxygen and almost 100% of the biochemical demand of oxygen.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio trata del diseño de un sistema de tratamiento para eliminar la presencia de detergentes, que causa altas concentraciones en los parámetros DQO y DBO, en el agua residual industrial proveniente de los procesos de producción de ácido sulfúrico y sulfonados.

El estudio consta de diez capítulos:

El primer capítulo, expone la descripción de la industria, sus productos y materias primas utilizadas para su elaboración, la descripción de los procesos de producción mediante diagramas de flujo y la generación de residuos; sólidos, gaseosos y líquidos, puntualizando en el sistema de depuración de gases, formados por óxidos de azufre y dodecibenceno sin reaccionar en los procesos de sulfuración y sulfonación; que es donde se generan las aguas residuales.

El segundo capítulo del estudio trata de la caracterización de las aguas residuales y la determinación de su nivel de contaminación, enfatizando en los parámetros fuera de la norma.

En el tercero, se estudian brevemente los tipos de tratamientos en la gestión de las aguas residuales y se resumen los procesos de tratamiento factibles para la depuración de los parámetros a tratarse.

En el cuarto, se realizan pruebas a nivel de laboratorio de aquellos procesos técnica y económicamente factibles para la aplicación en la industria, seleccionando aquellos que lograron cumplir con los objetivos del estudio estructurándolos en el diagrama de flujo cualitativo de la planta de tratamiento, y además se describe su fundamento.

En el quinto, se exponen los parámetros necesarios para el diseño de los equipos que formarán parte de la planta de tratamiento y también el

balance de materia en cada equipo, resumiéndolos en el diagrama de flujo cuantitativo de la planta de tratamiento.

En el sexto capítulo, se realizan los cálculos para el diseño de cada uno de los equipos a partir de los parámetros y variables; para posteriormente en el séptimo, presentar los planos de cada uno de los equipos.

El octavo capítulo, comprende los análisis de las aguas después del tratamiento a nivel de laboratorio, presentando además, el nivel de eficiencia del sistema en cuanto a reducción de los parámetros de descarga como sólidos suspendidos, aceites y grasas, DQO y DBO; y la reducción de las sustancias de interés sanitario como los detergentes.

En el noveno capítulo se incluye el presupuesto para la construcción de la planta de tratamiento.

En el décimo y último capítulo, se encuentran plasmadas las conclusiones originadas a partir de los resultados de este estudio y las recomendaciones propuestas para que la industria considere la prevención y el control de la contaminación ambiental de mejor manera y pueda evitar la generación innecesaria de residuos.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DE LA INDUSTRIA

Jabonería Wilson S.A., es una empresa nacional que elabora una gama de productos detergentes de uso doméstico, para la satisfacción del mercado ecuatoriano y en los últimos años, exporta a Colombia y Perú. Además, se autoprovee de materias primas como: ácido sulfúrico, ácido sulfónico y carbonato de calcio.

La planta industrial de Jabonería Wilson S.A. se encuentra ubicada en la intersección de las Avenidas 6 de Diciembre y de los Granados desde 1945, en el sector del Inca, antiguo sector industrial de la ciudad de Quito. Sus instalaciones industriales se encuentran divididas en las siguientes secciones de producción:

- Planta de sulfonación y ácido sulfúrico
- Detergentes en barra
- Detergentes en crema
- Detergentes líquidos
- Planta de carbonato de calcio
- Laboratorio de análisis químico y control de calidad
- Bodegas de materia prima, embalaje y de producto terminado

La planta de sulfonación y ácido sulfúrico trabaja todo el año, con tres turnos diarios los siete días de la semana; el resto de la planta trabaja en un turno de 8 horas los 5 días de la semana.

1.1. Productos y Materias Primas.

Los productos de la Planta de sulfonación y ácido sulfúrico son tres:

- Sulfonado ramificado
- Sulfonado lineal
- Ácido Sulfúrico

Para cuya elaboración se utiliza, azufre sólido, dodecibenceno ramificado y dodecibenceno lineal.

Los productos de la sección de Detergentes en barra son

- Macho azul
- Macho blanco
- Doble rendimiento
- Arrancagrasa

Los productos de la sección de detergente en crema y líquido son:

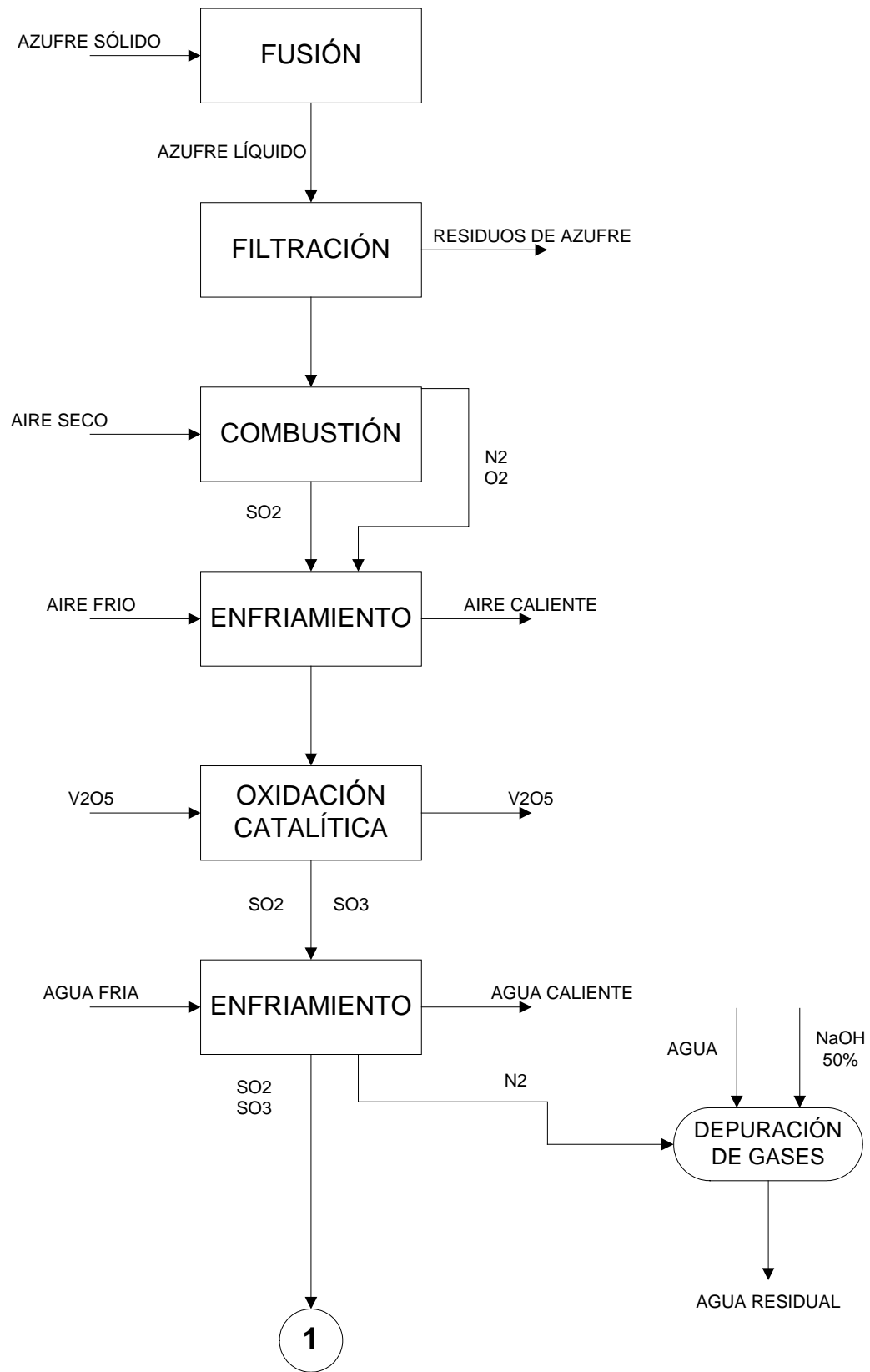
- Lavavajillas Lava verde
- Lavavajillas Lava rosado
- Detergente CIERTO

Debido a la confidencialidad de las fórmulas de fabricación de todos los productos mencionados anteriormente; las cantidades de materia prima utilizadas para su fabricación no fueron proporcionadas por la empresa.

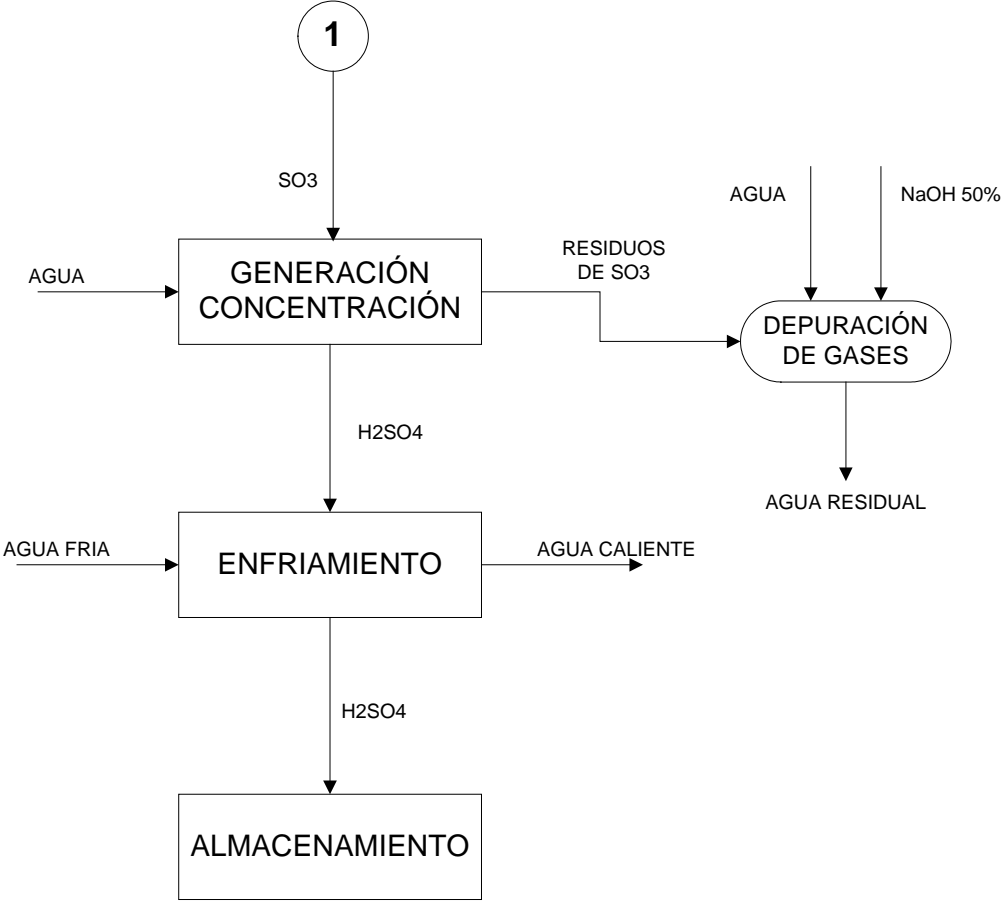
1.2. Procesos de Producción.

Los procesos de producción de ácido sulfúrico y sulfonados se describen en los siguientes diagramas de flujo proporcionados por la empresa:

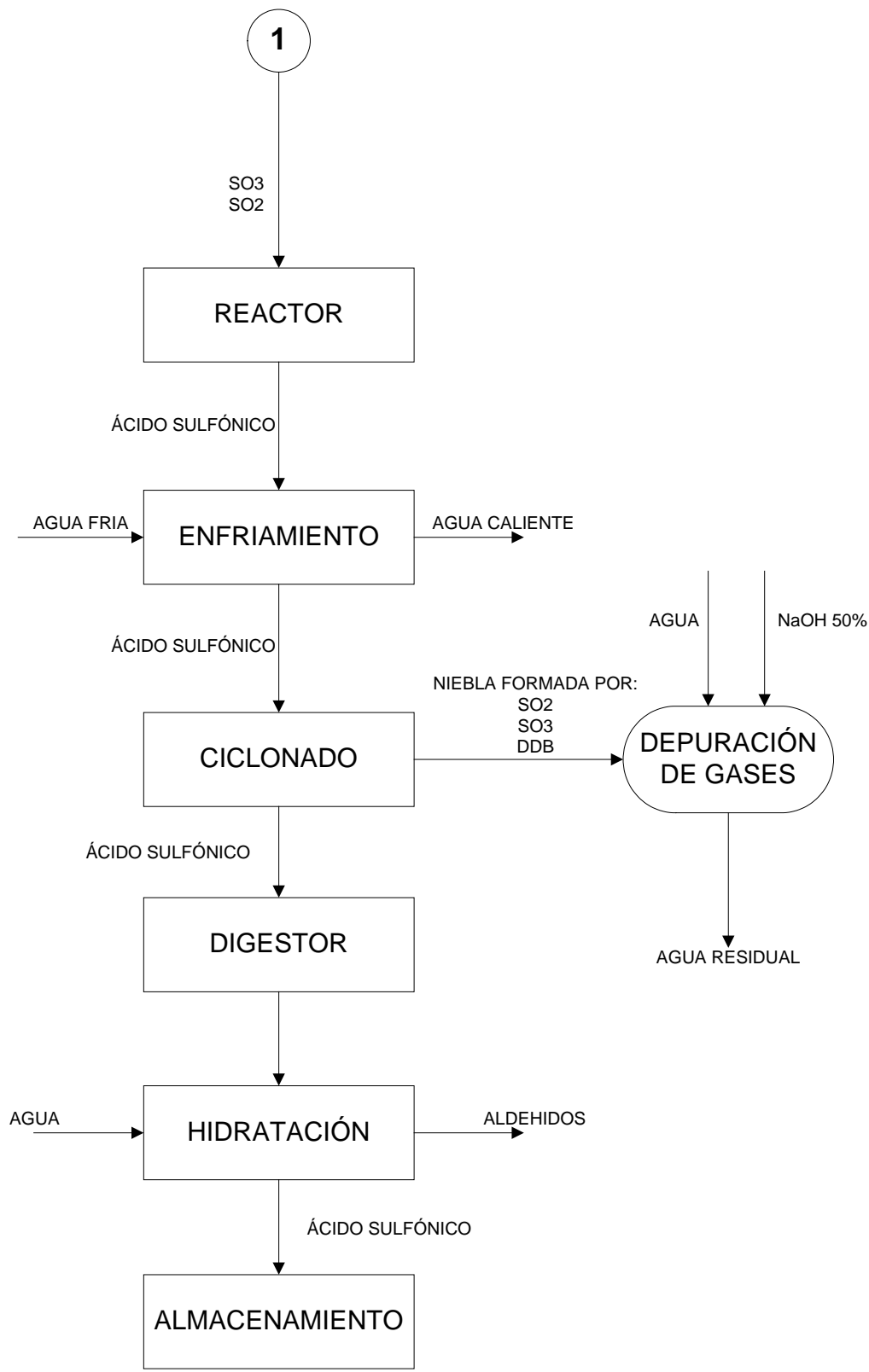
1.2.1 Producción de SO₃



1.2.2. Ácido Sulfúrico



1.2.3. Producción de Ácido Sulfónico o Sulfonados



1.3. Generación y Depuración de Residuos

La planta de ácido sulfúrico y sulfónico, presentaba problemas ambientales por la emisión primaria de una niebla finamente pulverizada formada por óxidos de azufre (SO_2 y SO_3), y dodecibenceno, que no reaccionan en los procesos de sulfuración y sulfonación.

Esta emisión ha sido controlada con la instalación de un depurador húmedo alcalino de dos etapas, la primera neutraliza los residuos de SO_2 y SO_3 mediante la transformación a sulfatos por la acción de una solución acuosa de sosa cáustica, y la segunda, provista de placas cercanas entre si a fin de producir mayor contacto del gas con las aguas alcalinas, con lo que se consigue la neutralización y separación de los residuos de ácido sulfúrico, dodecibenceno y ácido sulfónico que son arrastrados por el agua.

Los efluentes líquidos residuales generados principalmente en la depuración de las emisiones gaseosas, así como del lavado de los equipos y maquinarias; son actualmente sometidos a neutralización antes de ser descargados al alcantarillado público, considerando este tratamiento insuficiente debido a su carga contaminante, descrita en la caracterización realizada en el siguiente capítulo.

La política de la empresa considera la prevención y el control de la contaminación ambiental, por lo que ha manifestado su interés para la realización de los estudios de diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales industriales, el que, permita que el efluente descargado al alcantarillado público, cumpla con las normas municipales y nacionales referidas al tema.

Las secciones de elaboración de los distintos productos detergentes genera principalmente residuos sólidos como los desperdicios de materia prima y los residuos del producto mismo en la dosificación, mezcla, envasado, extrusión, etc.

Al momento no se realiza ningún tipo de control para evitar la generación en exceso de estos residuos, que únicamente son almacenados para su reutilización.

La sección de producción de Carbonato de Calcio genera también residuos de tipo sólido como el polvo residual de los procesos de limpieza, trituración, molienda, etc.

Para el control de estos residuos, la empresa ha implementado un filtro de marca WAMAIR, obteniendo una magnífica eficiencia de remoción de partículas de diámetros inferiores a 0,5 mm.

CAPITULO II

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para el muestreo de las aguas residuales de la planta se utilizó el procedimiento de “muestreo compuesto” durante las 12 horas en que se llena el tanque de homogenización antes de ser descargado a la alcantarilla.

La caracterización de las aguas residuales se realizó por separado dependiendo del proceso de producción en el que se encontraba la planta al momento del muestreo.

Para obtener datos representativos se realizaron 7 muestreos en cada proceso.

Los métodos utilizados para la caracterización de las aguas se encuentran en el ANEXO No. 1 y la normativa ambiental del Municipio de Quito, se encuentra en el ANEXO No. 2.

2.1. Caracterización de las aguas provenientes del proceso de producción de ácido sulfúrico.

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	MIN	MAX	PROM
PH insitu		5 - 9	5,7	6	6,66	6,66	7,5	7,1	6,8	5,7	7,5	6,63
Temperatura	°C	< 40	22	24	23	20,6	18,6	18,6	17	17	24	20,54
PH laboratorio			5,75	6,25	6,68	6,6	7,74	7,12	6,86	5,75	7,74	6,71
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	2	2	2	0,2	2,5	5	0,3	0,2	5	2
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	227	72	458	205	102	97	181	72	458	191,72
Turbidez	FTU	----	200	130	303	198	87	117	169	87	303	172
Detergentes	mg/l	0,5	762	3114	260	140	200	210	48	48	3114	676,29
Aceites y Grasas	mg/l	50	30	126,8	3980	900	330	630	50	30	3980	863,83
Sulfatos	mg/l	----	2150	1200	1800	22000	1180	4500	5000	1180	22000	5404,26
Hierro	mg/l	----	1,6	9,3	12,1	16,4	7,4	11,6	22	1,6	22	11,49
Fosfatos	mg/l	----	2,2	10	15,3	18,2	8,2	10,5	25	2,2	25	12,77
Cloruros	mg/l	----	6	30	110	220	50	88	420	6	420	132
DQO	mg/l	500	1730	1932	6630	5018	463	1438	551	463	6630	2537,43
DBO ₅	mg/l	250	631		893	906	307	375	367	307	906	579,83

Análisis de Metales Pesados

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	M5	M6
Cinc	mg/l	2	0,32	0,15
Cobre	mg/l	1	0,15	0,19
Niquel	mg/l	2	0,63	0,12
Plomo	mg/l	0,5	0,252	0,185
Cadmio	mg/l	0,02	0,0156	0,0156

* Los valores norma fueron obtenidos de la “Ordenanza Municipal para la Prevención y Control de la Contaminación producida por Descargas Líquidas” (RO No. 74)

2.2. Caracterización de las aguas provenientes del proceso de producción de sulfonados.

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	MIN	MAX	PROM
pH insitu		5 - 9	10	11	9,45	9,4	12,08	11,3	11,7	9,4	12,08	10,70
Temperatura	°C	< 40	20	22	20,6	21,6	17	17	17	17	22	19,31
pH laboratorio			10,1	11,1	9,53	8,9	12,1	11,33	11,75	8,9	12,1	10,69
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	2	3	0,2	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	3	0,94
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	200	199	104	169	119	120	217	104	217	161,14
Turbidez	FTU	----	220	302	137	148	164	157	217	137	302	192,14
Detergentes	mg/l	0,5	2100	1385	192	1570	2170	850	1455	192	2170	1388,86
Aceites y Grasas	mg/l	50	50	238,8	75	560	5	24,4	111	5	560	152,03
Sulfatos	mg/l	----	1800	4200	6400	4800	2800	1300	1600	1300	6400	3271,43
Hierro	mg/l	----	20	11	45	4,5	20	3,5	52	3,5	52	22,29
Fosfatos	mg/l	----	88	18	117	10	92	10	126	10	126	65,86
Cloruros	mg/l	----	110	115	130	110	135	135	135	110	135	124,29
DQO	mg/l	500	4429	4900	1235	3783	3822	2573	4687	1235	4900	3632,71
DBO ₅	mg/l	250	1142	317	334	1184	690	383	690	317	1184	677,14

Análisis de Metales Pesados

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	M4	M5
Cinc	mg/l	2	0,05	0,28
Cobre	mg/l	1	0,01	0,01
Niquel	mg/l	2	0,25	0,09
Plomo	mg/l	0,5	0,146	0,209
Cadmio	mg/l	0,02	0,0146	0,0146

* Los valores norma fueron obtenidos de la “Ordenanza Municipal para la Prevención y Control de la Contaminación producida por Descargas Líquidas” (RO No. 74)

2.3. Identificación de los parámetros a tratar

En los siguientes cuadros se presentan aquellos parámetros que se encuentran fuera de norma y necesitan tratamiento.

2.3.1. De las aguas del proceso de sulfuración

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	VALOR
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	227
Detergentes	mg/l	0,5	762
Aceites y Grasas	mg/l	50	126,8
DQO	mg/l	500	1932
DBO	mg/l	250	650

2.3.2. De las aguas del proceso de sulfonación

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	VALOR
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	217
Detergentes	mg/l	0,5	1455
Aceites y Grasas	mg/l	50	111
DQO	mg/l	500	4687
DBO	mg/l	250	690

CAPITULO III.

ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

La gestión de las aguas residuales ha definido los procesos de tratamiento de éstas, en tres principales:

- Tratamientos primarios: Operaciones unitarias en las que predominan los fenómenos físicos.
- Tratamientos secundarios: Procesos unitarios en los que predominan las reacciones químicas y biológicas, empleados en su mayoría para la eliminación de materia orgánica.
- Tratamientos terciarios: Conocidos también como avanzados, compuestos por procesos unitarios complejos y de tecnología específica para la eliminación de ciertos componentes, cuya depuración con tratamientos secundarios no es significativa.

(Metcalf & Eddy, 1995)

De conformidad con los cuadros 2.3.1 y 2.3.2 presentados en el capítulo anterior, es necesario dar tratamiento al agua residual para aquellos parámetros que se encuentran fuera norma, y que al final de una serie de procesos de depuración, cumplan con ésta.

En la siguiente tabla se encuentran los posibles procesos de depuración que se podrían dar al agua residual para reducir dichos parámetros.

3.1. Procesos de Depuración

		PARAMETROS A TRATAR				
TRATAMIENTOS		SÓLIDOS SUSPENDIDOS	DETERGENTES	GRASAS Y ACEITES	DQO	DBO
PRE TRATAMIENTOS	DESBASTES					
	TRAMPA DE GRASAS					
TRATAMIENTOS PRIMARIOS	SEDIMENTADOR					
	CUAGULACION					
	FLOCULACION					
	AIREACION					
	PRECIPITACIÓN QUÍMICA					
	FILTRACIÓN					
	ADSORCIÓN					
TRATAMIENTOS TERCIARIOS	INTERCAMBIO IÓNICO					

CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL

Después del análisis de los procesos posibles de depuración de las aguas residuales para reducir los parámetros ya mencionados, se realizaron varias pruebas a nivel de laboratorio para escoger el proceso que logre cumplir con los objetivos de este estudio y además aquel que sea técnica y económicamente factible para la implementación en la empresa.

El primer ensayo realizado fue el de *coagulación* mediante la “Prueba de Jarras”.

Los resultados obtenidos se presentan en las tablas del ANEXO No. 3, mientras que en la tabla siguiente se resumen los parámetros óptimos de funcionamiento para la coagulación y la concentración de los parámetros después de aplicado el tratamiento, con lo que se concluyó que éste proceso no es el adecuado para la remoción de las altas concentraciones de DQO y DBO.

PARAMETROS ÓPTIMOS DE FUNCIONAMIENTO	COAGULANTE: Al ₂ (SO ₄) ₃ (ppm)	600
	pH	7
	TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	20
	AGITACIÓN LENTA (RPM)	60
	TIEMPO DE AGITACIÓN (min)	20
	AGITACIÓN RÁPIDA (RPM)	120
	REPOSO(min)	30
PARAMETROS DESPUES DEL TRATAMIENTO	SS (mg/l)	3,5
	Turb (FTU)	13,5
	Detergentes (mg/l)	-----
	DQO (mg/l)	3660
	DBO (mg/l)	630

La presencia de Aceites y Grasas en el agua residual, obligó a pretratar el agua mediante una “trampa de grasas”, y a pesar de que éste es un parámetro que causa altas concentraciones de DQO y DBO, no se logró reducir eficazmente los valores de estos; por lo que se concluyó que la una de las principales causas de estas altas concentraciones se debe a la abundante presencia de Detergentes.

La tabla a continuación presenta los resultados obtenidos después de realizar esta prueba.

	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DETERGENTES (mg/l)
ANTES DEL TRATAMIENTO	690	4687	1455
DESPUES DEL TRATAMIENTO	420	3865	-----

Al no obtener resultados significativos con las pruebas anteriores, se procedió a escoger otro tipo de tratamiento para lograr disminuir los Detergentes, los que según la bibliografía, se reducen aplicando los siguientes métodos:

- Oxidación con catalizadores
- Precipitación por agentes catiónicos
- Eliminación mediante coagulantes
- Adsorción sobre carbón activado
- Eliminación por intercambiadores iónicos
- Eliminación formando espumas
- Eliminación mediante biodegradación

(Seoanez Mariano, 1998)

Se escogieron los siguientes métodos por ser aquellos que técnica y económicamente pueden ser aplicados a nivel industrial y no representan mayor inversión:

- Oxidación con catalizadores
- Eliminación formando espumas
- Precipitación por agentes catiónicos

El tercer ensayo efectuado fue el de *oxidación fuerte* con “Peróxido de Hidrógeno”, obteniendo poca eficiencia en la reducción de la DQO y la DBO. Al mismo tiempo se realizaron pruebas de burbujeo con aire para formar espumas, sin tener resultados eficientes.

El siguiente cuadro presenta los resultados obtenidos posteriores al tratamiento.

H2O2 (ml)	pH	DQO (mg/l)
15	5	963
15	4,51	1807

El cuarto ensayo ejecutado fue el de *precipitación química* con “Cal”.

El ensayo se realizó tanto con Óxido de Calcio como con cementina, empleando un tiempo de agitación de 15 minutos a aproximadamente 120rpm (revoluciones por minuto); logrando así resultados muy óptimos como se presentan en el cuadro a continuación.

Precipitación con Óxido de Calcio en 500ml de muestra

CaO (g)	DQO (mg/l)	Detergentes (mg/l)
5	562	-----
10	531	-----
25	520	-----
50	398	125

Prueba con cementina en 1000ml de agua residual

Ca(OH) ₂ (g)	DQO (mg/l)	Detergentes (mg/l)
60	408	112
100	395	141
120	480	154
120	563	-----

Una vez realizado el ensayo de precipitación con Cal, se intentó nuevamente con la *oxidación con H₂O₂*, pero esta vez se realizaron pruebas en presencia de catalizadores.

Se utilizaron dos diferentes catalizadores, “Sulfato de Cobre” y “Sulfato de Manganeso”, logrando una escasa variación de los resultados en comparación a aquellos obtenidos solamente con precipitación.

Oxidación con Sulfato de Manganeso

Ca(OH) ₂ (g)	H ₂ O ₂ (ml)	MnSO ₄ (g)	DQO (mg/l)	Detergentes (mg/l)
60	10	0,5	490	105
100	10	0,5	430	98

Oxidación con Sulfato de Cobre

Ca(OH) ₂ (g)	H ₂ O ₂ (ml)	CuSO ₄ (g)	DQO (mg/l)	Detergentes (mg/l)
60	10	0,5	396	85
60	0	0,5	381	75

Los resultados de todas las pruebas realizadas se presentan además en el cuadro comparativo a continuación:

	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DETERGENTES (mg/l)
AGUA RESIDUAL A TRATARSE	690	4687	1455
DESPUÉS TRAMPA DE GRASA	420	3865	-----

AGUA RESIDUAL A TRATARSE DESPUÉS DE LA TRAMPA DE GRASAS

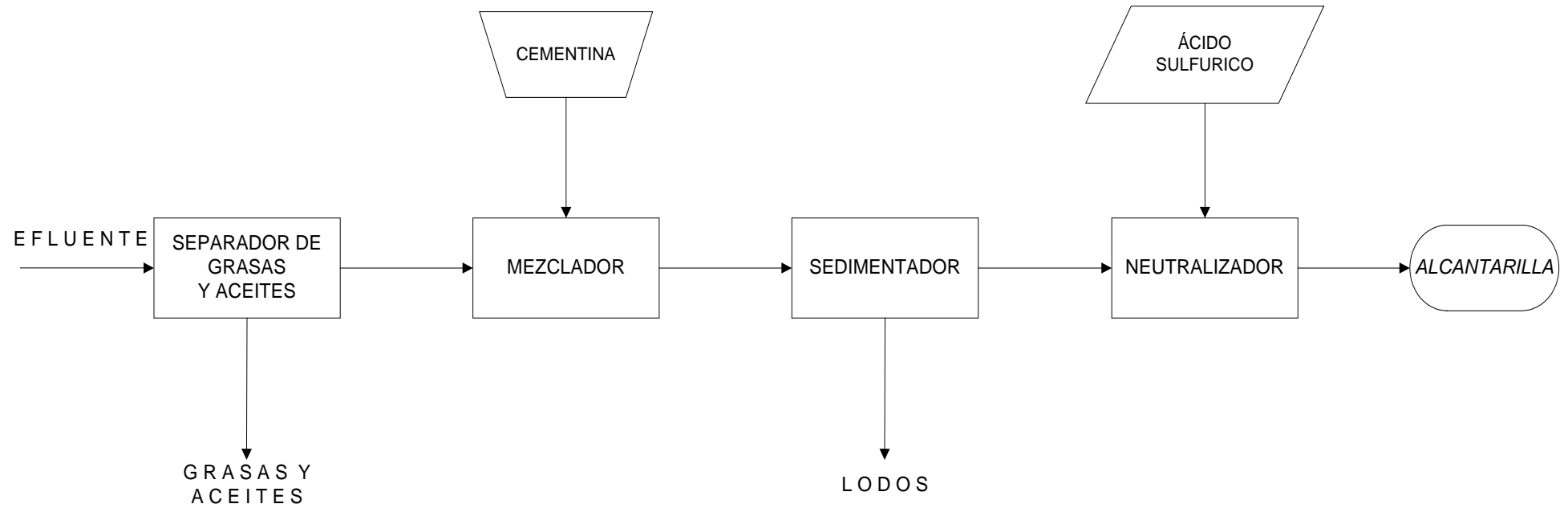
TRATAMIENTO	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DETERGENTES (mg/l)
COAGULACION	630	3660	-----
BURBUJEO	600	4317	-----
OXIDACION CON H ₂ O ₂	366	1807	-----
PRECIPITACION CON OXIDO DE CAL	0	408	125
PRECIPITACION CON CEMENTINA	0	475	178
SOBRENADANTE PRECIP. + OXIDAC.(MnSO ₄)	0	413	145
SOBRENADANTE PRECIP. + OXIDAC.(CuSO ₄)	0	391	95

Los resultados obtenidos al término de las pruebas y la comparación realizada en el cuadro anterior, permiten seleccionar aquellos procesos que formarán parte de la planta de tratamiento.

4.1. Selección de los procesos de depuración factibles técnica y económicamente.

Una vez finalizadas las pruebas a nivel de laboratorio de los procesos de depuración factibles para la eliminación de detergentes y la reducción de la DQO y la DBO; y, según los resultados obtenidos, se seleccionó cuatro procesos de tratamiento primario aquellos que van a formar parte de la planta de tratamiento, estableciéndolos en el siguiente diagrama de flujo:

4.1.1. Diagrama Cualitativo de la Planta de Tratamiento



4.2. Descripción de los procesos seleccionados

4.2.1. Desengrasado

El desengrasado se puede realizar de manera *estática*, mediante un separador o trampa, cuyo fundamento es la diferencia de densidades existente entre el agua y la grasa, necesitando tiempos de retención altos para recoger el sobrenadante en la parte superior; o mediante la *introducción de aire* con el objetivo de desemulsionar las grasas para conseguir su mejor flotación.

(Jácome Alfredo, 2000)

4.2.2. Mezclado

Este proceso se realiza para efectuar la mezcla, tanto de sustancias químicas, como de sustancias acomplejantes, con el agua residual para eliminar ciertas características indeseables en las aguas, como partículas de cierto tamaño con propiedades y sus cargas eléctricas que impiden su sedimentación por gravedad.

La mezcla es generalmente provocada por un motor provisto de agitadores de paletas, que son más eficientes cuando se trata de un proceso de transferencia de materia en sistemas heterogéneos.

La agitación es necesaria para destruir la estabilidad coloidal, provocando con el mezclado, el choque entre partículas, que luego se sedimentarán.

(Brown, George. et al, 1965)

4.2.3. Sedimentación o Decantación primaria

Su objetivo principal es la reducción de sólidos en suspensión de las aguas residuales bajo acción de la gravedad exclusivamente, obteniendo así un efluente clarificado. Mediante esta operación los rendimientos de eliminación de sólidos suspendidos son del 50 al 70%, y del 30 al 40% de eliminación de materia orgánica. Se realiza en tanques o clarificadores sean

rectangulares o circulares, los que se eligen dependiendo del tamaño de la instalación.

(Metcalf & Eddy, 1995)

4.2.4. Neutralización de pH

Los efluentes industriales alcalinos comúnmente se neutralizan usando el burbujeo de gases de combustión o utilizando bombas dosificadoras de ácidos, para los efluentes ácidos se dosifica goteando bases. Si se tiene residuos ácidos y cáusticos, estos se pueden mezclar neutralizándose mutuamente.

(Kiely, 1999)

CAPITULO V.

PARÁMETROS DE DISEÑO

5.1. Determinación de las variables y parámetros de diseño de los equipos.

Los equipos se diseñarán y construirán de acuerdo con el proceso de tratamiento seleccionado y descrito en el diagrama de flujo 4.1.1.

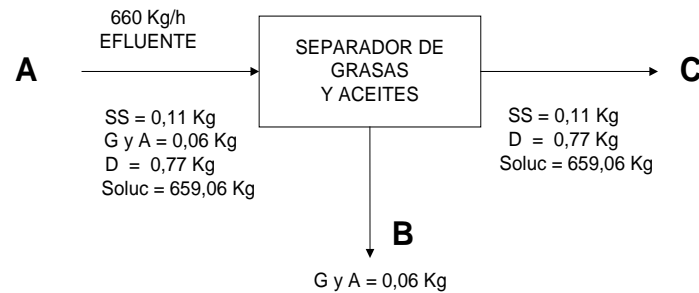
En el diseño de cada equipo, es necesario conocer una serie de parámetros y variables que se resumen en el siguiente cuadro:

OPERACIÓN	EQUIPO	VARIABLES DE DISEÑO
Eliminación de Grasas y Aceites	Separador	Caudal volumétrico de entrada Composición del efluente Tiempo de retención
Precipitación Catiónica	Tanque Mezclador	Caudal másico de entrada al tanque Composición del efluente de entrada Tiempo de mezcla Velocidad de agitación
Sedimentación	Sedimentador	Caudal másico de entrada al sedimentador Composición del efluente de entrada Tiempo de retención Carga superficial
Neutralización	Tanque Neutralizador	Caudal másico de entrada al tanque pH de entrada

5.2. Balance de materiales.

El Balance de materiales se realiza para tener conocimiento de la cantidad de materia que entra y sale de un sistema

5.2.1. Balance de Materiales en el Separador de Grasas y Aceites.



5.2.1.1. Datos

Densidad del Agua Residual (δ) = 1,25 Kg/l

Caudal Volumétrico máximo (Q) = 527 l/h

Composición del efluente:

- Sólidos Suspendidos (SS) = 217 mg/l
- Grasas y Aceites (G y A) = 111 mg/l
- Detergentes = 1455 mg/l

5.2.1.2. Cálculos

Caudal másico (Qm) = Q x δ

$$Q_m = 527 \text{ l/h} \times 1,25 \text{ Kg/l}$$

$$Q_m = 658,8 \text{ Kg/h} \approx 660 \text{ Kg/h}$$

$$SS = 217 \text{ mg/l} \times 527 \text{ l/h}$$

$$SS = 114359 \text{ mg/h} \left| \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right| \left| \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right| = 0,11 \text{ Kg/h}$$

$$G \text{ y } A = 111 \text{ mg/l} \times 527 \text{ l/h}$$

$$G \text{ y } A = 58497 \text{ mg/h} \left| \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right| \left| \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right| = 0,06 \text{ Kg/h}$$

$$D = 1455 \text{ mg/l} \times 527 \text{ l/h}$$

$$D = 766785 \text{ mg/h} \quad \left| \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right| \left| \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \right| = 0,77 \text{ Kg/h}$$

$$Q_m - [\text{Kg SS} + \text{Kg G y A} + \text{Kg D}] = \text{Kg Solución}$$

$$660 - [0,11 + 0,06 + 0,77] = 659,06 \text{ Kg Solución}$$

5.2.1.3. Balance

BASE DE CÁLCULO = 1 hora

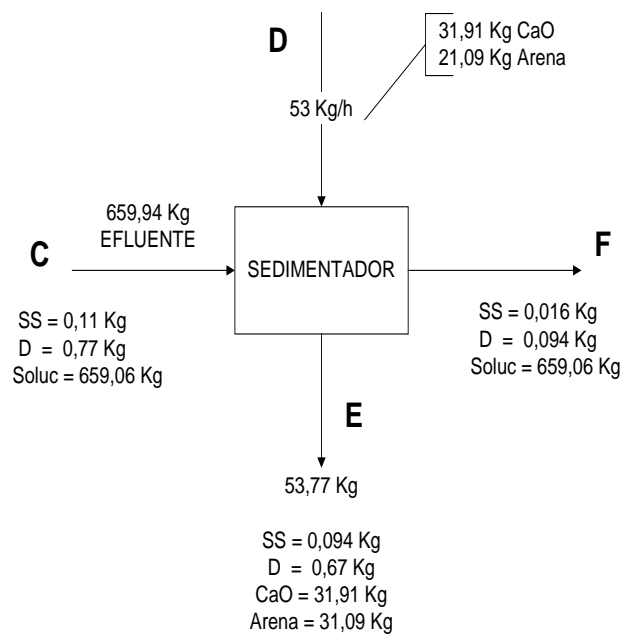
ECUACIÓN DE BALANCE: $A + C = B$

$$C = A - B$$

$$C = 660 \text{ Kg} - 0,06 \text{ Kg}$$

$$C = 659,94 \text{ Kg}$$

5.2.2. Balance de Materiales en el Sedimentador



5.2.2.1. Datos

Caudal másico de entrada del efluente (Q_m) = 659,94 Kg/h

Composición del efluente:

- Sólidos Suspendidos (SS) = 0,11 Kg
- Detergentes = 0,77 Kg
- Solución = 659,06 Kg

Caudal másico de entrada de cementina = 53 Kg/h

Composición de cada gramo de cementina :

- Óxido de Calcio (CaO) = 0,602 g \approx 60,2%
- Arena = 0,398 g \approx 39,8%

Composición de los 53 Kg de cementina:

- Óxido de Calcio (CaO) = 31,91 Kg
- Arena = 21,09 Kg

Composición del efluente a la salida:

- Sólidos Suspendidos (SS) = 30mg/l
- Detergentes = 178mg/l

5.2.2.2. Cálculos

$$SS = 30 \text{ mg/l} \times 527 \text{ l/h}$$

$$SS = 15810 \text{ mg/h} \quad \left| \begin{array}{c|c} 1 \text{ g} & 1 \text{ Kg} \\ \hline 1000 \text{ mg} & 1000 \text{ g} \end{array} \right| = 0,016 \text{ Kg/h}$$

$$SS \text{ entrada} - SS \text{ salida} = SS \text{ lodos}$$

$$0,11 \text{ Kg} - 0,016 \text{ Kg} = 0,094 \text{ Kg}$$

$$D = 178 \text{ mg/l} \times 527 \text{ l/h}$$

$$D = 93806 \text{ mg/h} \quad \left| \begin{array}{c|c} 1 \text{ g} & 1 \text{ Kg} \\ \hline 1000 \text{ mg} & 1000 \text{ g} \end{array} \right| = 0,094 \text{ Kg/h}$$

$$D \text{ entrada} - D \text{ salida} = D \text{ lodos}$$

$$0,77 \text{ Kg} - 0,094 \text{ Kg} = 0,676 \text{ Kg}$$

5.2.2.3. Balance

BASE DE CÁLCULO = 1 hora

ECUACIÓN DE BALANCE: $C + D = E + F$

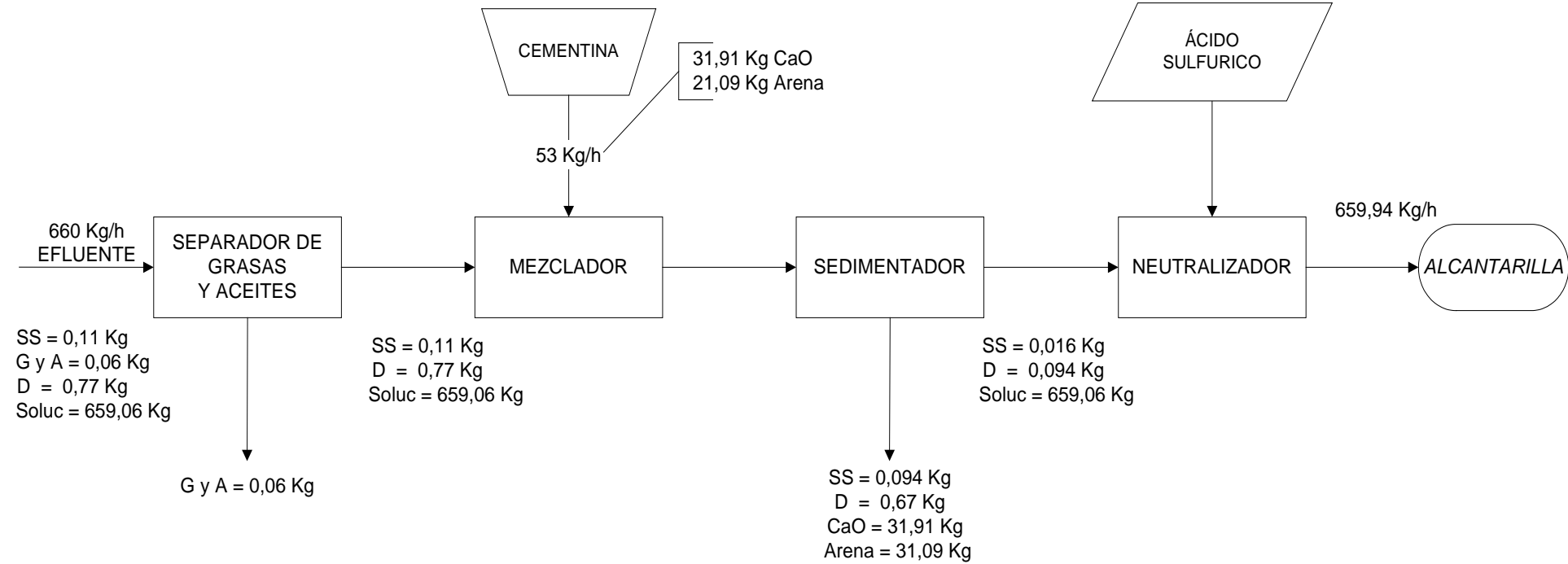
$$F = C + D - E$$

$$F = 659,94 \text{ Kg} + 53 \text{ Kg} - 53,77 \text{ Kg}$$

$$F = 659,17 \text{ Kg}$$

En el siguiente diagrama de flujo se indican cada uno de los procesos de tratamiento con sus respectivas entradas y salidas de materia; cantidad de efluente que ingresa y sale del sistema y su composición obtenida a través de los balances de materia realizados.

5.3. Diagrama Cuantitativo de la Planta de Tratamiento

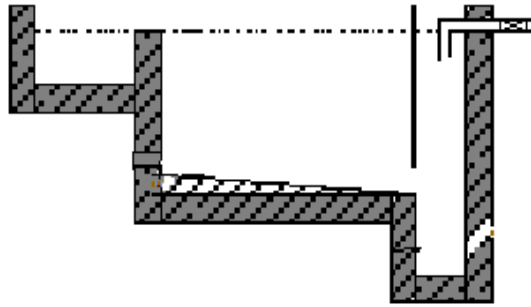


CAPITULO VI

CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

6.1. Cálculo y diseño de los equipos empleados en el tratamiento.

6.2.1. Separador de Grasas y Aceites



6.2.1.1. Parámetros de diseño

Para el diseño del separador de grasas y aceites se tomaron como referencia los parámetros descritos en el libro de Mario Somaruga, 1964:

- Altura mínima = 0,5 m
- Ancho mínimo = 0,5 m
- Largo = variable
- Altura mínima del deflector = 0,10m desde el fondo del separador
- Descarga del agua tratada = 0,05 m bajo el nivel de entrada del agua

6.2.1.2. Diseño

Caudal a tratar (Q_t) = 527 l/h

$$V_t = 527 \text{ l/h} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right| = 0,527 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{x 20\% factor de seguridad} = 0,65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Volumen separador (V_s) = Q_t x tiempo retención (t_r)

$$V_s = 0,65 \text{ m}^3/\text{h} \times 30 \text{ min} \left| \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right| = 0,33 \text{ m}^3$$

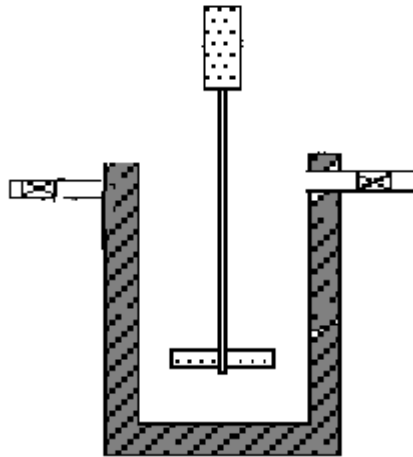
$V_s = A \times h$ Asumir la altura mínima (h) = 0,5 m

$$A = \frac{V_s}{h} = \frac{0,33}{0,5} = 0,66 \text{ m}^2$$

$$A = l \times a \quad \text{Asumir el ancho mínimo } (a) = 0,5 \text{ m}$$

$$l = \frac{A}{a} = \frac{0,66}{0,5} = 1,32 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$$

6.2.2. Tanque Mezclador



6.2.2.1. Parámetros de diseño

Para el diseño del tanque mezclador se usó como referencia los parámetros expuestos en el libro de Alfredo Jácome, 2000

- Altura mínima = 1 m
- Diámetro = calcular

Además, se toma en cuenta el tiempo y la velocidad de agitación resultantes de las pruebas de laboratorio.

- Tiempo de agitación = 10 min
- Velocidad de agitación = 120rpm

6.2.2.2. Diseño

Caudal a tratar (Q_t) = 527 l/h

$$V_t = 527 \text{ l/h} \left| \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \right| = 0,527 \text{ m}^3/\text{h} \quad \times 20\% \text{ factor de seguridad} = 0,65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Volumen ocupado por 53 Kg de cementina $\approx 106 \text{ l} = 0,106 \text{ m}^3$

Caudal total a tratar (Q_{t_t}) = $0,65 + 0,106 = 0,76 \text{ m}^3/\text{h}$

Volumen tanque (V_m) = $Q_{t_t} \times \text{tiempo de agitación } (t_a)$

$$V_m = 0,65 \text{ m}^3 \times 10 \text{ min} \left| \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \right| = 0,13 \text{ m}^3$$

$V_m = A \times h$ Asumir una altura (h) de 1 m

$$A = \frac{V_m}{h} = \frac{0,13}{1} = 0,13 \text{ m}^2$$

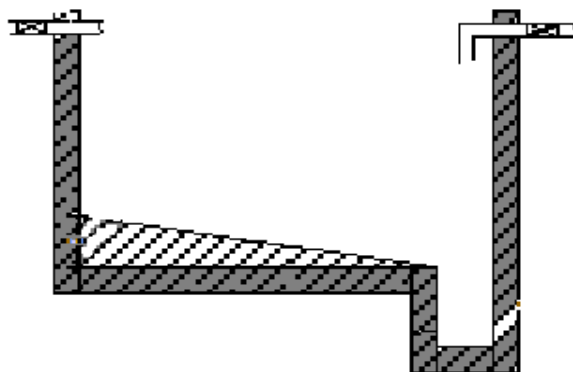
$$A = \frac{\Pi \times D^2}{4}$$

$$D = (4 \times A / \Pi)^{1/2} = [(4 \times 0,13) / \Pi]^{1/2} = 0,41 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

6.2.3. Tanque contenedor de cementina

Considerándose que es un almacenamiento de cementina a utilizarse en el proceso, no requiere de un diseño específico; por lo que se adquirirá un tanque.

6.2.4. Sedimentador



6.2.2.1. Parámetros de diseño

El sedimentador se diseñó en forma rectangular para flujo horizontal.

El diseño del sedimentador se basó en los parámetros descritos por Alfredo Jácome, 2000.

- Tiempo mínimo de retención = 1.5 horas
- Relación l/a = 1.5 m

6.2.2.2. Diseño

Caudal a tratar (Q_t) = 0,76 m³/h

Volumen del sedimentador (V_{sd}) = Q_t x tiempo de retención (t_r)

$$V_{sd} = 0,76 \text{ m}^3/\text{h} \times 2 \text{ horas} = 1,52 \text{ m}^3$$

Tomar relación l/a = 0,5

$l = 1,5 a$ Asumir un ancho (a) de 1 m

$$l = 1,5 \times (1) = 1,5 \text{ m}$$

$$A = l \times a$$

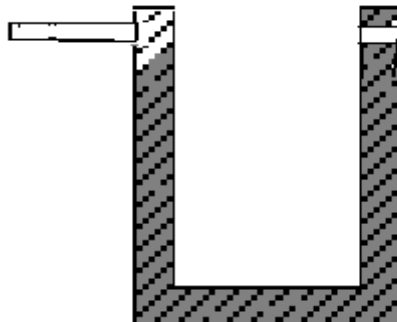
$$A = 1,5 \times 1$$

$$A = 1,5 \text{ m}^2$$

$$V_s = A \times h$$

$$h = \frac{V_s}{A} = \frac{1,52}{1,5} = 1,01 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

6.2.5. Neutralizador



Se propone usar para este fin, el tanque que actualmente utiliza la empresa como de almacenamiento, homogenización y neutralización, manejando el sistema de ajuste de pH que se emplea al momento.

Las dimensiones proporcionadas por la empresa son:

Diámetro del tanque = 2,4 m

Altura del tanque = 2,2 m

Volumen ocupado por cementina = 0,106 m³ salen en forma de lodos; por lo tanto:

Caudal total a tratar (Q_{t_t}) = 0,76 - 0,106 = 0,65 m³/h

Este tanque esta provisto de una bomba de 5 HP de potencia con la que se evacua el caudal total de la planta al alcantarillado público; por lo tanto se propone acumular el efluente tratado en este tanque para su posterior neutralización con Ácido Sulfúrico, materia prima que dispone la empresa; y evacuar el efluente a la alcantarilla cumpliendo con las normas vigentes establecidas por el Municipio Metropolitano de Quito.

CAPITULO VII

ELABORACIÓN DE PLANOS

7.1. Equipos

(Ver archivo correspondiente en formato AUTOCAD 2000)

CAPITULO VIII

ANÁLISIS DE LAS AGUAS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO A NIVEL DE LABORATORIO.

Una vez realizadas las pruebas definitivas para la obtención de los parámetros óptimos en el tratamiento de los efluentes, se analizaron aquellos parámetros de interés para el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto.

Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente cuadro comparativo:

8.1. Aguas Provenientes del Proceso de Producción de Ácido Sulfúrico

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	ANTES TRATAMIENTO	DESPUES TRATAMIENTO
pH		5 - 9	5,7	7
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	5	0,2
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	227	35
Turbidez	FTU	----	200	28
Detergentes	mg/l	0,5	762	112
Aceites y Grasas	mg/l	50	126,8	0
DQO	mg/l	500	1932	220
DBO ₅	mg/l	250	650	0

* El Valor Norma se obtuvo del Registro Oficial No. 74 del 10 de mayo del 2000

8.2. Aguas Provenientes del Proceso de Producción de Sulfonados

PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA	ANTES TRATAMIENTO	DESPUES TRATAMIENTO
pH		5 - 9	12,08	7
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	5	0,2
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	217	30
Turbidez	FTU	----	217	28
Detergentes	mg/l	0,5	1455	178
Aceites y Grasas	mg/l	50	111	0
DQO	mg/l	500	4687	475
DBO ₅	mg/l	250	690	0

* El Valor Norma se obtuvo del Registro Oficial No. 74 del 10 de mayo del 2000

CAPITULO IX.

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN

TRAMPA DE GRASAS

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	TOTAL
Excavación	m3	2,40	2,90	6,96
Desalojo	m3	3,0	3,55	10,65
Encofrado	m2	12,50	11,93	149,13
Hormigón Simple	m3	0,61	128,97	78,93
Acero de Refuerzo	Kg	170	0,64	108,80
Macillado	m2	1,40	4,60	6,44
Tubería PVC 2"	m	1	1,75	1,75
Tubería PVC 4"	m	4	3,32	13,28
Tubería PVC 6"	m	1	4,60	4,60
Valvula de compuerta 2"	u	1	20,50	20,50
Valvula de compuerta 4"	u	1	37,00	37,00
Caja de Válvulas	u	1	16,00	16,00
Plancha de Asbesto - Cemento	u	1,00	5,86	5,86
TOTAL				459,89

MEZCLADOR

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	TOTAL
Tanque cilindrico de chapa de acero e = 3mm con soldadura de cordón	u	1	370,00	370,00
Motor 3/4HP	u	1	110,00	110,00
Agitador de paletas planas incluido eje	u	1	90,00	90,00
TOTAL				570,00

SEDIMENTADOR

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	TOTAL
Excavación	M3	4,00	2,90	11,60
Desalojo	m3	5,0	3,55	17,75
Encofrado	m2	16,50	11,93	196,85
Hormigón Simple	m3	1,30	128,97	167,66
Acero de Refuerzo	Kg	220	0,64	140,80
Macillado	m2	2,04	4,60	9,38
Tubería PVC 4"	m	3	3,32	9,96
Tubería PVC 8"	m	1	9,60	9,60
Compuerta metálica con vástagos y volante	u	1	170,00	170,00
TOTAL				733,60

RESUMEN

EQUIPO	TOTAL
TRAMPA DE GRASAS	459,89
MEZCLADOR	570,00
SEDIMENTADO	733,60
GRAN TOTAL	1.763,49

Para los tanques recolectores de grasas y tanques de almacenamiento de cementina se reutilizarán los envases plásticos de 55 galones de los productos que se importan.

Los costos unitarios se refieren a los “Rubros Referenciales” de la Cámara de la Construcción de Quito con la fecha de Julio del 2002.

CAPITULO X.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Conclusiones

10.1.2. De los Procesos de Producción

1. Las emisiones gaseosas derivadas de los procesos de producción de sulfonados y ácido sulfúrico, están controladas eficientemente mediante el sistema de lavado húmedo, lo que permite minimizarlas, sin embargo, el análisis físico químico de las aguas residuales que provienen de este sistema y se depositan en el tanque de acumulación, permite concluir que determinados parámetros requeridos por el Municipio superan la Norma.
2. Las operaciones de carga de materia prima en los equipos de elaboración de algunos de los productos detergentes es manual, lo que origina derrames en el piso que son lavados con manguera constituyendo un desperdicio para la empresa e incrementando la cantidad de agua residual.
3. La generación de aguas residuales además de provenir del desborde del tanque del sistema de depuración de gases, también proceden del lavado de los equipos, maquinarias y pisos, así como del derrame de aguas de la torre de enfriamiento de SO_3 , H_2SO_4 y ácido sulfónico.
4. El sistema de evacuación de las aguas residuales está compuesto por canales cubiertos de rejillas que las conducen a un tanque de acumulación donde se realiza la neutralización previa a la descarga al sistema de alcantarillado municipal.
5. Los derrames de materia prima, permiten concluir que la concentración de grasas y aceites se debe casi exclusivamente a dicho

problema. Además de constituir un desperdicio innecesario de materia prima, causa la inconstancia de este parámetro.

6. El tanque de acumulación de los efluentes residuales se encuentra prácticamente desprotegido de las agua lluvias, por lo que éstas aumentan la cantidad de efluente provocando derrames no controlados.
7. Cuando se realiza el cambio en la producción, de sulfonación a sulfuración o viceversa, se efectúa el lavado de los equipos, lo que provoca el incremento de aceites, grasas y sólidos en suspensión en las aguas residuales. Esto se debe posiblemente a los aceites de lubricación de los equipos y residuos de la combustión respectivamente.

10.1.2. Del Análisis de Laboratorio

1. El nivel de concentración de sulfatos es elevado, tanto cuando se efectúa la sulfuración, como cuando se realiza la sulfonación; su presencia podría ser causa de eutrofización de cauces de agua, especialmente aquellos sin dinámica, e inclusive, puede ser la causa principal del deterioro del sistema de desague de la planta.
2. Las concentraciones de parámetros como fosfatos, cloruros, y hierro, son moderadamente altas, y posiblemente se deben al agua que se utiliza en la producción, que proviene del pozo perteneciente a la empresa.
3. Los valores de DQO y DBO₅ obtenidos en los análisis, cuando se produce ácido sulfúrico no son tan elevados como cuando se fabrica sulfonados, esto se debe a la presencia en mayor concentración de detergentes, que necesitan de oxígeno para degradarse.

4. La materia grasa flotante ajena a las características normales del agua residual, en su mayoría es el “componente activo del detergente en crema”, obliga a implementar un sistema que permita detenerlo antes del ingreso a la planta de depuración, en el caso que este se derrame.
5. Después de un estudio detallado realizado en la “Prueba de Jarras”, el proceso de tratamiento conocido como “coagulación y floculación”, fue descartado; ya que, no cumplía con los objetivos planteados en el presente proyecto de reducir la DQO y la DBO₅; tanto para las aguas provenientes de la sulfuración como de la sulfonación.
6. La prueba de Jarras realizada para las aguas de sulfonación presentó significativas diferencias con la efectuada para las aguas de sulfuración, ya que el floculante utilizado, “sulfato de aluminio”, presentaba una reacción de precipitación con algunos de los componentes del agua, que según los análisis y la bibliografía, son los fosfatos; y, por esta razón, se utilizó Cloruro Férrico.
7. Debido a que la “coagulación y floculación” no reducían las altas concentraciones de DQO y la DBO₅, pero sí los sólidos suspendidos y turbidez; se concluyó que los detergentes son la causa principal de dichas concentraciones.
8. Una vez que se descartó el uso de la “coagulación y floculación” como proceso de tratamiento principal del sistema de depuración, se realizaron pruebas de “precipitación catiónica”; ya que este redujo las concentraciones de DQO y la DBO₅ aproximadamente en un 89% y 100% respectivamente; además de un 87% de la concentración de detergentes.

9. Las concentraciones de DQO y DBO₅ se reducen debido a que la cal actúa como agente aglomerante de los detergentes, que necesitan de oxígeno para degradarse y son los causantes de las altas concentraciones de estos parámetros.
10. Las pruebas de precipitación catiónica se realizaron con “cal”, tanto en forma de Óxido de Calcio o cal viva, como en forma de Hidróxido de Calcio o cal apagada; dando resultados más eficientes la aplicación de cal viva.
11. Debido a que la cal viva es difícil de encontrar en el mercado, las pruebas a nivel de laboratorio fueron realizadas con “cementina”, que contiene aproximadamente un 60% de Óxido de Calcio y un 40% de Arena; por lo tanto, el sistema de depuración diseñado utiliza también cementina como agente aglomerante.
12. Las pruebas de oxidación química en presencia de catalizadores fueron también descartadas para utilizarse como proceso de tratamiento, ya que la reducción de detergentes, DQO y DBO₅ no es significativa en comparación con los resultados obtenidos solo con la precipitación. Además, los precios en el mercado para la adquisición de los químicos, Peróxido de Hidrógeno y el Sulfato de Manganeso y de Cobre, son muy altos si se van a utilizar a nivel industrial.
13. Por otro lado, el uso de dichos catalizadores en este tipo de aguas con alta concentración de detergentes y además en presencia de Peróxido de Hidrógeno, generan una reacción muy efervescente, lo que causa la generación excesiva de espumas, por esto se vería necesario el diseño de tanques demasiado profundos y con la precaución de recolectar las espumas en otros compartimentos.

10.2. Recomendaciones

10.2.1. De los Procesos de Producción

1. Los derrames ocasionales de materia prima causaron serios problemas al momento del muestreo para su análisis físico químico, por lo que es necesario un estricto control y mantenimiento de las válvulas de paso de la misma; así como también la toma de conciencia por parte de los operarios.
2. Además de los procedimientos de control, estos derrames pueden ser controlados aún más eficazmente si se implementa un mejor sistema de alimentación a los reactores de dosificación y mezcla de materias primas, en especial para el detergente en crema.
3. En el caso de que sigan sucediendo los derrames de materia prima se podría intentar la limpieza en seco, en la medida que sea posible, usando espátulas, palas u otros dispositivos adecuados. Si esto no es posible, se recomienda lavar los pisos y paredes con agua a presión, para así disminuir la cantidad de agua utilizada y conducirla también a la planta de depuración.
4. La trampa de grasas está diseñada de tal manera que permitiría retener, tanto materia prima derramada y de limpieza, y las provenientes de los procesos de producción.
5. La trampa de grasa del sistema de depuración, puede servir a su vez, como trampa de espumas, lo que permitiría reducir un porcentaje de detergentes presentes en las aguas residuales, lo que implicaría a su vez una reducción de los niveles de DQO.

6. Se recomienda reemplazar la forma manual de ajuste de pH en el tanque neutralizador, por un sistema dosificador de ácido sulfúrico, que no necesita de un diseño específico, puede usarse un recipiente de acero inoxidable; y para la dosificación del ácido sería necesario adaptar dispensador del mismo material con válvula tipo aguja.

10.2.2. Del Análisis de laboratorio

1. La concentración de sulfatos en las aguas residuales es bastante elevada, sin embargo, al ser un parámetro que no se encuentra normado dentro de las Ordenanzas Municipales, es preocupación de este sistema de tratamiento.
2. Para estar seguros de la procedencia de fosfatos, cloruros, hierro y otros nutrientes, se recomienda realizar un análisis de las aguas del pozo para la producción.
3. Aunque no se realizaron análisis de las aguas del pozo, se recomienda implementar un sistema de tratamiento de éstas antes que ingresen al proceso de producción, así se podría evitar una serie de problemas que se manifiestan por la presencia de materia orgánica, fosfatos, cloruros, hierro, etc.
4. Las pruebas realizadas a nivel de laboratorio de la “precipitación catiónica” para la obtención de los parámetros óptimos de funcionamiento fueron realizadas con cementina, por ser de fácil acceso en el mercado; sin embargo, se puede sustituir ésta por “cal viva”, ya que a nivel industrial podría no ser tan difícil de obtener.

BIBLIOGRAFIA

- Brown, George. Et al. (1965) OPERACIONES BÁSICAS DE LA INGENIERÍA QUÍMICA. Primera Edición. Editorial Marín, S.A. Barcelona- España. Pág. 528-535.
- Jácome Burgos, Alfredo. (2000) TECNICAS DE DEPURACIÓN DE AGUAS. Universidad de Coruña y Universidad de Cantabria, España. Seminario realizado en la Universidad Internacional SEK del 30 de octubre al 10 de noviembre del 2000. Programa de Intercambio de Profesores financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional.
- Kemmer, Frank. McCallion, John. (1995). NALCO, MANUAL DEL AGUA. Tomo I. Editorial McGraw Hill. México – México. Pág. 8.1-12.1, Sección 2.
- Kemmer, Frank. McCallion, John. (1995). NALCO, MANUAL DEL AGUA. Tomo II. Editorial McGraw Hill. México – México. Pág. 13.1-17.1, Sección 2.
- Kiely, Gerard. (1999). INGENIERIA AMBIENTAL: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Volumen II. Primera Edición. Editorial McGraw Hill. Madrid – España. Pág. 612-629, 652-657,
- Metcalf & Eddy INC. (1995). INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. Volumen I. Tercera Edición. Editorial McGraw Hill. Madrid – España. Pág. 53-103, 221-283, 343-377.

- Metcalf & Eddy INC. (1995). INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. Volumen II. Tercera Edición. Editorial McGraw Hill. Madrid – España. Pág. 507-584, 603-729, 753-782.
- Rigola Lapeña, Miguel. (1999) TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES: Aguas de Proceso y Residuales. Primera Edición. Editorial Alfa – Omega. México – México. Pág. 51-58, 76, 137-141.
- Seoanez Calvo, Mariano (1998). ECOLOGÍA INDUSTRIAL: Ingeniería Medio Ambiental aplicada a la Industria y a la Empresa. Segunda Edición. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid – España. Pág. 182-183.
- Snoeyink, Vernon. Jenkins, David. (1990) QUÍMICA DEL AGUA. Segunda Edición. Editorial Limusa. México – México. Pág. 242-243, 273-303.
- Somaruga, Mario (1964). CURSO PRÁCTICO DE OBRAS SANITARIAS DOMICILIARIAS. Cuarta Edición. Editorial Construcciones Sudamericana. Buenos Aires – Argentina. Pág. 83-84.
- www.tanswer.cl/ta/tag.htm
- www.acsmediambiente.com
- www.tenoch.pquim.unam.mx/academico/ingamb/caract.htm
- www.usach.cl/ima/givovic.htm
- www.roth-spain.com/roth_5.htm#grasa