

**OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
INDUSTRIALES PARA SU REUSO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA
INDUSTRIA DE JABONES.**

DIANA CONSTANZA CÁRDENAS CASTAÑEDA 41021044

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.
2008**

**OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
INDUSTRIALES PARA SU REUSO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA
INDUSTRIA DE JABONES.**

DIANA CONSTANZA CÁRDENAS CASTAÑEDA 41021044

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

Director

ROBERTO BALDA AYALA

Ing. de Alimentos – Magíster en Ingeniería Sanitaria

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ D.C.**

2008

“Ni la Universidad, ni el Asesor, ni el Director, ni el Jurado calificador son responsables de las ideas y conceptos expuestos por el autor”.

Reglamento estudiantil, Universidad De La Salle.

Nota de aceptación

Decano

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Agosto 11 de 2008

Los sueños son la brújula que nos marca el camino que debemos seguir y las metas que queremos alcanzar. Nos impulsan, nos fortalecen y nos permiten crecer, por tal motivo dedico este trabajo de grado, en primer lugar a Dios, quien me ha acompañado a lo largo de mi vida; y permitirme alcanzar esta meta de ser profesional, por darme la fortaleza y serenidad en los momentos difíciles para continuar adelante sin desfallecer.

A mi mamá y mi papá, por sus buenos consejos en aquellos momentos en los cuales me sentí decepcionada porque las cosas no salían como lo esperaba, pues gracias a su paciencia, ayuda, motivación y compañía, logre culminar esta etapa de mi vida, ustedes se merecen la misma alegría que siento en este momento tan grato, este trabajo es para ustedes, por su esfuerzo en verme convertida en una profesional.

A mi novio Pablo, por acompañarme, brindarme su amor, y darme su apoyo, ayuda y motivación en todo momento.

A mi tío Andrés por su ayuda y colaboración en este proyecto.

A mi familia por el gran interés y apoyo en cada uno de los momentos difíciles.

A mi abuelita Inés Cárdenas y mi abuelito Gerardo Castañeda (papi), que desde el cielo me cuidan para que todo me salga excelente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado fue posible gracias al apoyo y colaboración del ingeniero Roberto Balda, del ingeniero Alejandro merino, y el Cuerpo de directivos de la empresa de jabones AZULK S.A. por haber permitido el desarrollo y finalización del proyecto.

De igual forma quiero agradecerles a los operarios de AZULK S.A., en especial a Ricardo Camacho operario de la PTAR, por permitir y colaborar en las diferentes actividades programadas durante el tiempo de realización de éste proyecto.

Al profesor Alejandro Parra, por su valiosa ayuda en el desarrollo de la evaluación económica del proyecto.

A Jennifer Rojas, por su apoyo incondicional y sus aportes en el proyecto.

A la Universidad de la Salle, por todos los aportes y enseñanzas en mi desarrollo profesional.

Finalmente aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente proyecto.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	22
OBJETIVOS.....	23
1. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	24
1.1. COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	24
1.1.1. Tipos de contaminación.	25
1.1.2. Contaminantes habituales en las aguas residuales de las industrias del jabón.	25
1.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	27
2. IMPLICACIONES DEL REUSO DEL AGUA.	34
2.1. IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN Y REUSO DEL AGUA.....	34
2.2. APLICACIONES DE LAS AGUAS RESIDUALES RECUPERADAS.....	35
2.2.1. Principales usos del agua en la industria.	35
2.3. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	35
2.3.1. Bases de la planificación.	36
2.3.2. Otros factores que afectan a la planificación.....	39
3. GENERALIDADES Y PROCESOS DE LA EMPRESA DE JABONES AZULK S.A.	40
3.1. GENERALIDADES DE AZULK S.A.	40
3.2. PROCESO INDUSTRIAL EN AZULK S.A.	43
3.2.1. Producción de jabón Azul.....	44
3.2.2. Producción de jabón Blanco	47
3.2.3. Producción de jabón tocador.	49
3.2.4. Producción de glicerina.	51
3.2.5. Producción de Limpiador Líquido.	53
3.2.6. Producción de crema lava loza.....	53

4. ESTUDIO HIDRICO EN AZULK S.A.	55
4.1. MATERIA PRIMA RECIBIDA Y TRANSFORMADA	55
4.2. CONSUMO DE AGUA	57
4.3. EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES	59
4.3.1 Fuentes generadoras de agua residual industrial en AzulK S.A.	60
4.3.2. Balance de aguas.	63
4.3.2.1 Balance de masa en el proceso del secado del jabón	65
4.3.2.2 Balance de masa para la producción de glicerina.	66
4.3.2.3. Agua total que se desecha de los procesos productivos	69
4.3.2.4. Agua total que se desecha en las diferentes zonas de producción	70
4.3.2.5. Ingreso de aguas residuales industriales mensualmente a la PTAR	70
4.3.3 Características del agua residual en los procesos industriales de AZULK	70
4.3.4. Caracterizaciones.	73
4.3.4.1. Primera campaña de caracterización en el agua residual de AZULK S.A.	73
4.3.4.2. Segunda campaña de caracterización en AZULK S.A.	76
5. DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y OPERATIVO DE LA PTAR EN AZULK S.A.	78
5.1. GENERALIDADES DE LA PTAR	78
5.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	79
5.2.1 BALANCE DE CARGAS	82
5.2.2. Tratamiento Preliminar.	83
5.2.3 Tratamiento Primario	90
5.2.3.1. Dosificación de productos químicos	94
5.2.4. Tratamiento Secundario.	96
5.2.5. Tratamiento Terciario	103
6. PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE OPTIMIZACIÓN	108
6.1. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN	108
6.2. OPTIMIZACIÓN DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE LA PTAR DE AZULK S.A.	109
6.3. USOS POSIBLES DEL AGUA TRATADA EN LA PTAR	116
6.4. ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA EL REUSO DEL EFLUENTE	119
6.4.1. Ensayos de tratabilidad a nivel laboratorio.	122

6.4.2 Costos operativos de cada alternativa	131
6.4.3. Costos de mantenimiento y equipos.	133
6.4.4. Costos de personal.....	134
6.5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO ADECUADA PARA EL REUSO.....	134
7. EVALUACION ECONOMICA.	142
7.1. COSTOS E INVERSION	142
7.2. BENEFICIOS.....	142
7.3. RELACION BENEFICIO/ COSTO.	142
8. CONCLUSIONES	144
9. RECOMENDACIONES	146
BIBLIOGRAFIA	146

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de sistemas de tratamiento de efluentes industriales.....	28
Figura 2. Consideraciones básicas en la producción del jabón	41
Figura 3. Consideraciones básicas en la producción la glicerina, limpiador líquido y crema lava loza.....	42
Figura 4 .Diagrama del proceso de producción de jabón azul de AZUL K S.A.....	46
Figura 5. Diagrama del proceso de producción de jabón blanco de AZUL K S.A.	48
Figura 6. Diagrama del proceso de producción de jabón tocador de AZUL K S.A.	50
Figura 7. Diagrama del proceso de Producción de glicerina de AZUL K S.A.	52
Figura 8. Diagrama del proceso de Producción de Limpiador Líquido de AZULK S.A.	53
Figura 9. Diagrama del proceso de Producción de crema lava loza de AZUL K S.A.	54
Figura 10. Recepción de materia prima	55
Figura 11. Consumo de agua en AZULK S.A.	58
Figura 12.Gráfica de distribución porcentual de consumos de agua en m ³ / mes en AZULK S.A.	59
Figura 13. Efluentes de diferentes puntos de proceso.....	59
Figura 14. Generación de agua en los procesos de producción m ³ /mes en AZULK	61
Figura 15. Desarrollo del balance y agua total captada en la PTAR.....	64
Figura 16. Corrientes de entrada y salida del área de secado.....	65
Figura 17. Corrientes de entrada y salida del área de producción de glicerina en la primera evaporación.	66

Figura 18. Corrientes de entrada y salida del área de producción de glicerina en la segunda evaporación.....	67
Figura 19. Corrientes de entrada y salida del área de destilación.	68
Figura 20. Características del agua residual proveniente de la producción de jabones.	71
Figura 21. Características del agua residual proveniente de la producción de glicerina.	71
Figura 22. Características del agua residual proveniente de la producción de crema lava loza.....	72
Figura 23. Características del agua residual proveniente de la producción de crema limpiador liquido	72
Figura 24. Comportamiento de la DBO y DQO en los diferentes puntos de muestreo.....	75
Figura 25. Comportamiento de la temperatura en los diferentes puntos de muestreo.....	76
Figura 26. Fotos de cada dispositivo de tratamiento de la PTAR de AZULK S.A. .	76
Figura 28. Dimensiones de trampa grasa PTAR.....	84
Figura 29. Dimensiones pozo de bombeo.	85
Figura 30. Comportamiento del caudal en el pozo captación PTAR.....	87
Figura 31. Dimensiones tanque de homogenización	89
Figura 32. Características del agua de entrada en el homogenizador (DBO, DQO) en AzulK.	90
Figura 33. Características de la tubería de coagulación.	91
Figura 34. Dimensiones tanque de floculación.	92
Figura 35. Dimensiones tanque clarificador.....	95
Figura 36. Dimensiones del tratamiento de lodos activados en AZULK S.A.....	98
Figura 37. Sedimentabilidad del lodo en función de A/M.	101
Figura 38. Dimensiones de los filtros	104
Figura 39. Características de la cloración.....	106

Figura 40. Filtro prensa	106
Figura 41. Comportamiento del caudal en cada uno de los dispositivos de la PTAR.	107
Figura 42. Tratamiento con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ como agente oxidante.....	120
Figura 43. Tratamiento con H_2O_2 como agente oxidante.	121
Figura 44. Tratamiento con sistema DAF.	122
Figura 45. Proceso del <i>DAF</i> universidad La Salle.....	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Componentes del tratamiento preliminar.	28
Tabla 2. Componentes del tratamiento primario.	30
Tabla 3. Componentes del tratamiento secundario.....	32
Tabla 4. Componentes del tratamiento terciario o avanzado.....	33
Tabla 5. Beneficios de la conservación y reuso del agua	34
Tabla 6. Procesos en AZUL K S.A.....	43
Tabla 7. Promedio de materia prima recibida y transformada* (Jabón) en AzulK..	56
Tabla 8. Promedio de materia prima recibida y transformada (Limpiador Líquido) en AzulK.	56
Tabla 9. Promedio de materia prima recibida y transformada (Crema Lava Loza) en AZULK S.A.....	57
Tabla 10. Fuentes de vertimiento a la PTAR en AZULK S.A.	63
Tabla 11. Datos suministrados del área de secado	65
Tabla 12. Datos suministrados para la primera evaporación.	66
Tabla 13. Datos suministrados para la segunda evaporación.	67
Tabla 14. Datos suministrados en el área de destilación.....	69
Tabla 16. Calidad de agua residual AZULK 1998 Y 2008.....	78
Tabla 17. Remoción de cargas contaminantes en la PTAR de AZULK S.A.	79
Tabla 18. Comparación del agua residual de entrada a la PTAR de AZULK con la norma.....	81
Tabla 19. Remoción de grasas.	84
Tabla 20. Resultados de caracterizaciones en el pozo captación en AZULK S.A.	88
Tabla 21. Resultados de caracterizaciones del tanque homogenizador	89
Tabla 22. Comparación de los parámetros de diseño respecto a parámetros actuales.	92

Tabla 23. Informe caracterizaciones tanque floculación.	93
Tabla 24. Comparación de los parámetros de diseño respecto a parámetros actuales.	94
Tabla 25. Informe caracterizaciones del clarificador.	96
Tabla 26. Resultados de caracterizaciones del tratamiento biológico AZULK	97
Tabla 27. Parámetros operación actuales tratamiento de lodos activados.	99
Tabla 28. Parámetros de diseño y condiciones del sedimentador en AZULK. S.A.	103
Tabla 29. Resultados de Caracterizaciones en los filtros.	105
Tabla 30. Comparación de los parámetros de diseño contra los parámetros actuales	105
Tabla 31. Datos de caudal en cada dispositivo de la PTAR de AZULK S.A.	107
Tabla 32. Medidas de mitigación implementadas en la planta de producción.	108
Tabla 33. Medidas de mitigación en lavados.	109
Tabla 34. Resultados de la prueba de jarras con dosis óptimas de reactivos.	110
Tabla 35. Parámetros óptimos para el tratamiento de lodos activados.....	113
Tabla 36. Resumen de parámetros operacionales actuales y de optimización. .	113
Tabla 37. Parámetros y puntos de reuso en AZULK S.A.	117
Tabla 38. Resultados del mejor ensayo de jarras.	123
Tabla 39. Ventajas y desventajas en la oxidación con hipoclorito de calcio	125
Tabla 40. Resultados del mejor ensayo de jarras.	126
Tabla 41. Ventajas y desventajas en la oxidación con peróxido de hidrógeno	127
Tabla 42. Características del DAF	128
Tabla 43. Parámetros de salida y entrada al sistema <i>DAF</i>	130
Tabla 44. Ventajas y desventajas del sistema <i>DAF</i>	131
Tabla 45. Costos operativos (reactivos) de las alternativas propuestas.	132
Tabla 46. Costos de inversión inicial del equipo y mantenimiento.	133
Tabla 47. Costos totales de las tres alternativas.....	134

Tabla 48. Calidades de agua y rendimientos de remoción obtenidos con las alternativas propuestas.	136
Tabla 49. Resumen de los parámetros de salida de las alternativas y puntos de reuso.	137
Tabla 50. Matriz de priorización: Comparación de las tres alternativas propuestas (A, B y C)	138
Tabla 51. Relación B/C.	143

LISTA DE ABREVIATURAS

A/M	Alimento
B/C	Relación beneficio - costo
COV	Carga orgánica volumétrica
DAMA	Departamento administrativo del medio ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
EAAB	Empresa de alcantarillado y acueducto de Bogotá
DAF	Difusor de aire disperso
F	Fósforo
G y A	Grasas y aceites
IVL	Índice volumétrico de lodo
NTK	Nitrógeno total Kjeldhal
OD	Oxígeno disuelto
pH	Potencial de hidrógeno
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales industriales
SAAM	Sustancias activas al azul de metileno
SST	Sólidos suspendidos totales
SS	Sólidos suspendidos
SSLM	Sólidos suspendidos en el licor de mezcla
TTO	Tratamiento
UNT	Unidades nefelométricas de turbiedad
VPN	Valor presente neto

GLOSARIO

AFLUENTE: agua residual u otro líquido que ingrese a algún proceso de tratamiento

AGUAS RESIDUALES: aguas que se producen como resultado de actividades industriales, agrícolas o urbanas. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, lo que plantea el problema de los vertidos y su tratamiento.

ALCALINIDAD: la alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos.

BIOMASA: volumen o masa total de todos los organismos vivientes de una zona particular.

CARGA ORGÁNICA: producto de la concentración de DBO o la DQO por el caudal; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

CONDUCTIVIDAD: habilidad de los iones para moverse a través de una solución, además permite determinar las variaciones de los sólidos disueltos en aguas residuales, la conductividad se da en unidades de $\mu\text{s}/\text{cm}$.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados

(generalmente cinco días y 20°C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de la materia orgánica. Generalmente es mayor que el valor de la DBO, porque suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica, ante la presencia de un oxidante fuerte como los dicromatos.

EFICIENCIA DE TRATAMIENTO: relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en un efluente para un proceso o planta de tratamiento.

EFLUENTE: la salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

ENSAYO DE TRATABILIDAD: es el estudio efectuado a nivel de laboratorio o de planta piloto, que permite establecer los procesos y operaciones adecuados para al tratamiento del agua.

FEEDWELL: En este caso se denomina *feedwell* a la tubería que alimenta al sistema de flotación *DAF*.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTAR): conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar aguas residuales.

PROCESO AEROBIO: proceso que para su desarrollo necesita de la presencia de oxígeno.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES: fracción del total de sólidos en el agua que se separan de la misma por acción de la gravedad, durante un periodo determinado y unas condiciones preestablecidas.

SÓLIDOS DISUELTOS: fracción del total de sólidos en el agua que pasan a través de un papel de filtro estandarizado. Incluyen la materia coloidal, los compuestos orgánicos solubles e inorgánicos (sales).

SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN: fracción del total de sólidos en el agua que pueden ser separados por filtración a través de un papel de filtro estandarizado. Incluyen los sólidos volátiles (materia orgánica).

TASAS RETRIBUTIVAS POR VERTIMIENTOS PUNTUALES: es aquella que cobrará la autoridad ambiental competente a las personas naturales o jurídicas de derecho público o privado por la utilización directa del recurso como receptor de vertimientos puntuales y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas, actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativos.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO: tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

VERTIMIENTO: es cualquier descarga final de un elemento, sustancia o compuesto, que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios, aguas negras o servidas, a un cuerpo de agua.

RESUMEN

Este proyecto contempló la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales para su reuso en la empresa de jabones AZULK S.A. Se llevó a cabo a través de la identificación, caracterización y la selección de la alternativa más viable, para el reuso del efluente en el proceso productivo de la empresa.

Se identificaron las fuentes de vertimiento generadas en el proceso productivo y en las diferentes áreas de AZUL K S.A. mediante un balance hídrico; luego, se tomó una muestra en cada punto de vertimiento en el proceso productivo para conocer las características con que llegaba el agua residual industrial a la PTAR, y los puntos donde se presentaba una mayor contaminación. Así mismo se procedió a realizar el diagnóstico técnico y operativo de la PTAR haciendo un seguimiento al sistema de tratamiento, por medio de caracterizaciones y un balance de cargas, con lo que se determinó, el funcionamiento y el cumplimiento frente a los parámetros de diseño y el decreto 1074 de 1997. De acuerdo al diagnóstico y al comportamiento del afluente, se plantearon diferentes alternativas de optimización, enfocadas a la planta de producción de AZULK S.A., a las operaciones unitarias de la PTAR y por último a la implementación de nuevos procesos de tratamiento, de los cuales se seleccionó uno, teniendo en cuenta ensayos de tratabilidad desarrollados a nivel laboratorio y criterios como espacio, costos, flexibilidad del sistema, generación de subproductos entre otros, los cuales ayudaron a la selección de la alternativa (*DAF*) más tratamiento biológico, la cual resultó ser la más adecuada para obtener un efluente de mejor calidad y de esta forma poder reusarlo en las diferentes etapas del proceso productivo de la empresa de jabones AZUL K S.A.

ABSTRACT

This project contemplated the optimization of the wastewater treatment plant in order to reuse the water in the company of AZUL K S.A. a soap manufacture industry, was achieved through the identification, characterization and selection of the most viable alternative for the reuse of effluent in the productive company process.

The sources of the spillage generated in the productive process and in different areas of AZUL K S.A. were identified through a water balance; then, a sample of each spot was taken in order to know the industrial waste water influent characterishis, and the spots that present greater pollution.

Likewise the diagnosis of the technical and operational WWTP was giren throughout a monitoring to the treatment system, through characterizations and a load balance, that it was determined the, performance and fulfillment with the design parameters and decree 1074 1997.

According to a diagnosis and performance of the influent, there were proposed different optimization alternatives , focused to the production plant AZUL K S.A., to the unitary operations of the WWTP, and at last to the implementation of new treatment processes, one of which was selected, taking into account treatability tests developed at the laboratory and criteria such as space, costs, flexibility of the system, products generation among others, which helped select the alternative (DAF followed by a biological system) , which proved to be the most suitable to get a better quality of the effluent and thus able to reuse at different stages of the productive process of the soap company AZUL K S.A.

INTRODUCCION

AZULK S.A. es una empresa dedicada a la manufactura y comercialización de jabones de lavandería, tocador, glicerina y productos de aseo; dentro de sus actividades productivas genera 1500 m³/mes de residuos líquidos, los cuales son conducidos hacia la PTAR; ésta fue construida y diseñada en el año 1998 para obtener eficiencias de remoción de contaminantes mayores al 85%, pero en la actualidad tan solo alcanza un 75% de remoción, debido a que la empresa ha aumentado su producción y así mismo la cantidad de agua residual, ocasionando fluctuaciones en el sistema de tratamiento, impidiendo el funcionamiento adecuado de éste. De allí se vio la necesidad de proponer una optimización y escoger una alternativa que permita reusar el efluente de la PTAR, en diferentes etapas del proceso productivo, originando un menor consumo de agua de la EAAB y por consiguiente un ahorro en el pago de tasas retributivas y en multas por incumplimiento en los parámetros de salida de vertimientos por parte de la autoridad ambiental; generando beneficios económicos sociales y ambientales para la empresa, lo cual se consiguió mediante la ejecución de las siguientes etapas: descripción del tratamiento de aguas residuales industriales de AZULK S.A., diagnóstico del comportamiento actual de la PTAR, evaluación de la capacidad instalada de la planta, alternativas de optimización en la operación, mantenimiento, diseño y reuso, y la evaluación de la alternativa escogida mediante la relación beneficio – costo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa de jabones Azulk S.A. para su reuso en el proceso productivo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los volúmenes actuales de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales y su carga contaminante.
- Diagnosticar el proceso actual de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales.
- Estudiar alternativas de reuso del efluente de la PTAR, por medio de ensayos de tratabilidad a nivel laboratorio.
- Seleccionar con criterios ingenieriles (impactos, costos, espacio, etc...) la alternativa de tratamiento que cumpla con las condiciones del efluente y de la empresa.
- Identificar la etapa del proceso productivo en la que se pueda reutilizar el agua tratada.

1. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

Las aguas residuales, son las que han perdido su calidad como resultado de su uso en diversas actividades. También se denominan vertidos. Se trata de aguas con un alto contenido en elementos contaminantes, que a su vez van a contaminar aquellos sistemas en los que son evacuadas¹. Estas aguas se pueden descontaminar por medio de tecnologías de tratamiento de bajo, medio y alto perfil según sea el caso, y de acuerdo al nivel de descontaminación logrado se puede pensar en el reuso de éste recurso².

1.1. COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO), y el pH. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La DBO5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas y el pH puede variar de 6,5 a 8,0.³

¹ Manual para la conservación y reuso del agua para la industria. Volumen 1. Colombia: 2005.

² METCALF & EDDY, Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido, y reutilización. Madrid. Editorial: Mc Graw Hill 1995. P 1288.

³ Ibid., p.24.

1.1.1. Tipos de contaminación. Se clasifican según el factor ecológico que altere, aunque suelen afectar a más de un factor.

- Contaminación física

Las sustancias que modifican factores físicos, pueden no ser tóxicas en sí mismas, pero modifican las características físicas del agua. En la industria de jabones se observa un afluente con:

- Sólidos en suspensión, turbidez y color
- Agentes tenso activos
- Temperatura
- Contaminación química
- pH
- fenoles
- Conductividad
- Nitrógeno(amoniaco, nitritos, nitratos)

Algunos efluentes de la industria del jabón cambian la concentración de los componentes químicos naturales del agua causando niveles anormales de los mismos introduciendo sustancias extrañas al medio ambiente acuático, muchos de los cuales pueden actuar en detrimento de los organismos acuáticos y de la calidad del agua en general. En este sentido es en el que puede hablarse propiamente de contaminación⁴.

1.1.2. Contaminantes habituales en las aguas residuales de las industrias del jabón⁵.

- Grasas y aceites: son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie, dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.
- Residuos con requerimiento de oxígeno: son compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que sufren fácilmente y de forma natural procesos de oxidación, que se van a llevar a cabo con un consumo de oxígeno del medio. Estas oxidaciones van a realizarse bien por vía química o bien por vía biológica.

⁴ Ibid,p.24.

⁵ Ibid,,p.24.

- Nitrógeno y fósforo: tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes.
- Color y olor : la coloración de un agua puede clasificarse en verdadera o real cuando se debe sólo a las sustancias que tiene en solución, y aparente cuando su color es debido a las sustancias que tiene en suspensión. Los colores real y aparente son casi idénticos en el agua clara y en aguas de escasa turbidez. El olor puede ser definido como el conjunto de sensaciones percibidas por el olfato al captar ciertas sustancias volátiles.
- Turbidez: la turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas. La determinación de la turbidez tiene un gran interés como parámetro de control en aguas contaminadas y residuales.
- Materia sólida: la materia sólida presente en un agua suele agruparse en tres categorías; materias decantables, materias en suspensión y residuos. Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral⁶.

La concentración de sólidos es uno de los factores limitantes principales en la reutilización de cualquier agua residual; el número de veces que un vertido se reutiliza para agua industrial está determinado por el incremento de sólidos disueltos, que solamente pueden ser eliminados por costosos tratamientos. El estudio de los contaminantes es importante para determinar la reutilización potencial de los efluentes de aguas residuales industriales. Muchas utilidades industriales necesitarán concentraciones de sólidos en suspensión de menos de 2mg/l ⁷.

- Acidez y alcalinidad: la acidez de un agua corresponde a la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles. La alcalinidad de un agua corresponde a la presencia de los bicarbonatos, carbonatos de hidróxidos.

⁶ Página web; www.quiminet.com.mx

⁷ METCALF & EDDY, Op.Cit.,p.24.

- Otros contaminantes específicos: se incluyen sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.
- Carbono orgánico total (TOC): son compuestos orgánicos fijos o volátiles, naturales o sintéticos, presentes en el agua residual⁸.

1.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La descontaminación del agua para la protección y conservación de éste recurso conlleva a una serie de tecnologías y elementos esenciales que se desarrollan mediante el estudio de experiencias e investigaciones para obtener sistemas cada vez más especializados, pero todos teniendo la autosensibilidad en la medida que se pueda.

En la fabricación del jabón, las aguas residuales se vierten en trampas de grasa con equipos de barrido superficial, donde se recuperan los ácidos flotantes grasos. Gibbs trató con éxito los residuos de plantas de jabones mediante flotación con finas burbujas de aire con un período de retención de 40 minutos. Además de la anterior idea Miguel Rigola hizo que el fango flotante fuera barrido a un tanque de recepción, desde donde era bombeado periódicamente a la planta de jabón para su reproceso o recuperación⁹.

Los detergentes se pueden eliminar por medio de absorción el cual también es un método indicado para reducir la mayor parte de la materia orgánica hasta un nivel teórico mínimo de unos 0,2 mg/l. Los métodos de lodos activados controlados y la precipitación por cal son también muy efectivos; además con un alto nivel de cloro ha sido posible eliminar muchos tipos de microorganismos provenientes del proceso de lodos activados¹⁰.

Los sistemas de tratamiento de aguas incluyen sistemas preliminares, primarios, secundarios y terciarios ó avanzados (ver figura 1). Cada uno con miras a reducir las cargas contaminantes de dichas aguas hasta cierto punto y de ahí en adelante lograr un pulimiento tal que pudieren reutilizarse para reducir el consumo del recurso¹¹.

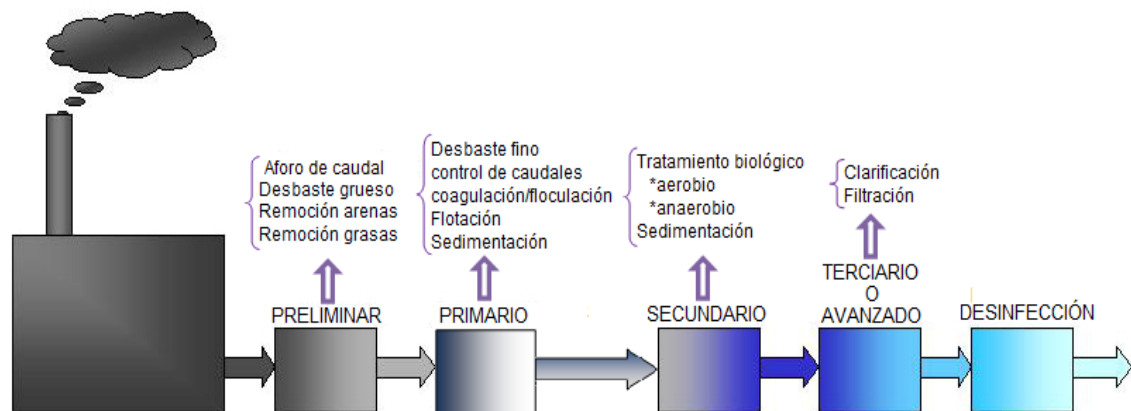
⁸ KEEMER, Frank. Manual del agua su naturaleza, tratamiento y aplicaciones, México. Editorial:Mc Graw Hill, 1979.

⁹ RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de aguas residuales industriales. Barcelona. Boixareu editores, 1989.

¹⁰ METCALF & EDDY, Op.Cit., p.27.

¹¹ BALDA AYALA, Roberto. Diseño de una guía para el registro de información técnica de visitas industriales en PTAR. Bogotá: Proyecto de investigación, 2006; p 106.

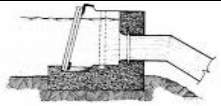






Figura 1. Diagrama de sistemas de tratamiento de efluentes industriales.



Fuente: la autora, 2007

Tabla 1. Componentes del tratamiento preliminar.





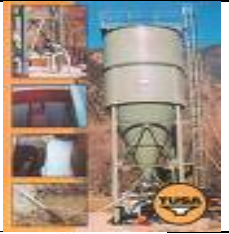
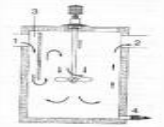

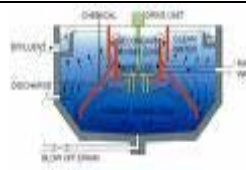
GENERALIDADES TRATAMIENTO PRELIMINAR	OPERACIÓN	OBJETIVO	UNIDAD TTO) (operaciones unitarias)	FOTO
Se emplean para reducir el contenido en sólidos gruesos y pesados y material flotante de fácil comportamiento por métodos gravitacionales (p.e. grasas no emulsionadas a remover en trampas- grasas y aceites a remover mediante desnatadores u <i>oil skimmers</i> , etc.).	IGUALACIÓN	Homogenizar el caudal y las concentraciones de contaminantes del agua para mejorar la efectividad de los procesos posteriores.	Mezcla mecánica	
			Mezcla aireada	
	DESBASTE GRUESO	Retener sólidos entre 5-10mm de diámetro para evitar posibles obstrucciones en unidades posteriores.	Grueso	
			Canastilla de sólidos	
El objetivo de un tratamiento preliminar es				

retirar del agua residual aquellos sólidos suspendidos que por su naturaleza presentan interferencias en etapas posteriores del proceso. ¹²	AFORO DE CAUDAL	Regular el caudal constante de alimentación a la PTAR	Vertedero	
			Canaleta parshall	 
			Caja reguladora de caudal.	
Consiste en la separación de sólidos tanto orgánicos como inorgánicos como plásticos, papeles, madera, arena, etc por medio de dispositivos mecánicos ó manuales como rejillas de retención de sólidos, canales de desarenado, calculados para lograr la sedimentación de las arenas.	REMOCIÓN DE ARENAS	Retirar los sólidos pesados (partículas discretas)	Desarenador convencional	
	REMOCIÓN DE GRASAS NO EMULSIONADAS	Acondicionar el agua para el tratamiento biológico y reducir cargas contaminantes por grasas	Trampa grasas	
			Desnatador (Oil skimmer)	



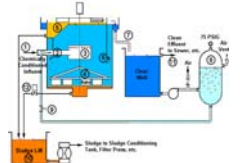

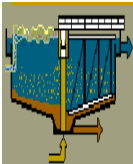



Fuente: la autora, 2007

¹² Manual para la conservación y reuso del agua para la industria. Volumen 1. Colombia: 2005.

Tabla 2. Componentes del tratamiento primario.

GENERALIDADES TRATAMIENTO PRIMARIO	OPERACIÓN	OBJETIVO	UNIDAD TTO (operaciones unitarias)	FOTO
Los tratamientos primarios ó tratamientos físico-químicos, buscan reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química. Tienen como propósito retirar sólidos suspendidos que lograron pasar el tratamiento preliminar para evitar su interferencia en el tratamiento secundario ¹³	DESBASTE FINO	Eliminación de partículas en suspensión o material particulado fino para evitar posibles obstrucciones en las unidades posteriores.	Tamiz estático	
			Tamiz rotatorio	
	CONTROL DE CAUDALES	Regular el caudal a las siguientes operaciones unitarias	Caja reguladora	
			Válvula	
			Medidor de flujo	
	COAGULACIÓN	Equilibrar las cargas eléctricas de las sustancias coloidales	Cono de mezcla	
			Mecánico	
	FLOCULACIÓN	Aglomerar las partículas coaguladas en partículas floculentas con el fin de que precipiten	Serpentín (floculador tubular)	
			Manto de lodos	

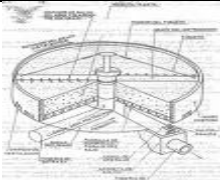




¹³ Ibid.,p.29.

<p>Para estos sistemas se requieren equipos más especializados que para los de tratamiento preliminar, como tamices de malla fina (retiene partículas menores de 3mm), unidades de coagulación/floculación y de flotación por aire disuelto o disperso y sedimentadores primarios¹⁴</p>	FLOTACION		Mecánico	
		Remover sólidos suspendidos, grasas aceites y	DAF (flotación por aire disuelto/disperso)	Aire disuelto 
				
				Aire disperso 
	SEDIMENTACION	Reducir la contaminación de sólidos suspendidos cuyo peso específico es mayor que el del agua a tratar. Reducir la contaminación de sólidos suspendidos cuyo peso específico es mayor que el del agua a tratar.	Circular	 
			Rectangular	
			Troncocónico	

Fuente: la autora, 2007

¹⁴ RIGOLA LAPEÑA, Op. Cit.,p.6.




Tabla 3. Componentes del tratamiento secundario.

GENERALIDADES TRATAMIENTO SECUNDARIO	OPERACIÓN	OBJETIVO	UNIDAD TTO (operaciones unitarias)		FOTO
Son predominantemente microbiológicos. Continúa reduciendo el grado de contaminación de las aguas antes de su disposición final; éste puede ser de carácter biológico (donde están involucrados microorganismos los cuales degradaran la materia orgánica del agua residual en condiciones aerobias o anaerobias) ó de carácter fisicoquímico (cuando los procesos biológicos no aplican) ¹⁵	TRATAMIENTO BIOLOGICO	Remover material orgánico disuelto (DBO ₅ y DQO) y contaminantes biodegra- dables.	Aeróbico	Filtro percolador	
				Lodos activados	
				Laguna aireada	
		Anaeróbico	UASB		
			Lecho expandido		
	SEDIMENTACIÓN	Anteriormente explicada en el tratamiento primario			

Fuente: la autora, 2007

¹⁵ Ibid.,p.31.

Tabla 4. Componentes del tratamiento terciario o avanzado.

GENERALIDADES TRATAMIENTO AVANZADO	OPERACIÓN	OBJETIVO	UNIDAD TTO (operaciones unitarias)	FOTO
Tiene como fin aumentar la eficiencia del proceso de descontaminación ¹⁶	CLARIFICACIÓN	Remoción partículas suspendidas producidas por el tratamiento biológico	Clarifloculador	
	FILTRACIÓN	Eliminar flóculos biológicos, además de olor, color y sólidos disueltos,	Arena	
			Carbón activado	
			Membranas	

Fuente: la autora, 2007

¹⁶ Ibid.,p.31.

2. IMPLICACIONES DEL REUSO DEL AGUA.

La reutilización y recirculación del agua es un concepto relativamente nuevo en la mentalidad de aquellas personas, si no todas, que por tener el recurso a disposición sin limitación alguna, es consumido y sus excesos o desechos son arrojados al alcantarillado o a alguna fuente superficial sin ninguna discriminación. El tema ha evolucionado de una forma denominada “directa de reuso”, que es aquella en la que se trata un efluente para ser reutilizado con una determinada finalidad, como por ejemplo, una práctica de reuso de efluentes industriales para lavados¹⁷.

2.1. IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN Y REUSO DEL AGUA¹⁸

En la actualidad, los principales cuerpos de agua del país se ven afectados por los vertimientos contaminantes de origen industrial. En virtud de lo anterior es importante la adopción de sistemas de recuperación y recirculación del agua a nivel industrial, que es un paso estratégico y conlleva a los siguientes beneficios mostrados en la tabla 5:

Tabla 5. Beneficios de la conservación y reuso del agua.

Beneficios ambientales	Beneficios económicos	Beneficios Sociales
Reducción en el vertimiento de efluentes industriales a los alcantarillados, posibilitando la mejora en la calidad de las aguas.	Conformidad ambiental en relación con las leyes ambientales establecidas, posibilitando una mejor introducción de productos colombianos en los mercados internacionales.	Ampliación en las oportunidades de negocios para las empresas prestadoras de servicios y equipamientos en toda la cadena productiva.
Aumento y disponibilidad de agua para usos más exigentes como el abastecimiento público, hospitalario, etc.	Reducción en los costos de producción.	Una mejor imagen en el sector productivo frente a la sociedad
	Incentivos y coeficientes reductores en el cobro del uso del agua.	Ampliación en la generación de empleos directos e indirectos.

Fuente: la autora, 2007

¹⁷ Manual para la conservación y reuso del agua, Op.cit.,p.30

¹⁸ NEMEROW.Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Madrid: Edición Díaz de santos S.A.,1998.p 581 -583

2.2. APLICACIONES DE LAS AGUAS RESIDUALES RECUPERADAS

En la planificación de los planes de reutilización de aguas residuales, el factor que normalmente determina el grado de tratamiento necesario y el nivel de confianza deseado de los procesos y operaciones de tratamiento suele ser el uso al que se destina el agua. En el proceso de planificación es necesario evaluar la fiabilidad de las operaciones y los procesos de tratamientos existentes o propuestos, ya que la recuperación de aguas residuales obliga a un suministro continuo de agua de determinada calidad¹⁹.

2.2.1. Principales usos del agua en la industria. De una manera genérica, se puede decir que el agua tiene los siguientes usos en la industria de jabones:

- **Consumo humano:** agua utilizada en ambientes sanitarios, vestuarios, cocinas, restaurantes, fuentes de agua o cualquier actividad que tenga contacto humano directo.
- **Materia prima:** como materia prima el agua es incorporada como producto final, o sino el agua que es para la obtención de otros productos.
- **Uso como fluido auxiliar:** puede ser utilizada en diversas actividades, destacándose la preparación de suspensiones y soluciones químicas, compuestos intermediarios y para las operaciones de lavado en general.
- **Otros usos:** Utilización del agua para incendios, riego de áreas verdes o en la incorporación de diversos subproductos generados en los procesos industriales, sea en fase sólida, líquida o gaseosa.

2.3. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES²⁰

En la planificación efectiva de la recuperación y reutilización de aguas residuales, los objetivos y principios básicos de desarrollo del plan deben estar claramente definidos. El proyecto de recuperación y reutilización óptimo se consigue integrando en un solo plan las necesidades de tratamiento del agua residual y las necesidades de agua de abastecimiento. Este enfoque integrado es ligeramente diferente al de la planificación convencional de plantas de tratamiento de aguas residuales, en los que solo se incluye el transporte, tratamiento y vertido de las aguas residuales industriales y municipales.

¹⁹ Ibid.,p.35.

²⁰ Ibid.,p.35.

El plan de recuperación y reutilización de aguas residuales ideal debe incluir los siguientes análisis: Determinación de las necesidades de tratamiento y evacuación de aguas residuales; determinación de la demanda y recursos de agua de abastecimiento; determinación de los beneficios en el abastecimiento de agua en el potencial de reutilización; análisis del mercado para el agua residual recuperada; análisis económico e ingenieril de las posibles alternativas, y desarrollo del plan y análisis financiero. A continuación se describen los factores de importancia que intervienen en la planificación de sistemas de recuperación y reutilización de aguas residuales.

2.3.1. Bases de la planificación.

Los objetivos del proyecto y la zona de estudio son los dos componentes críticos que constituyen la base de la planificación.

- **Objetivos del proyecto**

La recuperación y reutilización de las aguas residuales puede servir para desarrollar funciones tanto del control de la contaminación como de abastecimiento de agua. La atención prestada sobre las ventajas que, para la red de abastecimiento de agua, pueden conseguirse durante el proceso de planificación de las instalaciones sólo ha aumentado en la última década. El hecho de ignorar el potencial de las aguas residuales como agua de abastecimiento ha conducido, con frecuencia a la construcción de instalaciones que, ahora, coartan el desarrollo de este recurso agua alternativo. Por ejemplo, en algunos lugares resultaría más sencillo, optimizar la reutilización del agua residual si en lugar de grandes plantas de tratamiento para uso regional, se hubieran construido pequeñas plantas de tratamiento satélite concebidas pensando en las posibilidades de reutilización.

Debido a que la mayoría de las entidades reguladoras se establecen con un único objetivo, las actuaciones de estas agencias también tienden a tener un solo objetivo. La recuperación y reutilización óptima del agua residual se consigue de forma más efectiva en el ámbito de una planificación multidirigida, con el esfuerzo tanto de los organismos que gestionan el abastecimiento de agua como de los que gestionan las aguas residuales. Una vez identificados los beneficios y beneficiarios en la reutilización del agua residual, existen diversas posibilidades de reparto de responsabilidades y gastos entre los promotores de las actuaciones.

- **Zona de estudio**

La delimitación de la zona afectada por el estudio o proyecto, es otro aspecto crítico en las labores de planificación, en las que se deben tener en cuenta dos horizontes de actuación. El primero que se establece en función de la zona de servicio directa del plan de actuación. El segundo que también se debe incluir en

el proyecto, se extiende a la zona que aporta menos capital o recibe menos beneficios con el proyecto. Por lo tanto la zona de estudio para la planificación de las instalaciones incluye: la zona que debe ser servida por la planta de tratamiento que hay que incorporar en la red de alcantarillado, y la zona que puede beneficiarse potencialmente, de los caudales de agua recuperada. Para evaluar los costos y beneficios del proyecto, la zona de estudio debe incluir: La zona afectada por los beneficios ambientales del agua residual, y la zona que se beneficia del aumento de agua de suministro de la nueva fuente de recursos hídricos debida a la recuperación del agua residual.

- Estudio del mercadeo

A la hora de planificar un proyecto de reutilización de aguas residuales, es fundamental encontrar posibles consumidores, capaces y deseosos de consumir agua recuperada. El éxito de los planes de reutilización de aguas residuales depende, en gran medida, de la capacidad de asegurar un mercado y una salida para el agua recuperada. Un estudio de mercadeo consiste en dos partes: la primera es la determinación de la información general, incluyendo los usos potenciales del agua recuperada, y la segunda son los estudios de los posibles usuarios del agua recuperada y sus necesidades.

- Análisis monetario

A pesar de que los factores técnicos, ambientales y sociales, son de gran importancia en el desarrollo de un proyecto, actualmente parece ser que los factores fundamentales a la hora de determinar la implantación o no de un proyecto de reutilización son factores monetarios. Sin embargo, en el futuro, en la determinación de la viabilidad de un proyecto de reutilización, se dará mayor importancia a factores ambientales y sociales que no a la mera relación costo – beneficio.

- Análisis económico y financiero

Los análisis monetarios, basados en la economía de los recursos hídricos, se pueden clasificar en dos categorías: análisis económicos, y análisis financieros. El análisis económico se centra en el valor de recursos invertidos en la construcción y explotación de un proyecto, medidos en términos monetarios. Por otro lado, el análisis financiero se centra en los costes y beneficios esperados de un proyecto y los entes participantes, y del resto de los afectados por el mismo. Estos costos y beneficios no esperados pueden no reflejar el valor de los recursos invertidos, debido a las transferencias monetarias. Mientras que el análisis económico valora los proyectos de recuperación y reutilización de aguas residuales en el contexto del impacto social, el análisis financiero se centra en la posibilidad de obtener

recursos económicos a partir de presupuestos, subvenciones del gobierno, préstamos y bonos para pagar el proyecto. Básicamente el resultado del análisis económico debería ser la respuesta a la pregunta “¿Se debe llevar a cabo un proyecto de reutilización?”. Sin embargo la siguiente pregunta es de igual importancia: “¿Se puede llevar a cabo un proyecto de reutilización?”. Ambos enfoques son necesarios, pero solo se someten a análisis financiero aquellos proyectos de recuperación y reutilización de aguas residuales que resultan viables económicamente.

- Costo y precio del agua

Un aspecto importante en el análisis monetario de los proyectos de recuperación y reutilización de aguas residuales, es la diferencia entre el costo y el precio del agua. En un análisis económico solo se considera el futuro flujo de recursos invertidos u obtenidos a partir del proyecto. Las inversiones de recursos realizadas en el pasado se consideran inversiones a fondo perdido que no tienen importancia alguna en las futuras decisiones de la inversión. Por lo tanto en el análisis económico, no se incluye la deuda contraída como consecuencia de inversiones anteriores. El precio del agua es el precio pagado a un distribuidor de agua por la compra de agua. El precio del agua suele reflejar el conjunto de desembolsos, pasados y actuales, realizados para la construcción del proyecto y para cubrir los costos administrativos del sistema, que suelen ser fijos. En el análisis económico sólo son importantes los costos de construcción, explotación y mantenimiento futuros.

Para determinar el beneficio en el abastecimiento de agua de un proyecto de recuperación y reutilización de aguas residuales en un análisis económico, el proyecto se suele comparar al desarrollo de una nueva fuente de recursos hídricos. Al llevar a cabo este análisis, los costos importantes para la comparación son los futuros costos de: construcciones de nuevas instalaciones de agua de abastecimiento, y la explotación y mantenimiento de todas las instalaciones necesarias para el tratamiento y distribución de la nueva fuente de suministro desarrollada. Por lo tanto, el precio actual y futuro del agua no proporcionaría una base de comparación válida para la valoración de los beneficios de un plan de reutilización de aguas residuales.

Por otro lado, la consideración de los precios cobrados por el agua limpia y el agua recuperada es importante, para la determinación de la viabilidad financiera del proyecto. El precio que se cobra a los usuarios es el costo anticipado del agua y, por lo tanto, los precios tendrán en cuenta a los potenciales usuarios a la hora de determinar su voluntad de participación en el proyecto de reutilización.

2.3.2. Otros factores que afectan a la planificación

Además de los análisis monetarios, existen una serie de factores que es necesario evaluar durante la planificación de un proyecto para la recuperación y reutilización de aguas residuales. Algunos factores que tienen especial importancia en el desarrollo de un proyecto son: características de la demanda del agua; requisitos de calidad del agua, y determinación del alcance óptimo del proyecto. Un proyecto de reutilización de agua residual es un proyecto de suministro de agua a pequeña escala que pretende ajustar el suministro a la demanda, proporcionar niveles de tratamiento adecuados, almacenar el agua recuperada y suministrar las reservas o excesos de agua de abastecimiento disponibles.

3. GENERALIDADES Y PROCESOS DE LA EMPRESA DE JABONES AZULK S.A.

Es importante conocer la empresa y sus procesos productivos puesto que allí es en donde se generan todos los residuos líquidos que se tratan actualmente en la PTAR y donde se pueden reutilizar después del tratamiento adecuado; en este capítulo se encuentra información acerca de la compañía, las principales materias primas y las características en la fabricación del jabón, limpiador líquido, crema lava loza, sus subproductos y sus residuos líquidos teniendo en cuenta su composición y la afectación en el recurso agua (ver figuras 2 y 3), y la descripción de cada uno de sus procesos industriales para la fabricación de jabones de lavar, jabones de tocador, glicerina, limpiador líquido y crema lava loza.

3.1. GENERALIDADES DE AZULK S.A.

La Empresa AZULK S.A. se encuentra ubicada en Bogotá; localidad de Tunjuelito, en la dirección: autopista Sur N° 60-51. La actividad industrial de la empresa es la producción de jabones de lavar, limpiador líquido y crema lava loza. La producción estimada es de aproximadamente 1100 ton/mes. Laborando con jornada de trabajo de 24 horas de lunes a sábado y el domingo de 6:00 am a 10:00 pm. El personal de trabajo está constituido alrededor de 450 personas, distribuidas en las áreas de administración, producción, operaciones técnicas, ventas y personal ocasional.

Figura 2. Consideraciones básicas en la producción del jabón.

JABON

Surge de una reacción química que combina las grasas y la soda cáustica. El proceso ocurre dentro de un reactor en cuyo interior se inyecta vapor para calentar y agitar las mezclas de grasas de diferentes tipos y una solución de soda cáustica, estos ingredientes se combinan para dar lugar a la reacción de saponificación, generando una mezcla de jabón y lejías; luego se realiza un proceso llamado corte en el cual se adiciona agua salada para que separe el jabón de las lejías formando una especie de nata, la cual se extrae para obtener glicerina; después se realiza un lavado a la nata y se añade color, estabilizantes y suavizantes; y por último el jabón se bombea a un molino al vacío mientras se agrega silicato y perfume, después se muele y compacta para eliminar gran parte de la humedad y finalmente la masa es convertida en barras de diferente tamaño que se envuelven y empaican.

Materias primas de la fabricación de jabón:

Agua: En la preparación de jabones se requiere agua (acueducto) de buena calidad fisicoquímica y bacteriológica.

Sebo: Sebo tipo A y tipo C, según el tipo de jabón. Es el principal material grasoso para la fabricación del jabón el cual contiene los glicéridos mixtos obtenidos de la grasa sólida de ganado por medio de vapor. Este insumo aporta al jabón una mayor solubilidad.

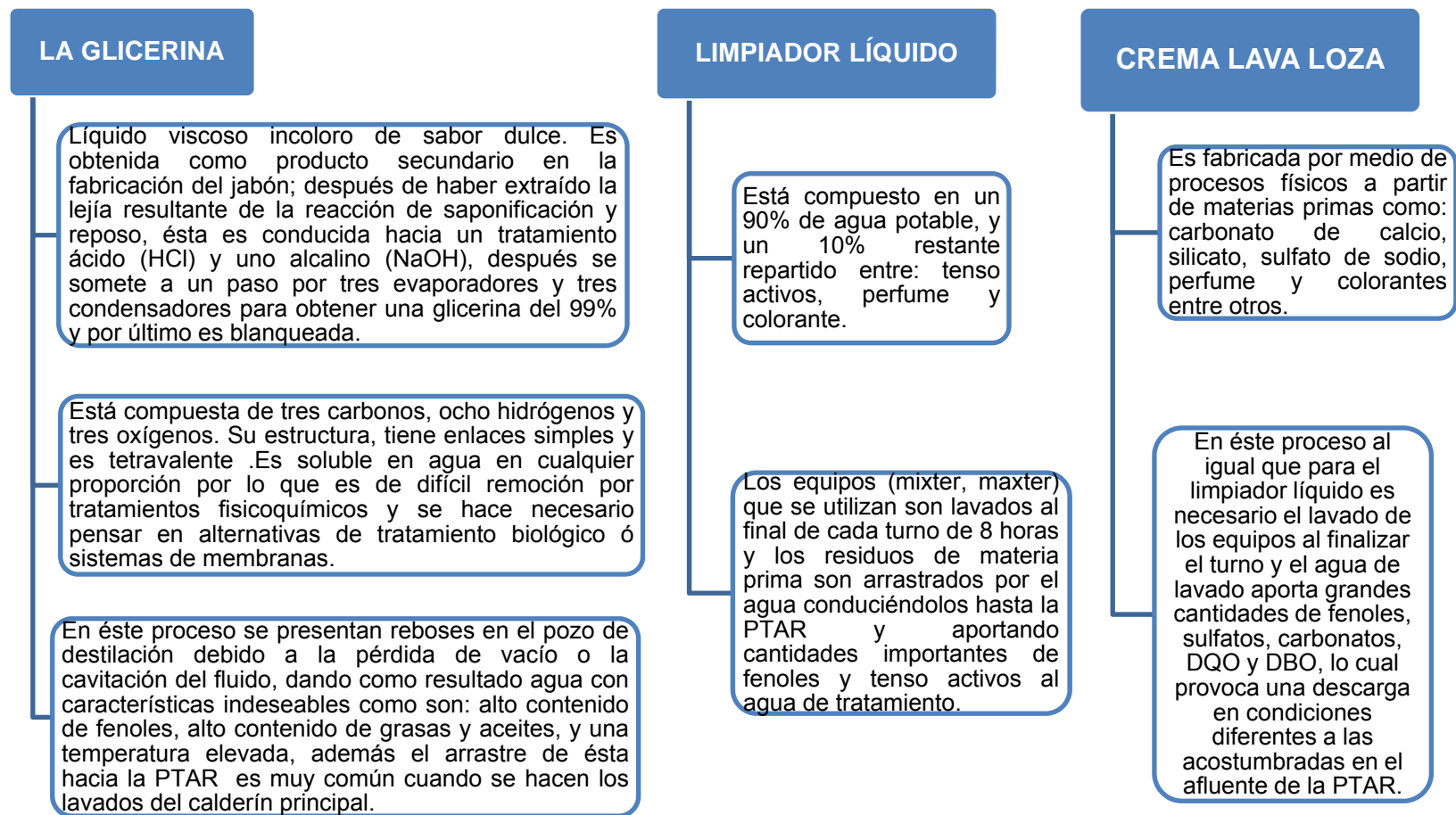
Grasas y aceites: En términos químicos la grasa y los aceites de origen vegetal o animal son similares, pues básicamente son ésteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerol (glicerina). De estos triglicéridos, los que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente se denominan aceites, y los que permanecen en estado sólido se llaman grasas. Las grasas y aceites en aguas residuales se encuentran en dos formas: grasas libres y grasas solubles aportando una gran cantidad de materia orgánica al agua. Generalmente las primeras son removidas eficientemente por trampas grasas y las solubles necesitan sistemas fisicoquímicos para su remoción por su condición.

Soda cáustica: o hidróxido de sodio (NaOH) solución acuosa de un álcali, el cual se mezcla con la grasa para dar lugar a la reacción de saponificación. Se disuelve en agua con fuerte desprendimiento de calor y la disolución acuosa se denomina lejía de sosa; disminuye la acidez del agua.

Sal: o cloruro de sodio (NaCl), Se utiliza en el proceso de saponificación luego de alcanzar estándares de alcalinidad y humedad para la separación de las fases de jabón y lejía. Es muy soluble en el agua pero su influencia en la contaminación es nula.

Fuente: La autora, 2007

Figura 3. Consideraciones básicas en la producción la glicerina, limpiador líquido y crema lava loza.



Fuente: La autora, 2007

3.2. PROCESO INDUSTRIAL EN AZULK S.A.

La descripción de cada uno de los procesos de la empresa AZULK S.A., organizada en áreas y sus correspondientes etapas se recopila en la tabla 6.

Tabla 6. Procesos en AZUL K S.A.

PROCESO		AREAS	ETAPAS
PRODUCCIÓN DE JABÓN	PRODUCCIÓN JABÓN TOCADOR	PAILA	Saponificación Reposo Primer Lavado Segundo Lavado Reposo Finalización Reposo de Finalización
		LÍNEA VACÍO II	Secado
		TOCADOR	Mezcladora Compactación Cortado y troquelado
		EMPACADO	Envoltura
	PRODUCCIÓN DE JABÓN BLANCO	BLANQUEO	Blanqueo
		FILTRACIÓN	Filtración
		DESODORIZACIÓN	Desodorización
		PAILA	Saponificación Reposo Lavado Reposo Finalización Reposo de Finalización
		LÍNEA DE VACIO II	Secado Extrusión Cortado y troquelado
		EMPACADO	Envoltura
	PRODUCCIÓN DE JABÓN AZUL	PAILA	Saponificación Reposo Finalización Reposo de Finalización
		LÍNEA VACÍO I	Secado Extrusión Cortado y troquelado
		EMPACADO	Envoltura

PRODUCCIÓN DE CREMA LAVA LOZA	ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	Almacenamiento
	TANQUE DE PREPARACION DE PRODUCTO	Ajuste de pH, viscosidad, color, olor, textura.
	TANQUE DE PRODUCTO TERMINADO	Almacenamiento Reposo
	EMPACADO	Llenado de envase Sellado manual
PRODUCCIÓN DE LIMPIADOR LIQUIDO	ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	Almacenamiento
	ZONA DE PREPARACION DE MATERIAS PRIMAS	Pesado de reactivos
	MIXER	Mezcla rápida
	MAXTER	Mezcla lenta
	TANQUE DE PRODUCTO TERMINADO	Adición de colorante, perfume y agua. Almacenamiento Reposo
	LLENADO	Llenado y sellado automático
PRODUCCIÓN DE GLICERINA	PAILA TRATAMIENTO ÁCIDO	Cambio de pH
	FILTRO	Filtración
	PAILA TRATAMIENTO ALCALINO	Cambio de pH (Sedimentación)
	FILTRO	Filtración
	EVAPORACIÓN	Evaporador 1 Evaporador 2 Evaporador 3
	DESTILACIÓN	Condensación Filtración
	BLANQUEO	Filtración

Fuente: La autora, 2007

3.2.1. Producción de jabón Azul.

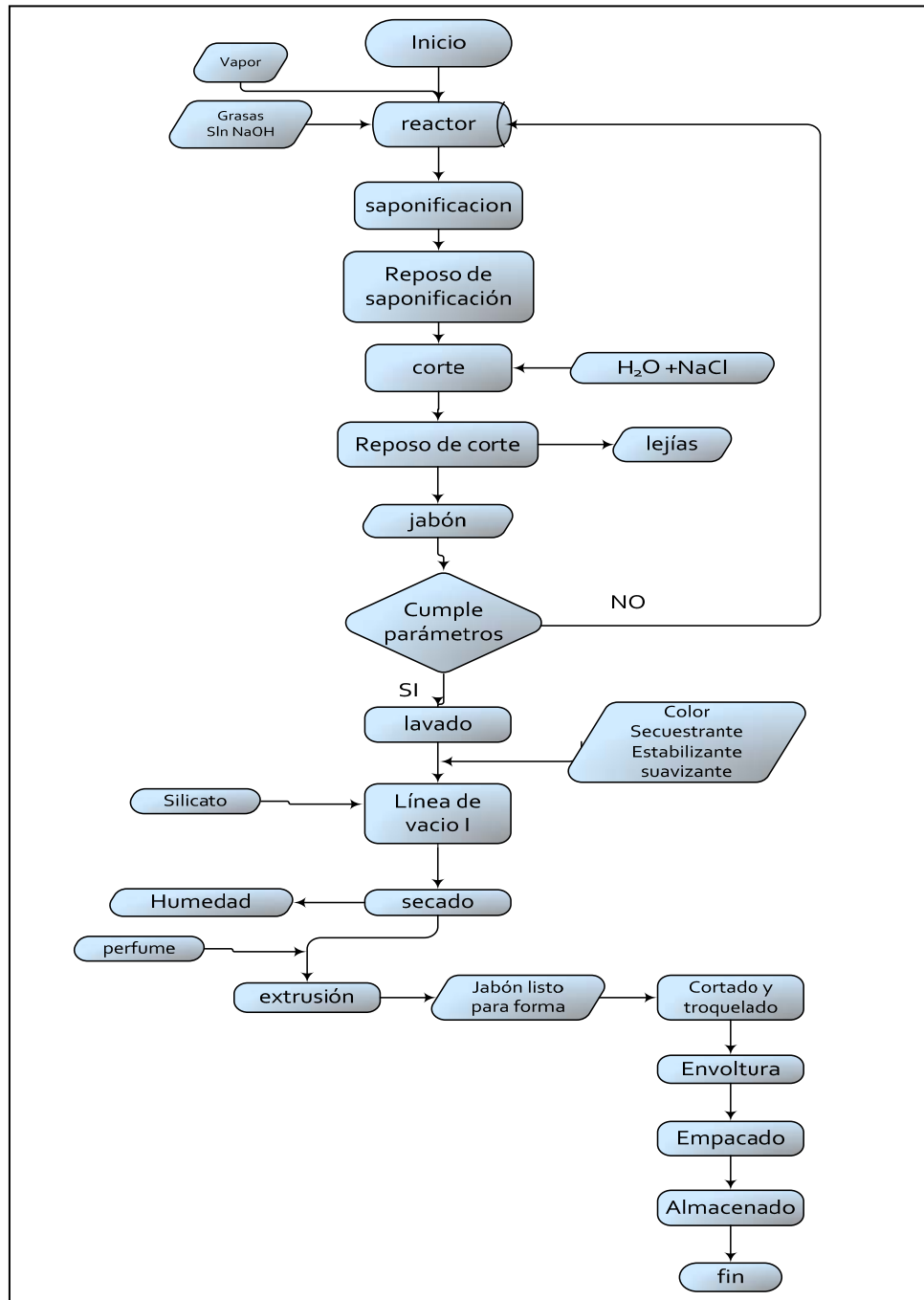
Dentro de los jabones azules fabricados en AZUL K S.A. se encuentra: súper riel, jabón azul K extra, jabón azul k extra sueños de bebe, extra lavanda.

La transformación de las materias primas en jabón azul, se lleva a cabo en las siguientes áreas; ésta información es presentada en la figura 4 y empieza por el cargue a Pailas el cual comienza con el bombeo de la mezcla de grasas a la paila

la cual incluye (Sebo tipo C y estearina), la incorporación de soda cáustica a intervalos regulares de tiempo, adición de agua en forma de vapor para la agitación, hasta que se alcance el proceso de saponificación en un tiempo aproximado de 6 seis horas, luego se adiciona sal para realizar un solo corte severo, se analizan los parámetros a cumplir y se deja en reposo por un tiempo de 12 horas, después del cual se separa la lejía y el jabón. Se agregan 20 Kg de colorante azul al jabón hasta que se homogenice el color y de allí pasa a la Línea de vacío I, donde se adiciona silicato para darle un rendimiento del 19%, se retira la humedad, por extrusión sale el jabón en barra, es cortado según el tamaño deseado y troquelado según el tipo de jabón azul requerido. En esta área se realizan lavados al piso y equipos y además hay reboses en el pozo barométrico.

Por último, la máquina cortadora o troqueladora subdivide automáticamente las barras obtenidas, moldeándolas según tamaño y forma definida; las pastas de jabón resultantes se conducen enseguida, por una banda transportadora con sistema de enfriamiento, al proceso de empaçado. El jabón es envuelto por la empacadora automática, pasa a la línea de promociones, es puesto manualmente en empaques de 3, 4 y 5 jabones para su distribución y venta final en cajas de cartón.

Figura 4 .Diagrama del proceso de producción de jabón azul de AZUL K S.A.



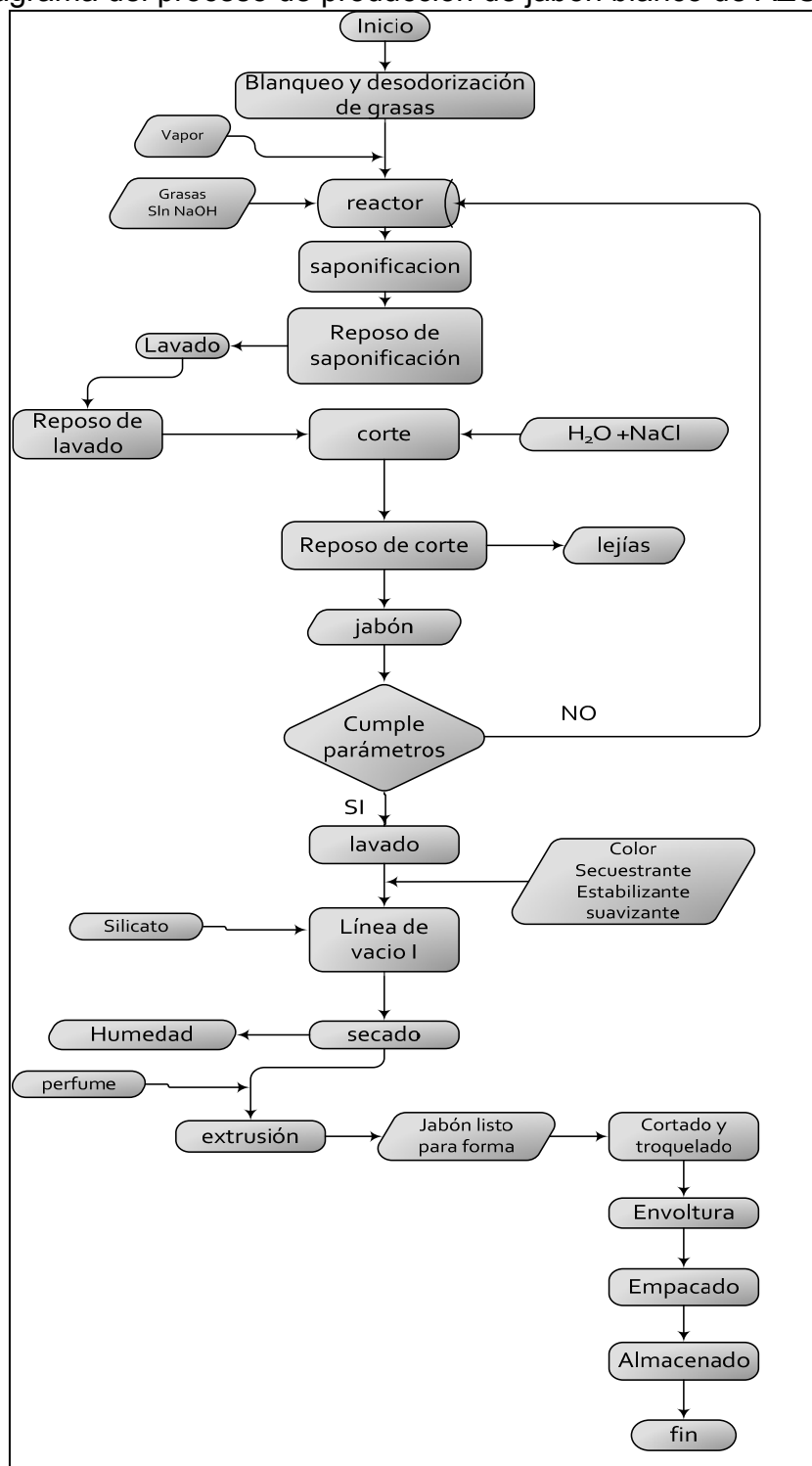
Fuente: La autora, 2007

3.2.2. Producción de jabón Blanco. Se procesa jabón coco y jabón extra blanco. La transformación de las materias primas en jabón blanco, se lleva a cabo en las siguientes áreas; ésta información es presentada en la figura 5, en el cual la grasa proveniente de la zona de recepción de materias primas es blanqueada por medio de una autoclave (A presión y vacío), mediante la adición de carbón activado, tierra natril y filtración, luego se hace una desodorización en donde se introduce la grasa blanqueada en una autoclave o tacho, y mediante la aplicación de ácido cítrico se inactiva el olor original de la grasa, después se cargan las pailas, allí la mezcla de grasas (Sebo tipo A y estearina) es bombeada a la paila, simultáneamente se adiciona Soda Cáustica, y agua hasta que se termine la reacción de saponificación con un reposo de 5 a 6 horas aproximadamente.

Se da lugar al corte severo para la separación de jabón y lejía, se analizan los parámetros y se deja en reposo por un periodo de 12 horas. Se realiza el lavado correspondiente a este tipo de jabón y consecutivamente la finalización de lavado. Se le agrega hidrosulfito de sodio y trilon dando y conservando su color blanco; luego se lleva a la línea de vacío II y allí el jabón obtiene un rendimiento de 16.2 % por medio de silicato y es posteriormente despojada de la humedad, por medio de extrusión sale el jabón en barra, se corta, se troquela y pasa a empackado.

En esta área al igual que en vacío¹ también se realizan lavados al piso y equipos, a la torre barométrica y también se presentan reboses en el pozo barométrico.

Figura 5. Diagrama del proceso de producción de jabón blanco de AZUL K S.A.



Fuente: La autora, 2007

3.2.3. Producción de jabón tocador. Dentro de los jabones de tocador fabricados en AZUL K S.A. encontramos: base de jabón de tocador, jabón Lak y jabón Carey.

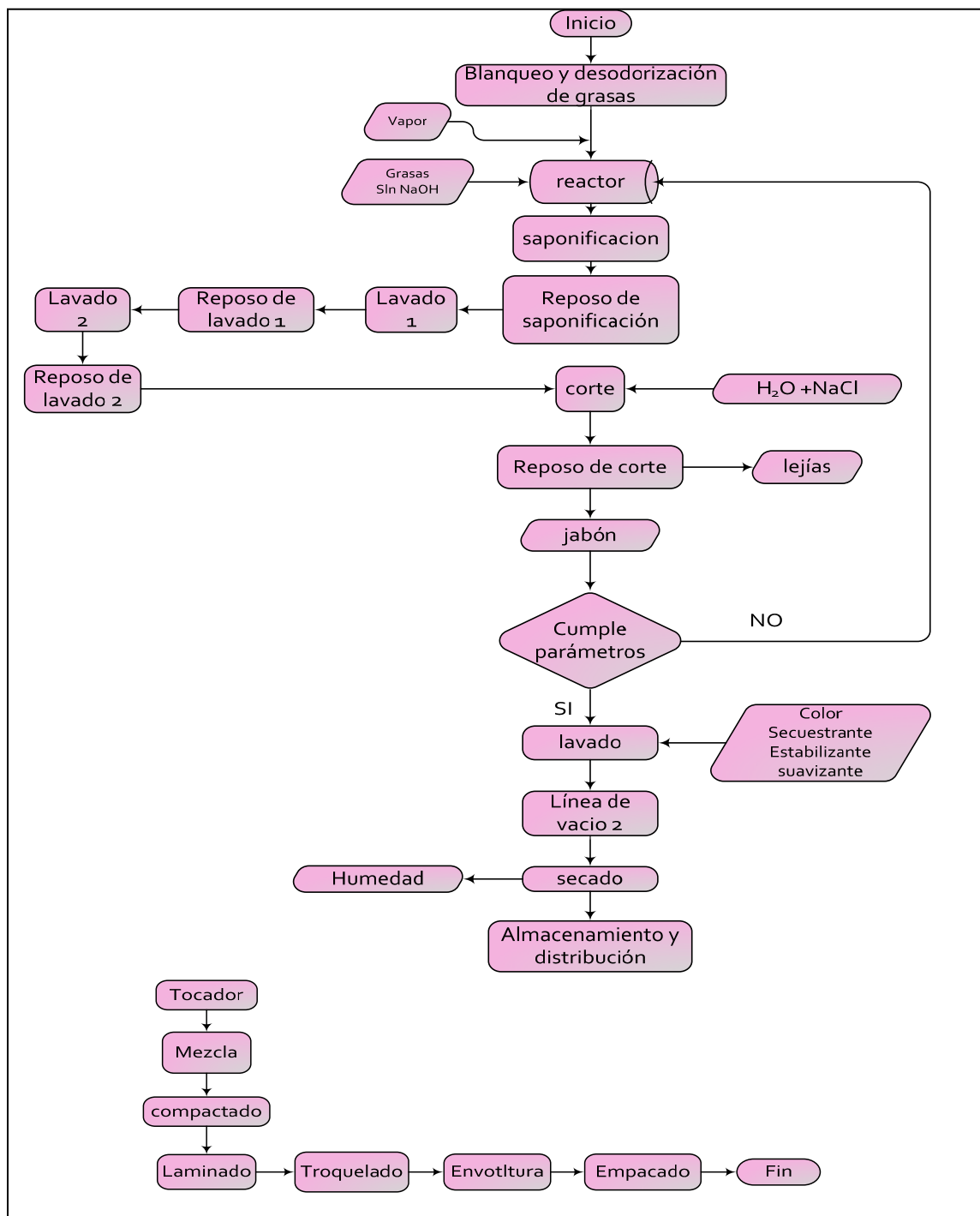
La transformación de las materias primas en jabón tocador, se lleva a cabo en las siguientes áreas; ésta información es presentada en la figura 6, y empieza con el cargue a pailas pero con diferente tipos de grasas (Ácido graso y estearina), grasas de muy alta calidad, no requieren de blanqueo y desodorización.

Se agrega soda cáustica y agua hasta completar la reacción de saponificación, el reposo es de 7 a 8 horas. Se realizan los análisis de parámetros necesarios; se agrega la sal, se da el corte severo y se realiza la separación de fases, como en los jabones azules y blancos. Se llevan a cabo dos lavados dentro de la paila y las correspondientes finalizaciones y reposos de finalización de 36 horas.

Luego se lleva a la línea de vacío II, al igual que en los otros tipos de jabones mencionados anteriormente y son sometidos a vacío para retirar su humedad y así se forma la base de tocador que es usada en la línea de tocador para la terminación de la fabricación de jabón de tocador o para su distribución final como base de otras marcas.

En la línea de tocador, la base es llevada a una mezcladora, se le adicionan los colorantes y perfumes según el tipo de jabón que se vaya a preparar, pasa a una compactadora donde el jabón adquiere su forma y queda listo para ser cortado y estampado y por último el empaque final del producto es realizado por una empacadora automática. El jabón final bien terminado con la forma, tamaño y marca de fábrica requerida se almacena.

Figura 6. Diagrama del proceso de producción de jabón tocador de AZUL K S.A.

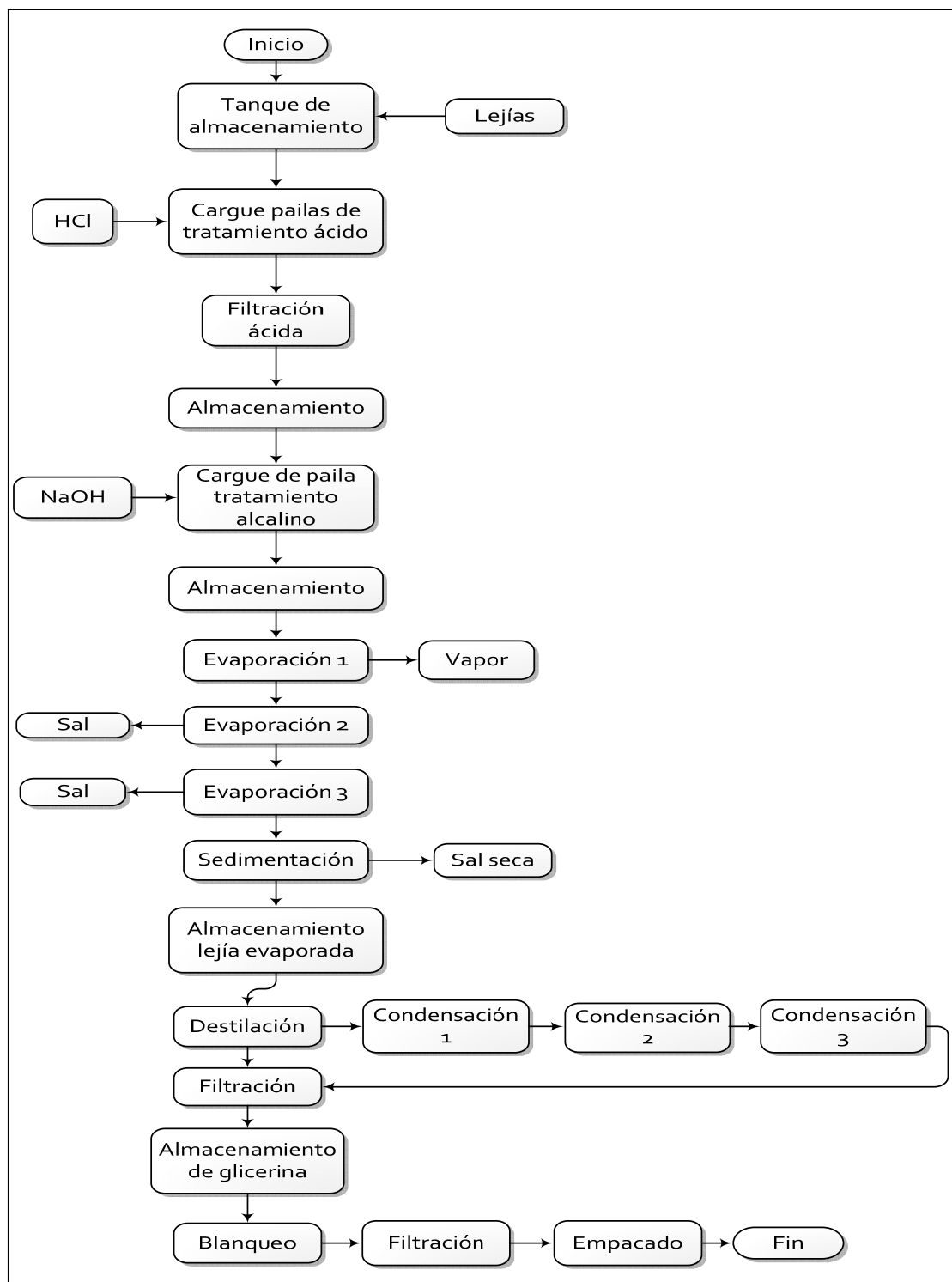


Fuente: La autora, 2007

3.2.4 Producción de glicerina. Ese proceso se lleva a cabo en las siguientes áreas; ésta información es presentada en la figura 7 y comienza con un tratamiento ácido, donde la lejía es convertida en lejía acida, mediante la adición de ácido clorhídrico HCl para modificar su pH. Se somete la paila a un reposo de 18 horas, pasa por un filtro, donde se separa la lejía ácida que va al tanque de almacenamiento ácido y un lodo que es denominado lodo ácido, luego se hace un tratamiento alcalino y allí la lejía es bombeada del tanque de almacenamiento a el tanque de tratamiento, se adiciona soda cáustica en peso del 50% hasta el cambio de pH y sea una lejía neutra, pasa a un filtro prensa, de aquí se desprende la lejía neutra y un lodo alcalino, se desarrolla una evaporación, donde la lejía neutra es sometida a un proceso de evaporación donde se elimina toda el agua contenida en la lejía, mediante el paso de la misma por tres evaporadores, que aparte de eliminar el agua de la lejía, decantan sal húmeda y sal seca.

En esta zona se presenta un rebose en el pozo barométrico correspondiente, en la piscina de evaporación; y luego se pasa a una destilación en donde la Lejía pasa a un calderín, por medio de tres condensadores se realiza la destilación para la obtención de la glicerina al 99% y un residuo denominado sal quemada. Al igual que en la anterior etapa del proceso aquí también se presentan reboses en el pozo barométrico y además se lava el calderín con aproximadamente 5m^3 de agua potable lo cual significa una cantidad considerable de agua a tratar en la PTAR; y por último, la glicerina pasa al proceso de blanqueo para optimizar su color, y de ésta forma se termina el proceso con el empacado y distribución de la glicerina.

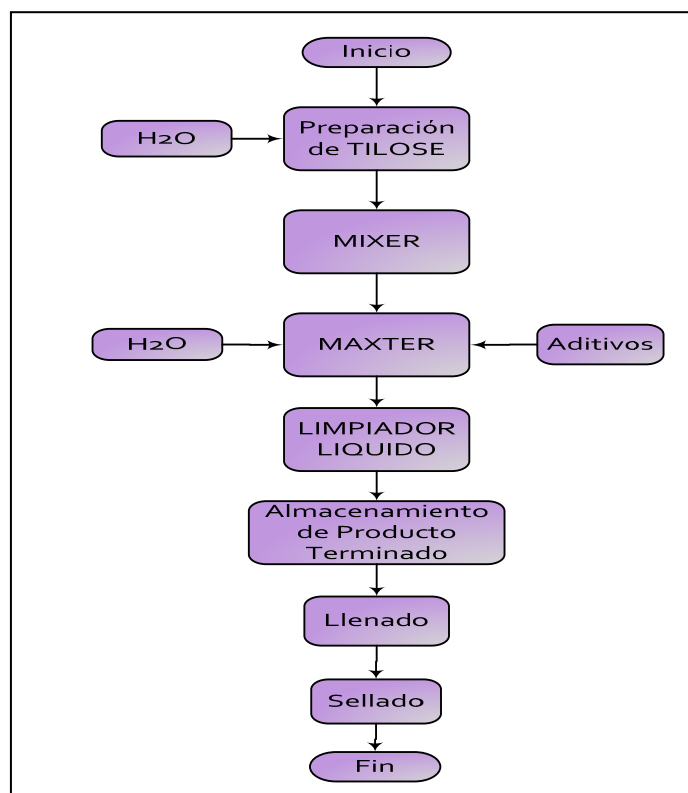
Figura 7. Diagrama del proceso de Producción de glicerina de AZUL K S.A.



Fuente: La autora, 2007

3.2.5. Producción de Limpiador Líquido. Se fabrica por medio de procesos físicos principalmente de mezclas rápidas y lentas, se prepara el TILOSE en el Mixer y luego éste se transporta al Maxter Bach en donde se adicionan todos los aditivos, agregando agua, después de éstos procesos el limpiador líquido se almacena en un tanque de producto terminado y por último se empaca y se sella automáticamente (ver figura 8). En ésta zona los residuos líquidos son mínimos, aunque con una carga de contaminantes alta debida a la naturaleza de sus materias primas como se puede observar más adelante en el capítulo 3; puesto que el agua de lavado ahora es reutilizada en el proceso de saponificación, y los vertimientos surgen de lavado de traperos y de instrumentos.

Figura 8. Diagrama del proceso de Producción de Limpiador Líquido de AZULK.

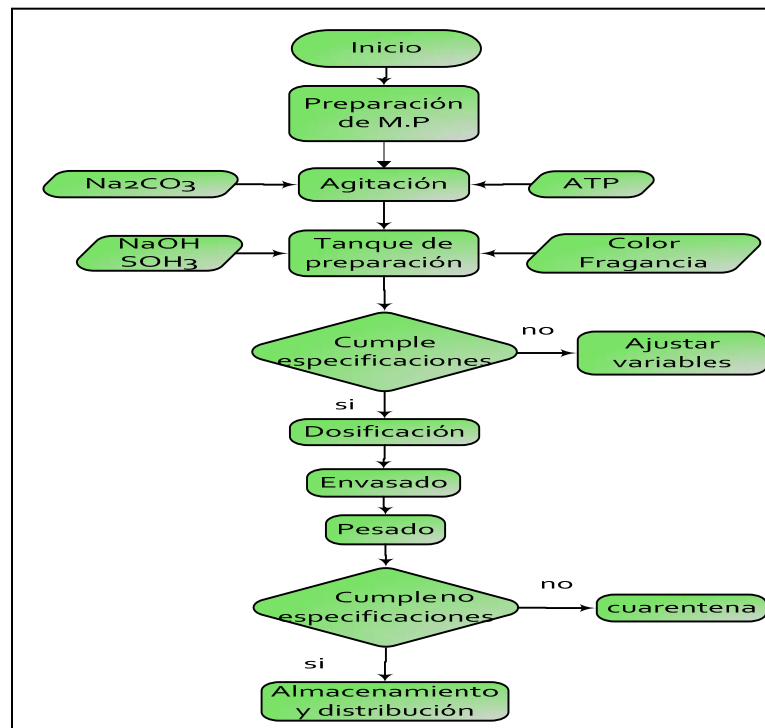


Fuente: La autora, 2007

3.2.6. Producción de crema lava loza. Se preparan las materias primas según las cantidades estipuladas en la fórmula estándar, si hay agua de proceso del mismo producto a fabricar, se adiciona y se registra, y luego se descuenta del total según la fórmula, luego se adiciona trifosfato y se agita durante 10 minutos aproximadamente, enseguida se adiciona lentamente carbonato de sodio y se realiza una agitación un poco más rápida que la anterior, después se agrega

hidróxido de sodio, ácido, sulfónico, color, y fragancia; se mezcla en un tanque de preparación y por último se lleva a control de calidad y se verifican especificaciones, si el producto cumple con éstas se traspasa al tanque de dosificación y se dosifica, si no cumple, se ajustan las variables del proceso y se continúa el proceso (ver figura 9). En la última etapa del proceso se envasa, se controla el peso y se almacena. Al igual que en la planta de limpiador líquido los residuos líquidos se limitan al lavado de traperos y de instrumentos.

Figura 9. Diagrama del proceso de Producción de crema lava loza de AZUL K S.A.



Fuente: La autora, 2007

4. ESTUDIO HIDRICO EN AZULK S.A.

Para la empresa AZULK S.A. una de las materias primas más importante es el recurso agua, lo que conlleva a ser una empresa clasificada como grande consumidor de acuerdo a la factura expedida por la empresa de acueducto de Bogotá (EAAB) y así mismo una generadora constante de vertimientos de diferentes características de acuerdo al proceso de manufactura realizado en el día, los cuales son tratados en la PTAR por la empresa. A continuación se encuentra información acerca de las cantidades de materia prima recibida y manufacturada, teniendo en cuenta la generación de residuos líquidos, el consumo y generación de agua en los diferentes procesos de producción, y el balance hídrico en la empresa con la cantidad total de agua tratada en la PTAR.

4.1. MATERIA PRIMA RECIBIDA Y TRANSFORMADA

La industria de jabones AZULK S.A., recibe semanalmente en promedio 500 toneladas de grasas (Vegetales y Animales) (ver tablas 7,8,9), las cuales son almacenadas en los silos ubicados en la zona de recepción de materias primas (ver figura 10) y posteriormente son calentadas, para ser transportadas por medio de líneas a la zona de pailas, donde son procesadas (Saponificadas) a una base de jabón, como producto final, y lejías como subproducto.

Figura 10. Recepción de materia prima



Fuente: AzulK S.A., 2007

En las tablas 7, 8, 9 se presenta el promedio de la materia prima recibida y transformada correspondiente a un mes de producción en la empresa, mostrando

que esta es constante; por lo cual el consumo de agua potable y la generación de agua residual también son similares durante las diferentes semanas. Las diferencias encontradas en los caudales de consumo y vertimiento se deben al porcentaje de agua que llevan los jabones. Descritos en el numeral 4.3.2 balance hídrico.

Tabla 7. Promedio de materia prima recibida y transformada* (Jabón) en AzulK.

Frecuencia	MATERIA PRIMA RECIBIDA (ton)				MATERIA PRIMA TRANSFORMADA (ton)		
	Grasa tipo A	Grasa tipo C	Ácidos grasos	Palmiste	Jabón Tocador	Jabones Azules	Jabones Blancos
SEMANAS EN 1 MES							
Semana 1	60	150	150	150	300	600	120
Semana 2	80	180	160	140	350	630	150
Semana 3	70	120	140	160	320	650	180
Semana 4	90	80	130	140	400	680	140
Promedios	75	132.5	145	147.5	342.5	640	147.5

Fuente: La autora, 2007.

Tabla 8. Promedio de materia prima recibida y transformada (Limpiador Líquido) en AzulK.

SEMANAS EN 1 MES	MATERIA PRIMA RECIBIDA (ton)		MATERIA PRIMA TRANSFORMADA (ton)
	Tensoactivos	Reactivos	
Semana 1	2	0.5	48
Semana 2	2.5	0.75	50
Semana 3	1.5	0.35	40
Semana 4	2	0.5	48
Promedio	2	0.525	46.5

Fuente: La autora, 2007.

* Materia prima recibida y transformada: se refiere a la cantidad de materia prima que AZULK S.A recibe semanalmente y procesa para dar como resultado jabones de diferentes tipos explicados a lo largo del presente capítulo.

Tabla 9. Promedio de materia prima recibida y transformada (Crema Lava Loza) en AZULK S.A.

SEMANAS EN 1 MES	MATERIA PRIMA RECIBIDA (ton)		MATERIA PRIMA TRANSFORMADA (ton)
	Tensoactivos	Reactivos	
Semana 1	7	7	14
Semana 2	6.8	6.8	14
Semana 3	7.5	7.5	15
Semana 4	7.2	7.2	14.5
Promedio	7.1	7.1	14.5

Fuente: La autora, 2007.

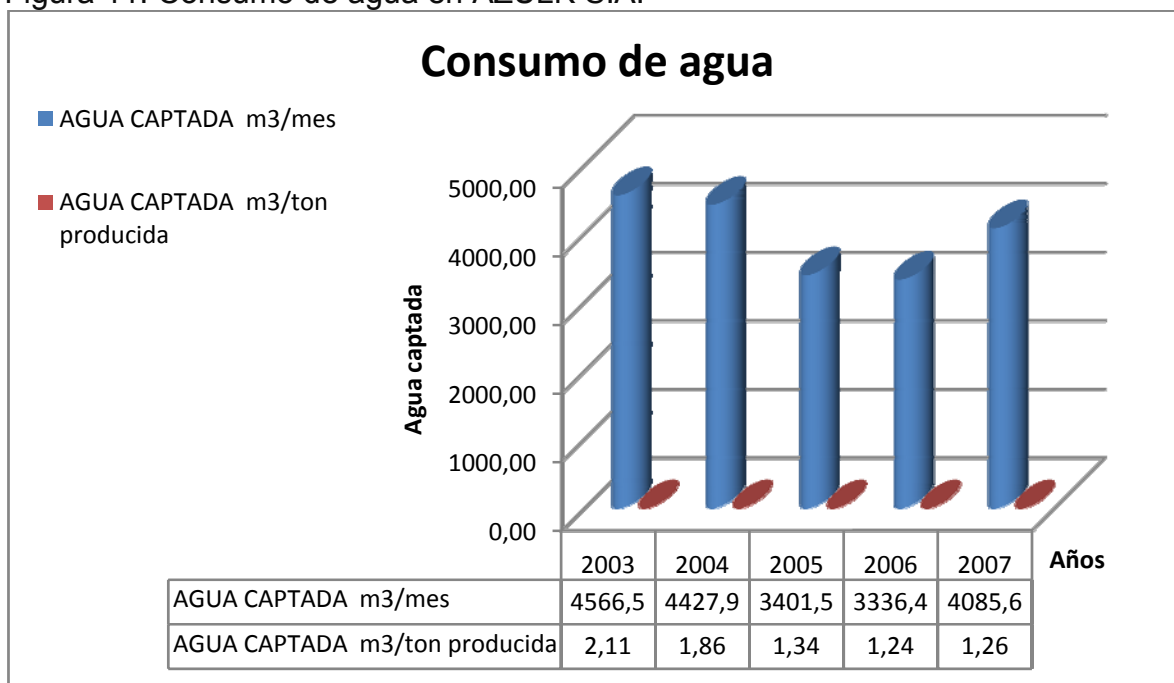
4.2. CONSUMO DE AGUA

En la empresa de jabones AZULK S.A, se consume agua en las siguientes zonas:

1. Áreas administrativas uso en baños y cafetería.
2. Recepción De Materias Primas: lavado de pisos, vapor para calentar silos.
3. Blanqueo y desodorización: refrigeración, consumo de vapor, lavado de equipos y pisos.
4. Pailas: agua requerida en el proceso de la saponificación del jabón, refrigeración, lavado de pisos y equipos, consumo de vapor y corte de lejías.
5. Planta de glicerina: refrigeración, consumo de vapor, lavado de equipos y pisos.
6. Planta de vacío 1 y 2: agua para el funcionamiento de equipos, lavados de pisos y equipos.
7. Planta de tocadores A, B, y C: elaboración del jabón, lavado de pisos y equipos, refrigeración.
8. Planta de líquidos: elaboración del producto, lavado de pisos y equipos.
9. Planta de cremas: elaboración del producto, lavado de pisos y equipos.
10. PTAR: preparación de reactivos, retro lavados y lavado de equipos.

Siendo el consumo del agua un aspecto ambiental significativo como se puede observar en la figura 11.

Figura 11. Consumo de agua en AZULK S.A.



Fuente: La autora, 2007.

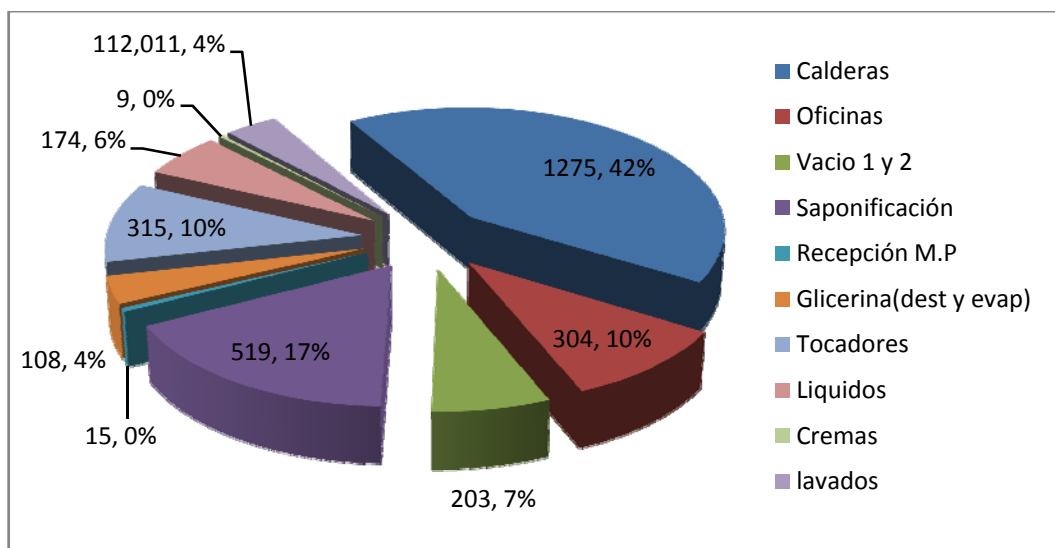
En la figura 11 se observa que, a través de los últimos años, desde el 2003, la empresa de jabones AZULK S.A. ha venido reduciendo el consumo del recurso agua optimizando sus procesos tales como:

- Implementación de un tanque de sedimentación en planta de glicerina.
- Implementación de un tanque de condensados el cual recupera los vertimientos en los procesos de destilación y las reincorpora de nuevo al proceso productivo.
- Recuperación del agua en el momento de los lavados por cambio de formato o referencia*, mejorando de ésta forma el proceso de la fabricación del jabón y sus subprocesos.

La figura 12 presenta la distribución porcentual y consumos de agua en las diferentes zonas de la empresa.

* Cambio de formato: se refiere al comienzo de la fabricación de otro tipo de jabón según el programa de producción de AZULK S.A.

Figura 12. Gráfica de distribución porcentual de consumos de agua en m³ / mes en AZULK S.A.



Fuente: La autora, 2007

En la gráfica anterior se puede observar que la zona en donde más se consume agua es en calderas con un 42%, luego en saponificación con un 17% y en donde más se generan residuos líquidos es en la zona de glicerina y de calderas (ver figura 14).

4.3. EVALUACIÓN DE LOS EFLUENTES

Dependiendo del origen y características del residuo líquido, el alcantarillado en AZULK S.A. se divide en tres grupos: (ver plano de aguas (anexo A) y figura 13).

Figura 13. Efluentes de diferentes puntos de proceso.



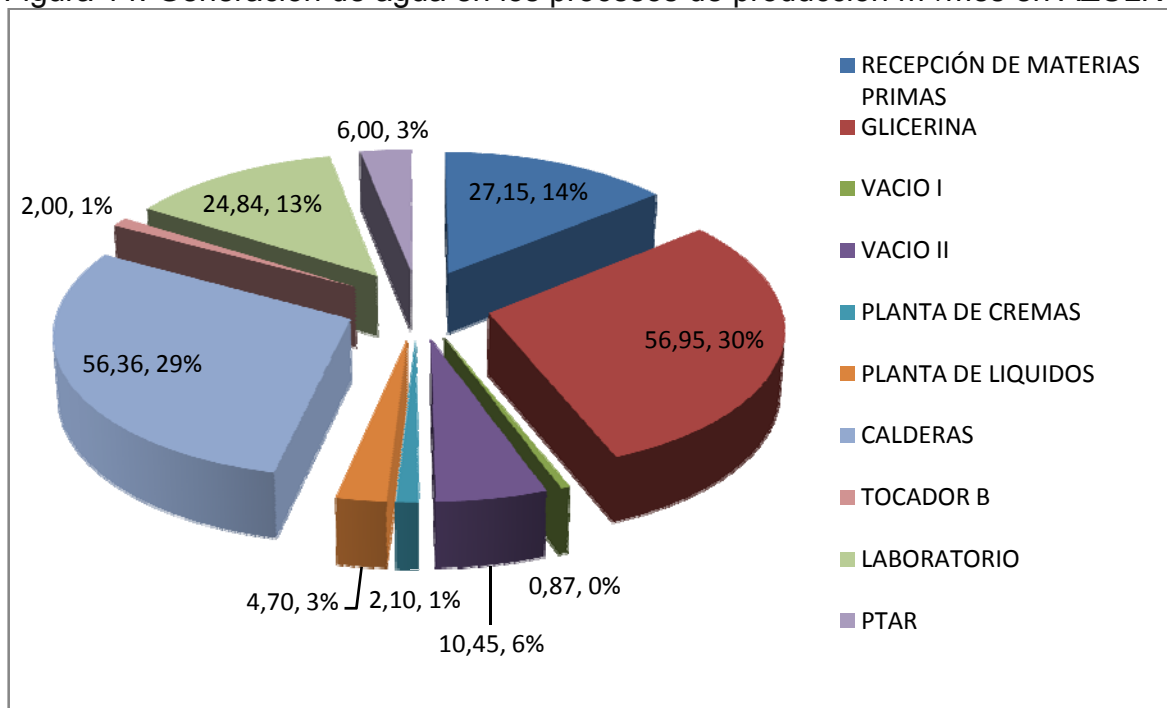
Fuente: La autora, 2007

- **Alcantarillado de aguas domésticas:** los residuos que convergen a esta red son generados en las baterías sanitarias y cafetería.
- **Alcantarillado de aguas lluvias:** agua proveniente de la lluvia, distribuida en diferentes zonas descubiertas de AZULK S.A. y canalizada a una sola alcantarilla.
- **Alcantarillado de aguas industriales:** Estos vertimientos son el centro y objetivo del estudio de caracterización de sus efluentes con las siguientes salidas:
 - Lavados: descargas variables de agua residual provenientes de las actividades de producción lavado de equipos y tanques de almacenamiento.
 - Condensados: Proveniente de vapor condensado de diferentes equipos que utilizan calentamiento por este medio.
 - Descargas: De corrientes líquidas en diferentes etapas del proceso como son la recuperación de glicerina, clarificación de lejías, entre otros.

4.3.1 Fuentes generadoras de agua residual industrial en AZULK S.A.

En la empresa de jabones AZULK S.A, se generan efluentes industriales los cuales son tratados en la PTAR, de acuerdo a los procesos productivos en la empresa descritos en el capítulo 3 estos provienen de: descargue de materia prima, lavados de equipos y zonas de producción, purgas de calderas y silos, condensados, reboses y grietas, secado de jabón, evaporación y destilación de glicerina y lavados de final de proceso (ver figura 14)

Figura 14. Generación de agua en los procesos de producción m³/mes en AZULK



Fuente: La autora, 2007.

En la figura anterior se muestran los procesos en los cuales se genera agua residual tratada posteriormente en la PTAR proveniente de las diferentes actividades de cada uno de los procesos. El volumen total de agua residual en estas zonas es de 191.43 m³. Se puede observar que en la planta de glicerina es donde más se genera agua residual industrial, con 56.95m³ por mes, proveniente de el lavado de pisos y del calderín, reboses en el pozo barométrico de evaporación y destilación, reboses de piscina torre de evaporación y la salida de condensados bomba marranito.* Así mismo se puede observar que en la zona donde menos se desecha agua es en vacío I con 0.87m³ por mes.

La generación de residuos líquidos en AZULK S.A. se debe a: el secado del jabón se realiza por medio de una torre de vacío donde se le retira un 4% de humedad a los jabones de lavar; esta operación se realiza en la planta de vacío 1. En la planta de vacío 2 se realiza el secado de blancos y base para jabón de tocador,

*Bomba marranito: bomba de vacío de anillo líquido, la cual tiene las siguientes características: compresión casi isotérmica, sin lubricación interna, capacidad de manejar gases y vapores, tolerancia a la entrada de líquidos y sólidos, diseño simple para materiales resistentes a la corrosión. Es la que maneja los destilados de la planta de glicerina.

donde se retira un 20% de humedad. La humedad retirada de las dos plantas de secado va directamente a unas torres de enfriamiento y por reboces a la red interna de recolección de aguas residuales industriales.

El proceso de elaboración de la glicerina se realiza mediante un tratamiento fisicoquímico de las lejías en el cual se retiran todas las impurezas presentes, los restos de jabones metálicos presentes en las mismas y se continua una evaporación múltiple efecto y destilación de las lejías sobrantes del proceso de saponificación, donde es retirada el agua aumentando la concentración de glicerol. Durante la primera evaporación se aumenta en un 25% la concentración de éste, en la segunda evaporación se aumenta un 35% más llegando al final de estos dos procesos a una concentración del 70% de glicerol, luego en un calderín de destilación, se obtiene glicerina al 99%.

Durante este proceso, aparte del agua que se retira en los procesos de evaporación, también se generan efluentes por las bajas presiones presentes en el sistema de vacío, y de esta forma los efluentes caen a una piscina de recuperación de aguas y por rebose a la red interna de recolección de aguas residuales industriales.

Otra fuente de generación de aguas residuales industriales, son las aguas provenientes de los lavados, proceso que es realizado en todas las secciones de producción de la planta, estas involucran lavados de pisos, lavado de traperos, lavado de equipos, entre otros (ver tabla 10); para determinar la frecuencia de éstos lavados y la cantidad de agua utilizada se desarrolló un análisis detallado en cada sección realizando aforos durante 1 mes, el cual se muestra en la tabla 10.

De ésta forma, toda el agua que se retira en los procesos anteriormente descritos es descargada a la red de recolección interna, que a su vez es llevada a un pozo de captación para finalmente verterla a la red de aguas industriales a la PTAR para su posterior disposición.

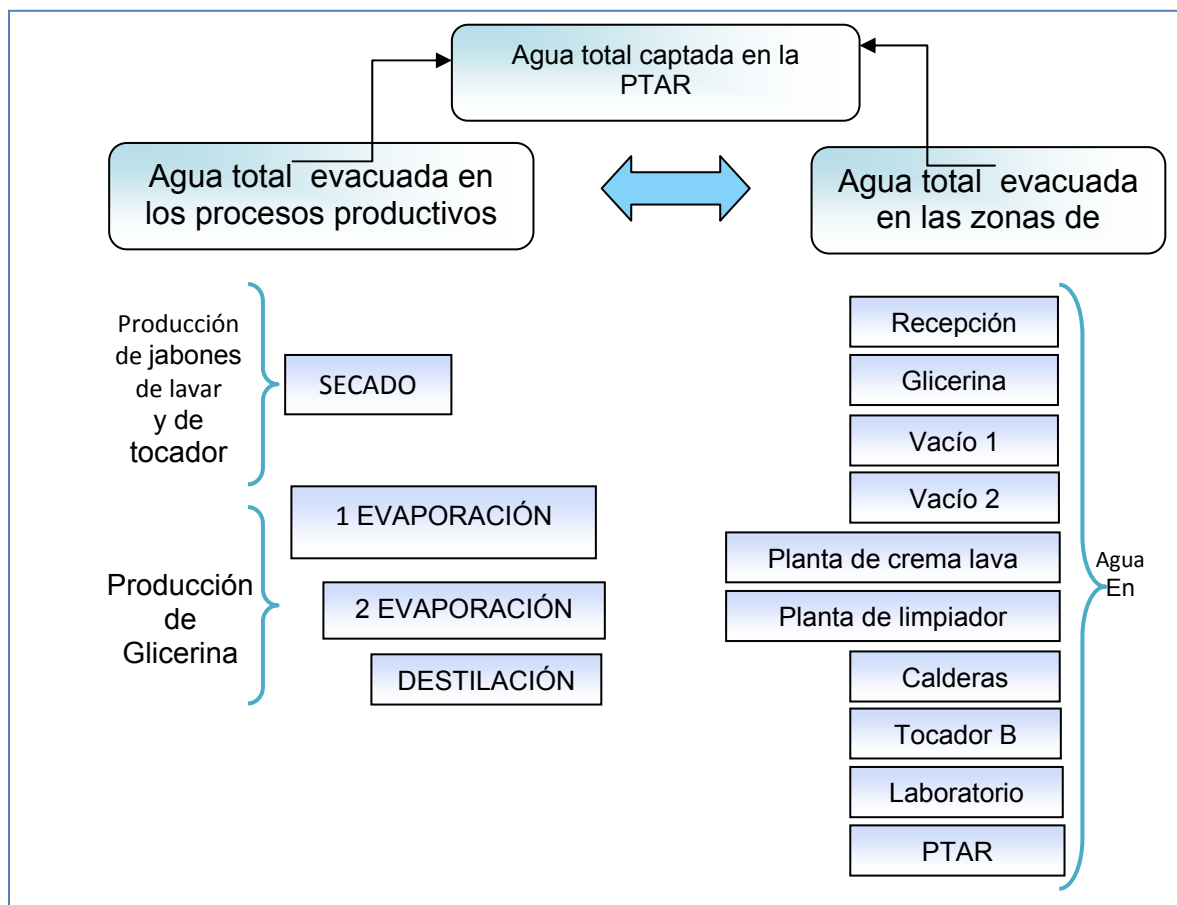
Tabla 10. Fuentes de vertimiento a la PTAR en AZULK S.A.

ZONA	FUENTES DE VERTIMIENTO	CANTIDAD DE AGUA (m ³ /mes)	CANTIDAD TOTAL DE AGUA POR ZONA (m ³ /mes)	FRECUENCIA
RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	- Lavado de pisos.	17.21	27.15	5 veces /semana
	- Purga de los 7 silos.	9.94		2 veces /semana
GLICERINA	- Lavado de pisos.	13.27	56.95	2 veces /semana
	- Rebose pozo barométrico de evaporación.	0.4		2 veces /semana
	- Salida condensados bomba marranito.	1.6		2 veces /semana
	- Lavados calderín.	40		2 veces/semana
	- Rebose piscina torre de evaporación.	1.2		3 veces/semana
	- Rebose pozo barométrico destilación.	0.48		4 veces/semana
VACIO I	- Rebose pozo barométrico.	0.074	0.87	1 vez/mes
	- Lavado de pisos y equipos.	0.8		2 veces/ semana
VACIO II	- Rebose pozo barométrico.	1.688	10.45	2 veces/ semana
	- Lavado torre barométrica.	3.25		1 vez/2 meses
	- Lavado de pisos y equipos.	5.520		2 veces/ semana
PLANTA DE CREMAS	- Lavado de traperos.	1.5	2.1	Todos los días
	- Lavado de equipos.	0.6		Todos los días
PLANTA DE LÍQUIDOS	- Lavado de equipos.	2.8	4.7	Todos los días
	- Lavado de traperos e instrumentos.	1.9		Todos los días
CALDERAS	- Purga de las 3 calderas	48	56.36	3 veces/día
	- Grietas pozo calderas.	8.361		24 horas diarias
TOCADOR B	- Lavados en cambio de formato	2	2	2 veces/ semana
LABORATORIO	- Destilador.	0.48	25.85	12horas/2días
	- Digestores para DQO	7.56		Diario
	- Lavadero	16.8		Diario
	- Condensadores G y A	1		1 vez/ semana
PTAR	- Retrolavado filtros	6	6	1 vez/ semana

Fuente: La autora, 2007

4.3.2. Balance hídrico. Un balance hídrico cuantifica los volúmenes de dicho recurso que entra en un proceso y la generación de agua residual que se produce como resultado de ese proceso. A continuación se presenta el balance de los diferentes procesos existentes en la empresa de jabones AZULK S.A., teniendo en cuenta la cantidad de agua consumida en los lavados de pisos y equipos presentados en la tabla 10, estos datos fueron tomados durante el mes de octubre del año 2007 (ver anexo B) a través del método de aforo y cuantificación de caudales. La siguiente figura explica la forma en que se desarrolló el balance y la cuantificación de agua total captada mensualmente en la PTAR. (Ver figura 15).

Figura 15. Desarrollo del balance y agua total captada en la PTAR.



Fuente: La autora, 2008

4.3.2.1 Balance de masa en el proceso del secado del jabón. Base de cálculo un lote de producción (15 ton)

Figura 16. Corrientes de entrada y salida del área de secado

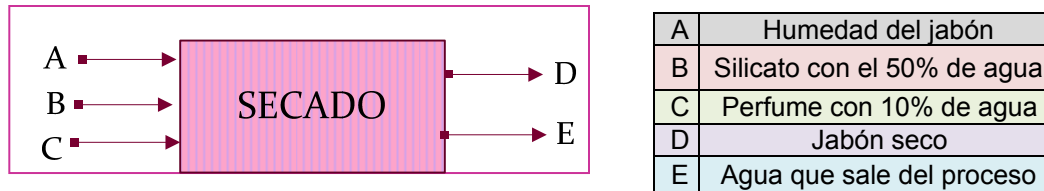


Tabla 11. Datos suministrados del área de secado

ENTRADA AL PROCESO DE SECADO		SALIDA DE PROCESO DE SECADO	
La cantidad de jabón alimentada 18526.911 Kg		La cantidad de jabón de salida es: 17472.31Kg	
Cantidad de silicato: 1747.231 kg			
		Composición de jabón	
Composición de jabón	Otras composiciones	jabón	65%
Jabón 61.3%	El 50% de silicato es agua	Humedad	28%
Humedad 34%		NaOH	0.3%
NaOH 0.2%		Glicerina	1%
Glicerina 4%		Sal	0.2%
Sal 0.5%		Silicato	5%

Fuente: AZULK S.A., 2007.

• *Balance general:* $A + B + C = D + E$

• *Balance para el agua:* (Contenido de humedad del perfume = 10%)

$$\begin{aligned}
 X \cdot A + X \cdot B + X \cdot C &= X \cdot D + E \\
 0.34 \cdot A + 0.5 \cdot B + 0.10 \cdot C &= 0.28 \cdot 17472.31 + E \\
 7172.765 + 0.10 \cdot C &= 4892.24 + E \\
 E &= 22280.52 + 0.1 \cdot C
 \end{aligned}$$

De la ecuación 1:

$$\begin{aligned}
 18526.91 + 1747.23 - 17472.31 &= E - C \\
 2801.84 &= 22280.52 + 0.1 \cdot C - C \\
 C - 0.1 \cdot C &= 521.32 \\
 \mathbf{C = 579.24Kg \text{ de Perfume}}
 \end{aligned}$$

- *Cantidad de agua:* De la ecuación 1 y con C hallado se despeja E.

$$7172.76 - 4892.44 = E - 579.24 \cdot 0.1$$

E = 2338.25kg de agua que se desecha

4.3.2.2 Balance de masa para la producción de glicerina.

- *Concentración por primera evaporación.*

Figura 17. Corrientes de entrada y salida del área de producción de glicerina en la primera evaporación.

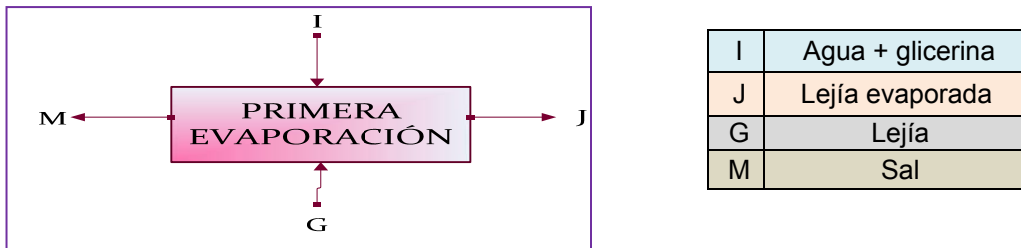


Tabla 12. Datos suministrados para la primera evaporación.

CORRIENTES DE ENTRADA	CORRIENTES DE SALIDA		
	Corriente G	Corriente J	Corriente M
%glicerina 1.85%	10287.16kg de lejía	1440.20kg de lejía evaporada	925.84Kg de sal
	% de glicerina 13.28%	%Glicerol 34.55%	%glicerina 5.15%
	Otros % 14%	%Cloruros 14.47%	
	% de agua 72.72%	%Agua 50.98%	

Fuente: AZULK S.A., 2007.

- *Balance general:*

$$10287.16 = I + J + M$$

$$G = I + J + M$$

- *Balance por Glicerol:*

$$X \cdot G = X \cdot I + X \cdot M + X \cdot J$$

$$0.1328 \cdot G = 0.0185 \cdot I + 0.0515 \cdot M + 0.3455 \cdot J$$

- *Cantidad de cloruros:*

$$514.35 = \text{cloruros en J}$$

$$1440.20 - 925.84 = 514.358$$

- *Cantidad total de glicerol en J:*

$$1228.13 \text{ kg de Glicerol}$$

$$34.55 \cdot (514.358 / 14.47) = 1228.13$$

- Cantidad de agua en J:
1812.16kg de agua en J

$$50.98 \cdot (514.358 / 14.47) = 1812.16$$

$$514.358 + 1228.13 + 1812.16 = 3554.65$$

3554.65kg de lejía evaporada

- Cantidad de agua:
 $10287.16 - 3554.65 - 925.84 = I$
5806.67kg de agua

$$G = I + J + M$$

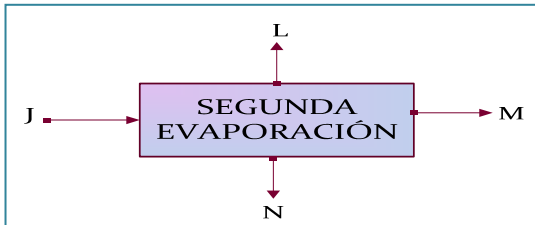
Se asume que el 10% de ésta cantidad se pierde como vapor a la atmósfera.
 $5806.67 \cdot 0.1 = 580.66$
580.66kg de vapor de agua

$$5806.67 \text{ kg de agua} - 580.66 \text{ kg de vapor de agua} = 5226$$

5226 kg de agua desechada.

- Concentración por segunda evaporación:

Figura 18. Corrientes de entrada y salida del área de producción de glicerina en la segunda evaporación.



L	Agua
M	Lejía cruda y lejía evaporada
N	Sal
J	Lejía de la primera evaporación en j

Tabla 13. Datos suministrados para la segunda evaporación.

CORRIENTES DE SALIDA			
Corriente L	Corriente M	Corriente N	Corriente J
% glicerina 4.49%		319.92Kg de sal	
	% de glicerina 72.8%	%Glicerina 7.17%	%glicerina 34.55%
	Otros % 8.40%		Otros % 14,47%
	% de agua 18.73%		%agua 50.98%

Fuente: AZULK S.A., 2007.

• *Balance general:* $J = L + M + N$

• *Balance por Glicerol:* $X \cdot J = X \cdot L + X \cdot M + X \cdot N$

$$0.3455 \cdot J = 0.0185 \cdot L + 0.0515 \cdot M + 0.3455 \cdot J$$

$$3554.64 \cdot 0.1447 = 514.35$$

514.35 kg de sal en M

• Es decir que en M sale:

$$514.358 - 319.92 = 194.44 \text{ kg de sal en M}$$

$$72.8\% \cdot (194.44 \text{ kg} / 8.40\%) = 1685.15 \text{ kg de glicerol}$$

$$18.73\% \cdot (194.44 / 8.40) = 433.55 \text{ kg de agua}$$

$$\text{Cantidad total de M} = 194.44 + 1685.15 + 433.55 = 2313.14$$

2313.14 kg lejía cruda = M

• *Cantidad de agua:* $3554.64 - 2313.14 - 319.92 = L$

921.58 kg de Agua

Se asume que el 10% de ésta cantidad se pierde como vapor a la atmósfera.

$$921.58 \cdot 0.1 = 92.158$$

$$921.58 - 92.158 = 829.42$$

829.42 kg de Agua desechada

• Balance de masa para el proceso de destilación:

Figura 19. Corrientes de entrada y salida del área de destilación.

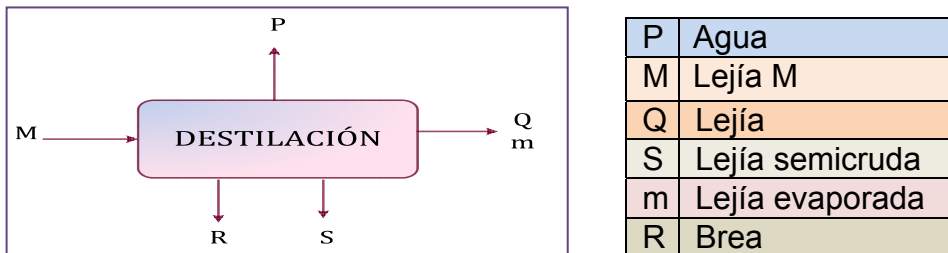


Tabla 14. Datos suministrados en el área de destilación.

CORRIENTES DE SALIDA			
Corriente M	Corriente Q	Corriente S	Corriente R
glicerol 72.87%	glicerol 98%	glicerol 34.5%	glicerol 6.18%
Otros 8.4%	agua = 2%	cloruros 14.47%	agua 5%
agua 18.73%		agua 50.98%	Otros 88.82%
Cantidad de cloruros en la entrada = 194.30kg Cantidad de otros en la salida = 29.94kg			cloruros 164.36kg
			Kg de brea en 1kg de lejía = 0.08

Fuente: AZULK S.A., 2007.

2313.14kg de lejía * (0.08kg de brea/ 1kg de lejía) = 185.05

185.05 kg de brea.

Cantidad total de S = lejía semicruda

(29.94/0.1447) = 206.91kg de lejía semicruda

• *Balance general:*

$$M = P + R + Q + S$$

$$2313.14 - 185.05 - 206.91 = P + Q$$

$$P + Q = 1921.18$$

• *Balance por glicerol:*

$$X^* M = X^* P + X^* Q + X^* S + X^* R$$

$$0.7287^* M = 0.12^* P + 0.98^* Q + 0.345^* S + 0.0618^* R$$

$$1685.58 - 71.38 - 11.44 = 0.12^* P + 0.98^* Q$$

$$1602.76 = 0.12^* P + 0.98^* Q$$

P = 325.58kg de agua

Q = 1595.61kg de glicerina destilada

El 10% Del agua en P se va a la atmosfera como vapor de agua:

$$325.58^* 0.10 = 32.558 \text{ kg de vapor de agua}$$

$$325.58 - 32.558 = 293$$

293 Kg de agua desechada

4.3.2.3. Agua total que se desecha de los procesos productivos. Para hallar el total de agua desechada de los procesos productivos en AZULK S.A se totaliza la cantidad de agua desechada y hallada en el balance anterior así:

Agua de la primera evaporación + agua de la segunda evaporación+ agua destilación + agua de secado = agua total desechada en los procesos productivos, es decir:

2338.25kg de agua que se desecha + 5226 kg de agua que se desecha + 829.42kg de Agua que se desecha + 293Kg de agua que se desecha = 8686.67Kg / lote.

Agua total desechada de los procesos = 8686.67Kg / lote = 669.46 m³/mes

4.3.2.4. Agua total que se desecha en las diferentes zonas de producción. El agua total desechada en la diferentes zonas de producción se muestra en la tabla 10, esta incluye lavado de pisos y traperos, lavado de equipos, purgas, reboses, y grietas. Agua en recepción de materias primas + agua en glicerina + agua en vacío 1 + agua en vacío 2 + agua en planta de cremas + agua en planta de líquidos + agua en calderas + agua en tocador b + agua laboratorio + agua de PTAR = agua total desechada en las diferentes zonas de producción, es decir:

27.15 m³/mes + 56.95 m³/mes + 0.87 m³/mes + 10.45 m³/mes + 2.1 m³/mes + 4.7 m³/mes + 56.36 m³/mes + 2 m³/mes + 25.85 m³/mes + 6 m³/mes = 186.43 m³/mes

Agua total desechada en las zonas de producción = 191.43 m³/mes

4.3.2.5. Ingreso de aguas residuales industriales mensualmente a la PTAR. El afluente de la PTAR se calculó teniendo en cuenta el balance de agua en los procesos productivos, el agua total desechada en las zonas de producción y el agua que queda en las tuberías que se estima en un 15% del agua total captada. Agua total desechada de los procesos + agua total desechada en las zonas de producción + agua que queda en las tuberías = agua total captada mensualmente en la PTAR, es decir:

669.46 m³/mes + 191.43 m³/mes + 126.87 m³/mes = 972.70 m³/mes

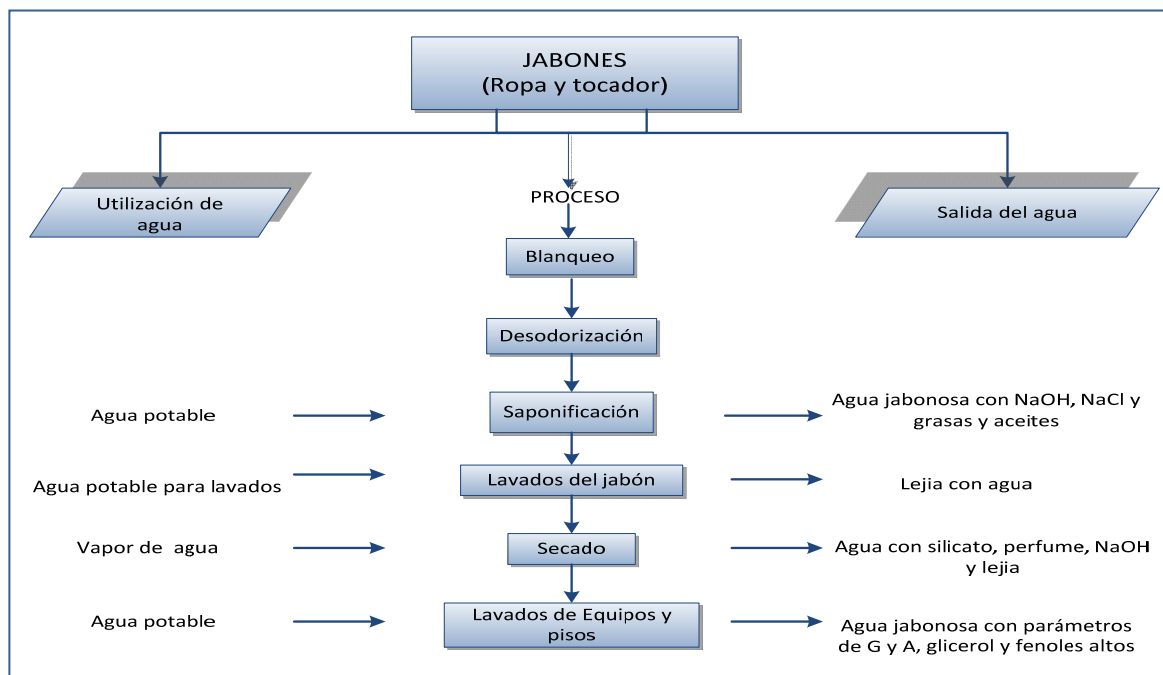
Agua total captada mensualmente en la PTAR = 972.70 m³/mes

4.3.3 Características del agua residual en los procesos industriales de AZULK. A lo largo de los diferentes procesos en la industria del jabón se consume gran cantidad de agua (ver tabla 10, figura 12 y figura 14) y en consecuencia se generan grandes volúmenes de agua residual con una composición muy variable dependiendo de la clase de jabón y de subproducto que se fabrique con una gama muy diversa de contaminantes.

En las siguientes figuras (20, 21, 22 y 23) se describen los principales vertimientos generados por cada proceso y sus respectivos contaminantes los

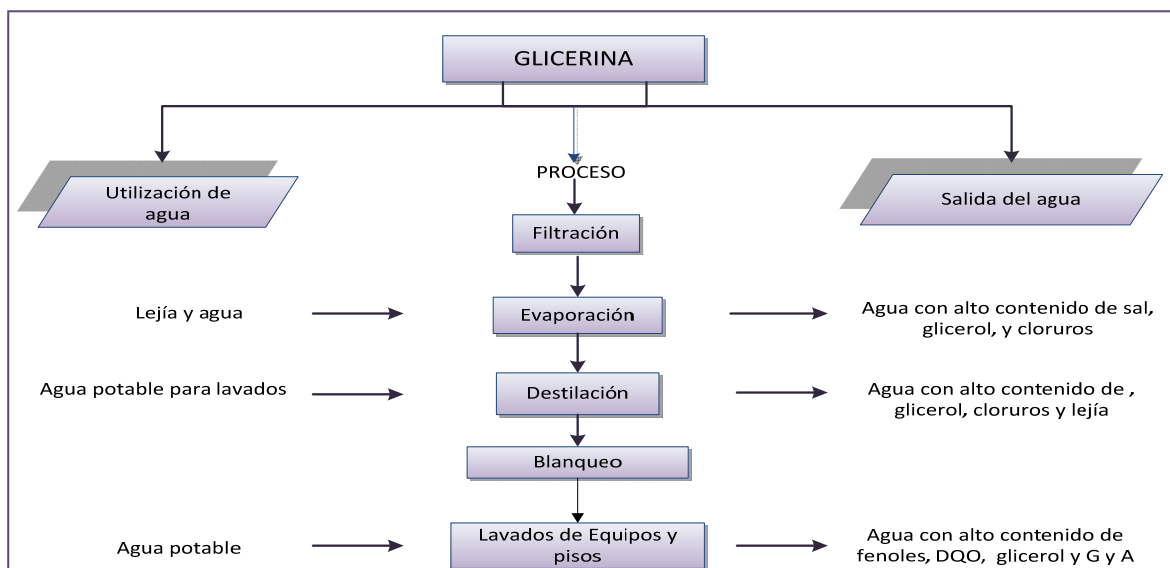
cuales se identifican a fondo en el numeral 4.3.4 de acuerdos a las caracterizaciones realizadas.

Figura 20. Características del agua residual proveniente de la producción de jabones.



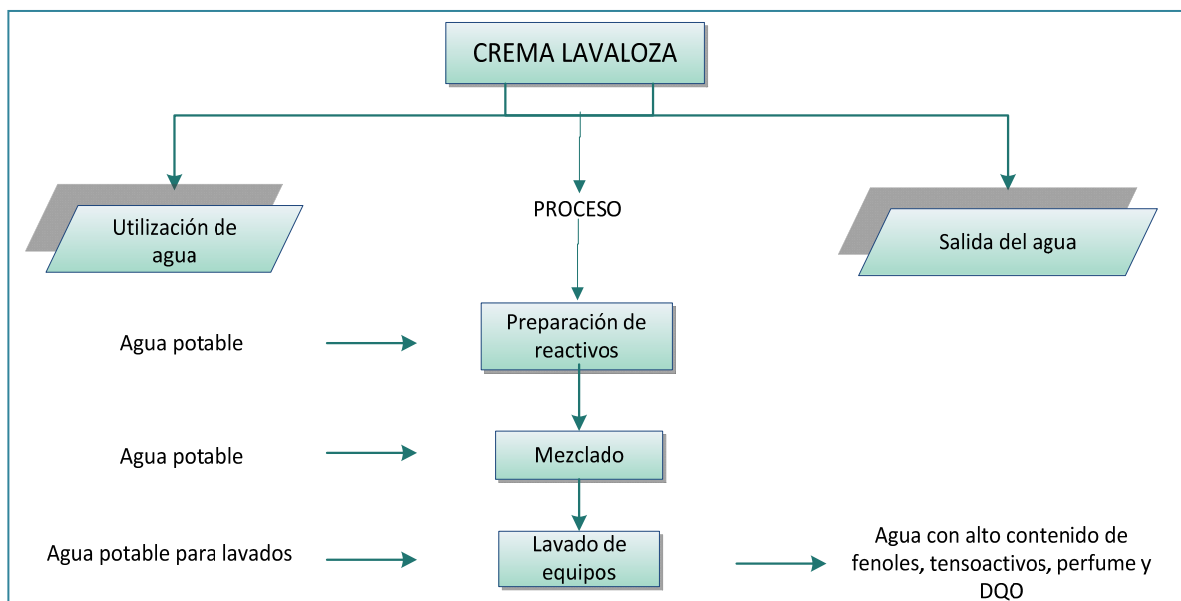
Fuente: La autora, 2008

Figura 21. Características del agua residual proveniente de la producción de glicerina.



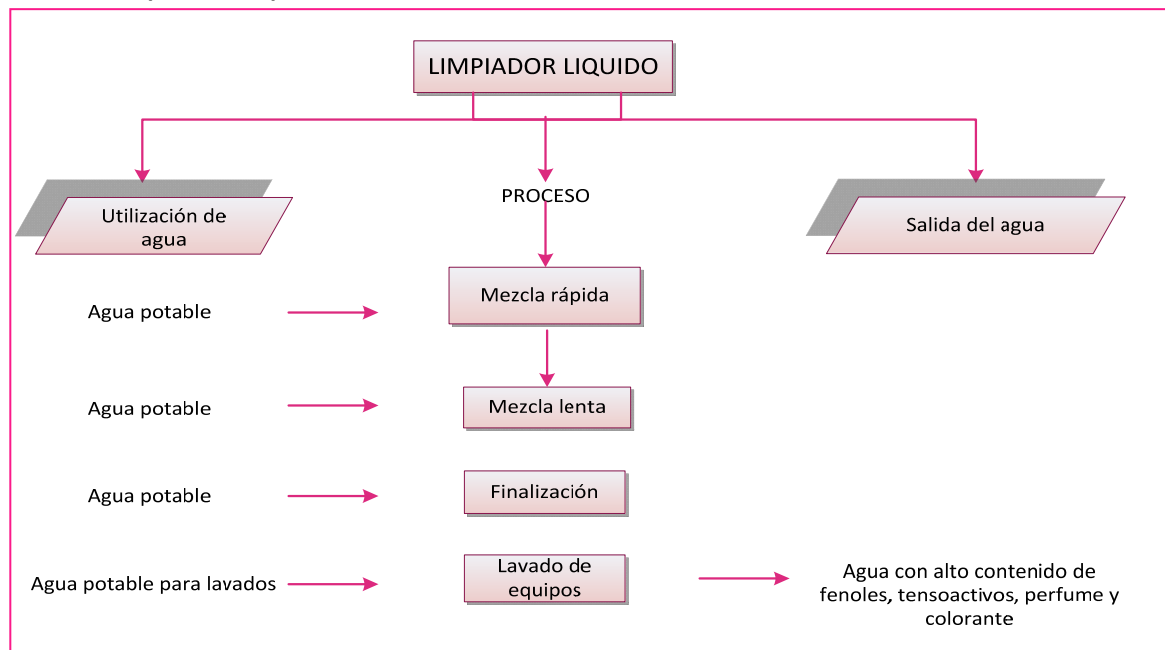
Fuente: La autora, 2008

Figura 22. Características del agua residual proveniente de la producción de crema lava loza.



Fuente: La autora, 2008

Figura 23. Características del agua residual proveniente de la producción de crema limpiador liquido



Fuente: La autora, 2008

4.3.4. Caracterizaciones. La importancia de la etapa de caracterización radica en que de ella depende en gran parte los ahorros que se obtengan por las mejoras en los procesos, costos de inversión y de operación de los sistemas de tratamientos de efluentes. Con esto se definirá el esquema de tratamiento que corresponde a la calidad del agua vertida y los parámetros de diseño correspondientes.

Los informes de caracterización fueron realizados por: los operarios de la planta de tratamiento de aguas residuales AZULK S.A con el apoyo de la investigadora, en el laboratorio AZULK S.A. y externos en Analquim.

Para el desarrollo de esta etapa del proyecto se realizaron dos campañas de caracterizaciones fisicoquímicas en laboratorios interno y externos: La primera, se realizó a los vertimientos generados en la planta de producción de jabones, glicerina, líquidos y crema lava loza, con el fin de hacer un seguimiento para determinar las características del vertimiento al pozo de captación de la PTAR, e identificar los puntos con mayor carga contaminante, y de ésta forma plantear acciones para reducirlos. La segunda, se realizó en la PTAR con el fin de estudiar el funcionamiento de cada etapa tratamiento, teniendo en cuenta su porcentaje de remoción y caudal, obteniendo de ésta forma información para realizar las modificaciones necesarias tendientes a reducir los volúmenes de las descargas y mejorar la calidad de éstas. (Ver capítulo 6).

4.3.4.1. Primera campaña de caracterización en el agua residual de AZULK S.A. El muestreo se desarrolló en el mes de Octubre de 2007, éste fue realizado de forma puntual en el momento en el cual se generaba el vertimiento, no se desarrolló de forma compuesta debido a que la fuente del vertimiento no es constante y es originada en diferentes momentos del mes durante la jornada de producción. Para esta primera campaña de caracterizaciones se recolectó una muestra puntual de cada punto de 1000ml y se analizaron parámetros de: DQO, DBO, fenoles, pH, temperatura, grasas y aceites. De tal forma que se pudiera recolectar la información necesaria acerca de las características fisicoquímicas de los diferentes puntos de descargas industriales contaminantes y se determinaron como puntos de muestreo las principales fuentes de vertimientos a la PTAR: lavados planta de líquidos, lavados planta de crema lava loza, lavados vacío I y II, Pozo barométrico desodorización, pozo barométrico vacío I, pozo barométrico vacío II, purga silos, piscina de evaporación, condensados bomba marranito. A continuación en la tabla 15 se encuentran los valores de los resultados del programa de la primera campaña de caracterizaciones.

Tabla 15. Informe de la primera campaña de caracterizaciones.

N° muestra	PUNTOS MUESTREO	PARÁMETROS						
		T (°C)	pH unidades	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Fenoles (mg/l)	G y A (mg/l)	DBO/DQO
1	Lavados planta de líquidos	17,5°	6	18698	10349	0,35	45	0,55
2	Lavados planta de crema lava loza	30,5°	11,6	20022	11134	0,03	65	0,56
3	Lavados vacío I y II	29°	4,69	6309	4350,85	0,37	2378,5	0,69
4	Reboses pozo barométrico desodorización	27°	4,56	1046	619,5	0,68	26305,5	0,59
5	Reboses pozo barométrico vacío I	27,8°	4,71	8102	517,46	0,02	3532,5	0,06
6	Reboses pozo barométrico vacío II	28,1°	4,2	1878	1039	0,03	4234	0,55
7	Purga silos	26°	4,8	3081	1682,5	0,88	53130	0,55
8	Reboses piscina de evaporación	33°	5,1	8056	4354,2	0,68	39233	0,54
9	Condensados bomba marranito	48°	6	46	33,5	0,49	23524,66	0,73
10	Piscina destilación	30°	4,81	7315	3781,06	10,76	18642,5	0,52
11	Reboses pozo barométrico evaporación de glicerina	32°	5,02	4542	2951	0,68	39233	0,65
12	Lavadero laboratorio	17°	6,7	2512	1456	0,5	5429,79	0,58
13	Lavados calderín	45°	6,2	5710	3855	8,5	26305,05	0,68
14	Lavados tocador B	25°	7,9	4350	0,38	0,6	1836	0.0001

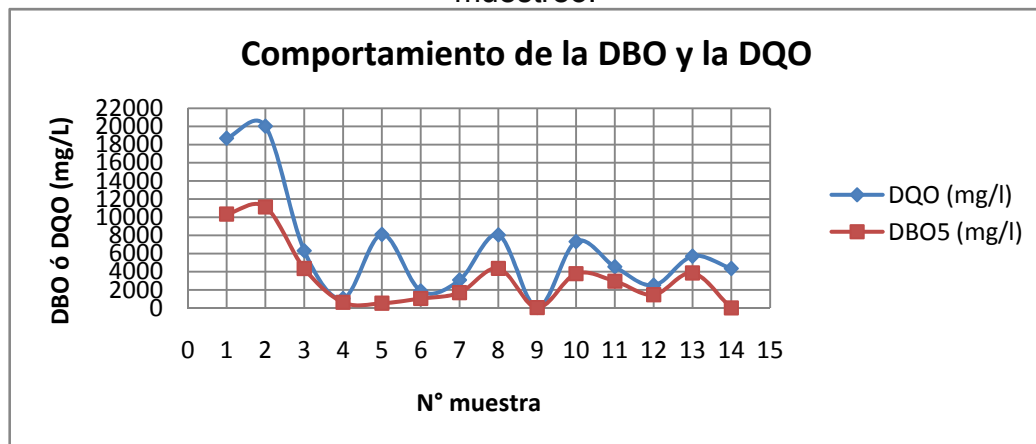
Fuente: La autora, 2008

De acuerdo a la tabla 15, de los resultados de la primera campaña de caracterización se puede concluir:

- El mayor aporte de carga contaminante es causado por los lavados y reboses en los diferentes procesos de producción (ver figuras 20,21,22,23), lo cual conlleva a tomar una acción preventiva de emergencia en la fuente generadora de la descarga, descrita en el capítulo 6.
- Según la figura 24 el comportamiento de la DBO y la DQO es muy variable y depende del proceso que se esté realizando, además no presenta la relación

encontrada en teoría, teniendo en cuenta que los valores de DBO y DQO son indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante y que generalmente en aguas residuales, un valor de la relación DBO/DQO menor de 0.5, se interpreta como un vertimiento de tipo inorgánico no biodegradable, así mismo, el vertimiento se garantiza como orgánico biodegradable, si dicho valor es mayor o igual de 0.5.²¹ En virtud de lo anterior el agua residual industrial de AZULK S.A, en algunos casos, es de tipo orgánico (ver tabla 15), lo cual indica que ésta puede ser tratada biológicamente. De esta forma se espera que la composición del agua residual en el pozo de captación esté sujeta a las actividades del proceso desarrolladas diariamente y sea muy variable en cuanto a parámetros de DBO y DQO; también se puede observar el aumento brusco en las muestras 1 y 2 para el parámetro de DQO, puesto que son las muestras correspondientes a la planta de líquidos y de crema lava loza, las cuales generan vertimientos con este tipo de característica por las materias primas empleadas en estos procesos de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 3.

Figura 24. Comportamiento de la DBO y DQO en los diferentes puntos de muestreo.

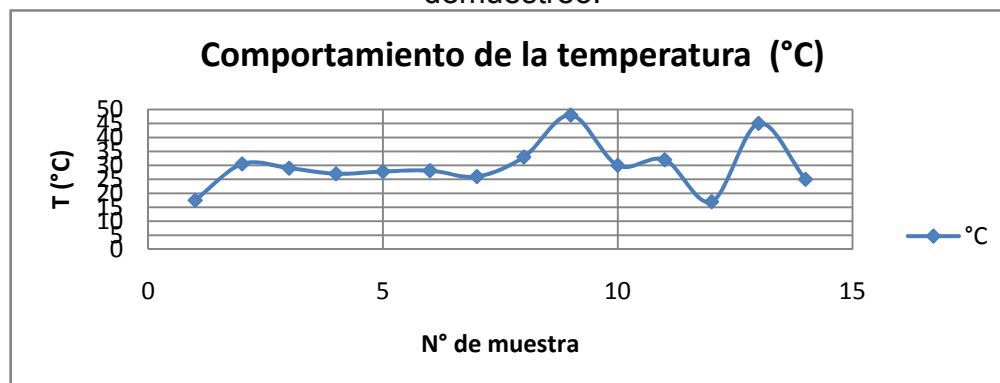


Fuente: La autora, 2008

- De acuerdo a la figura 25, la temperatura de la mayoría de los vertimientos excede los 25°C hasta aproximadamente los 50°C, lo cual hace que las trampas grasas no funcionen apropiadamente y las grasas se solubilizan y pasen a través de éstas sin ser retenidas, afectando los tratamientos posteriores.

²¹ ROMERO ROJAS. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá .Escuela de ingeniería,2000.

Figura 25. Comportamiento de la temperatura en los diferentes puntos de muestreo.

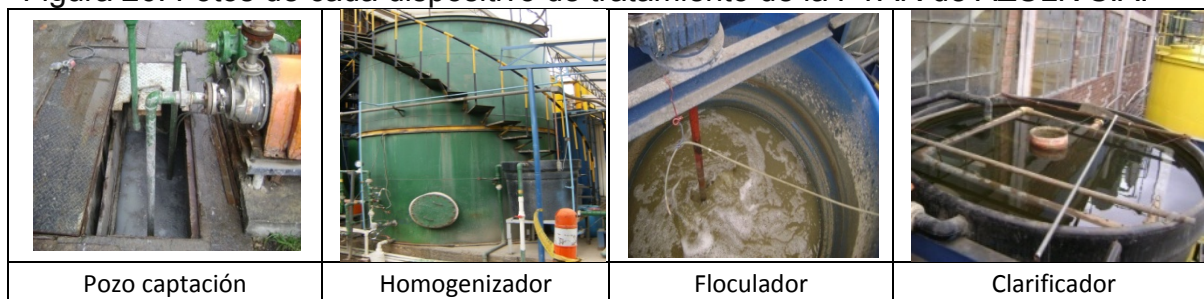


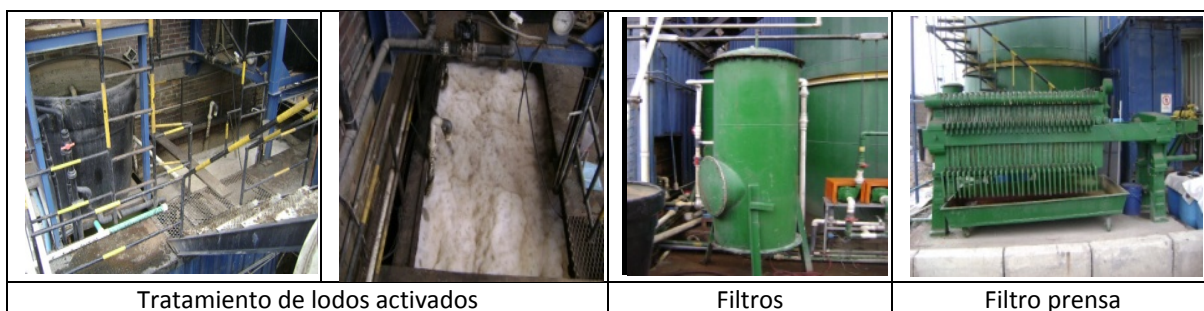
Fuente: La autora, 2008

4.3.4.2. Segunda campaña de caracterización en AZULK S.A. El muestreo se realizó en el mes de noviembre, de forma compuesta y teniendo en cuenta el tiempo de retención de cada dispositivo de la PTAR (ver figura 26). Esta campaña de caracterización se enfocó hacia la evaluación, el comportamiento y la eficiencia de cada una de las unidades de tratamiento, enunciadas a continuación:

- Pozo de captación.
- Homogenizador (entrada al tto).
- Tratamiento fisicoquímico.
- Clarificador.
- Tratamiento con lodos activados.
- Filtros.
- Cloración ó desinfección (efluente de salida del tto).

Figura 26. Fotos de cada dispositivo de tratamiento de la PTAR de AZULK S.A.





Fuente: La autora, 2008

Para realizar la caracterización de los afluentes de la PTAR de AZULK, se requirió hacer un muestreo de tipo compuesto, recogiendo muestras individuales; éstas se tomaron en el mismo punto pero en distintos tiempos y se combinaron al final del tiempo de muestreo (8 horas cada 30 min.) teniendo en cuenta el método adecuado para la recolección de éstas (ver anexo C), con el fin de obtener la muestra compuesta, además se midieron los siguientes parámetros *in situ* : temperatura, pH y caudal (ver anexo C). Los parámetros evaluados en campo se realizaron con equipo digital previamente calibrado y el caudal se aforo por el método volumétrico. Las muestras individuales se refrigeraron con el fin de evitar su alteración hasta realizar la composición al final de la jornada, dicha composición se efectuó recolectando una alícuota proporcional al caudal; además para el análisis de grasas y aceites se realizó un muestreo puntual dentro de la jornada de caracterizaciones. Los resultados y los análisis obtenidos del muestreo compuesto realizado en cada uno de los dispositivos de la PTAR y analizados en el laboratorio de AZULK S.A y ANALQUIM se dan a conocer a lo largo del capítulo 5, y los soportes de los resultados se dan a conocer el anexo C.

5. DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y OPERATIVO DE LA PTAR EN AZULK S.A.

En este capítulo se describen las generalidades y el diagnóstico técnico y operativo de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de AZULK S.A. teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el muestreo compuesto mencionados a lo largo del presente capítulo.

5.1. GENERALIDADES DE LA PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de jabones AZULK S.A., fue diseñada y construida por la empresa CHEMSER LTDA²², durante los años 1998 a 1999 para un periodo de diseño de 10 años, las características del vertimiento de ese año se presentan en la tabla 16, así como las características de vertimiento en la actualidad.

Tabla 16. Calidad de agua residual AZULK 1998 Y 2008.

VARIABLE	AGUA RESIDUAL AZULK (1998)	AGUA RESIDUAL AZULK (2008)	NORMA NACIONAL
pH	4.9 – 11.7	5.47	5 - 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	426 – 479	2113	< 800
DBO ₅ (mg/l)	5554 – 6867	4275	<1000
DQO (mg/l)	3625 -3850	10010	<2000
SAAM (mg/l)	1 - .3.5	9.8	<0.5
Grasas y aceites (mg/l)	130 – 160	1098	<100
Fenoles (mg/l)	3 – 3.75	2.24	<0.2
Caudal (m ³ /h)	2.5	1.02	----

Fuente: La autora, 2008

²² AZULK S.A. Departamento de gestión ambiental, 2007-2008.

La PTAR cuenta en la actualidad con procesos fisicoquímicos y biológicos que garantizan la remoción de cargas contaminantes tal como se muestra en la tabla 17, derivada de los resultados del balance de cargas que se exponen en el numeral 5.2.1.

Tabla 17. Remoción de cargas contaminantes en la PTAR de AZULK S.A.

Parámetro	% de remoción de cargas contaminantes
DBO ₅	77 %
DQO	84%
SST	78%
A Y G	92%

Fuente: La autora, 2008

Como se puede observar en la tabla 17, la calidad del agua residual actual difiere de la calidad del agua del año 1998 en cantidades considerables, puesto que la empresa ha ido incrementando su producción fabricando nuevas líneas de productos, y así mismo el consumo del recurso agua ocasionando un afluente a la PTAR con mayor carga contaminante.

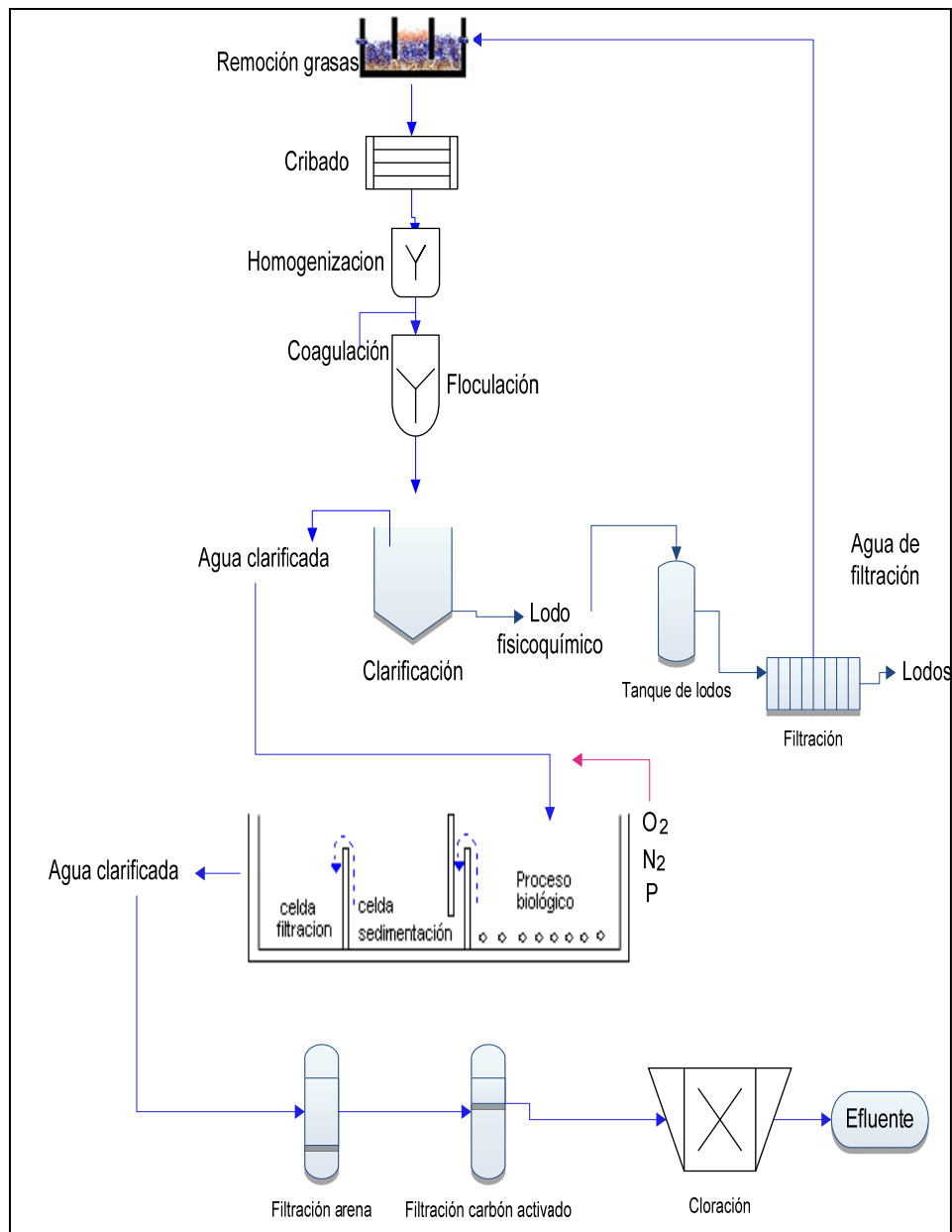
El personal a cargo de la operación de la planta se encuentra conformado por tres operarios que laboran en tres turnos de 8 horas cada uno.

A la PTAR entra diariamente 45m³ y se trata un volumen de aproximadamente 24.67m³/día, con un caudal promedio de tratamiento de 1,36 m³/h.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El diagrama de procesos del tratamiento se presenta en la figura 27, y el diagrama de instrumentos y tuberías y diagrama de bloques en el anexo D.

Figura 27. Diagrama de procesos PTAR, AZULK S.A.



Fuente: La autora, 2008

El agua proveniente de los diferentes procesos de producción del jabón y la glicerina pasa a través de tres trampas grasas ubicadas en la zona de vacío, glicerina y por último en la PTAR. Ésta posteriormente es transportada a un pozo de captación dotado de mallas para la separación de sólidos y un sistema de bombeo, con dos bombas sumergibles controladas automáticamente con sensores de nivel.

Posteriormente se encuentra el tanque de homogenización. Este es alimentado con agua cruda por las bombas sumergibles del pozo, la cual es conducida hacia el tratamiento físicoquímico, dicho tratamiento, está compuesto por un tanque y tres bombas dosificadoras de floculante, coagulante y soda cáustica respectivamente. Por medio de éste se eliminan los sólidos suspendidos totales, las grasas y el jabón presentes en el agua cruda, controlando el valor del pH; los lodos precipitados en este tratamiento llegan a un tanque de lodos activos para posteriormente ser deshidratados en el filtro prensa. Seguidamente el agua es dirigida hacia un tanque clarificador (sedimentador primario) donde el floc formado anteriormente precipita y el agua clarificada pasa al tratamiento biológico por medio de flautas de PVC ubicadas en la parte superior del tanque.

Luego el agua pasa por un tanque con lodos activados aerobios, compuestos principalmente por colonias de ciliados mesófilos, alimentados con nutrientes en concentraciones determinadas de nitrógeno y fósforo. Luego pasa a una celda de sedimentación, y una de filtración, donde el agua clarificada es transportada hacia dos filtros de arena y carbón activado respectivamente, y los lodos generados en el tratamiento pasan al filtro prensa y otra parte se recircula. El agua proveniente de los filtros pasa a un tanque de cloración donde es desinfectada.

Finalmente el efluente en la fase de descarga es conducido hacia una caja de inspección ubicada a la salida de la empresa de acuerdo a lo estipulado en la resolución 1074 de 1997 y con las características mostradas en la tabla 18 en la cual se presenta la comparación de los resultados obtenidos de las muestras de agua a la entrada y salida de la PTAR, analizadas contra los valores máximos permisibles de la resolución 1074 del 28 de octubre 1997 establecida por el DAMA para vertimientos a un cuerpo de agua y/o red de alcantarillado público²³.

Tabla 18. Comparación del agua residual de entrada a la PTAR de AZULK con la norma.

PARAMETRO DE INTERES ANALIZADO	Unidad	Agua residual entrada a la PTAR AZULK	Resolución 1074/97	Agua residual Salida de la PTAR AZULK
pH (promedio)	unidades	5,47	5 a 9	5.35
Temperatura (promedio)	°C	15,29	<30	18.98
Caudal (promedio)	m ³ /h	2,133	-----	0.91
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	2113	800	480
Sólidos sedimentables (Ss)	mg/L	10	2	1.2
DBO	mg/L O ₂	4275	1000	987
DQO	mg/L O ₂	10010	2000	1173
Grasas y aceites	mg/L	1098	100	78
SAAM	mg/L	9,8	0,5	0.36
Fenoles	mg/L	2,24	0,2	0.14

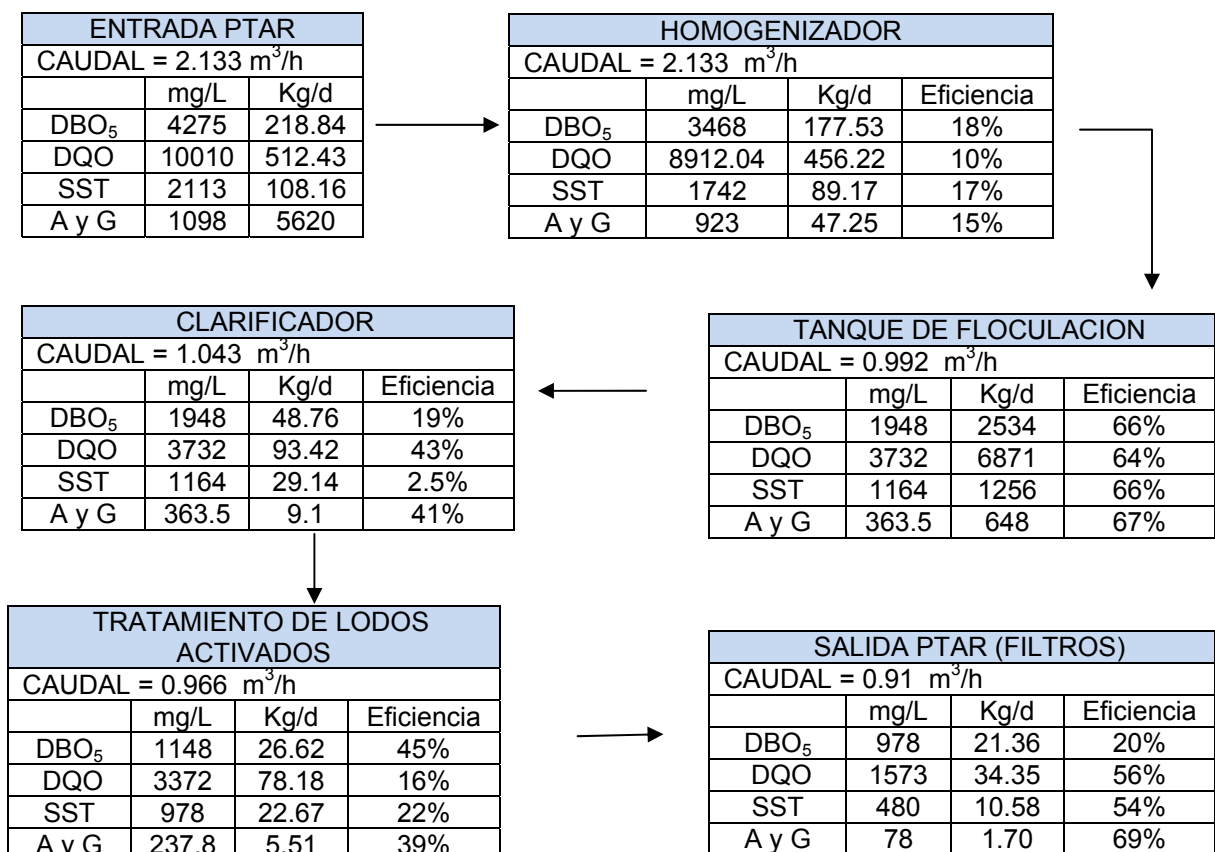
Fuente: La autora, 2008.

²³ ACERCAR. Ventanilla de asistencia técnica y ambiental. http://www.acercar.org.co/industria/legislación/hidr_vertimientos.html.

En la anterior tabla se observa que la mayoría de los parámetros del agua residual de entrada a la PTAR de AZULKS.A. están excediendo los límites de permisibilidad de la norma ambiental, de acuerdo a lo anterior los dispositivos de la PTAR deben remover la cantidad de concentración necesaria para que el vertimiento este dentro de parámetros, dejando el agua de salida con las características mostradas en la tabla 18, los cuales se encuentran dentro de los límites de la norma pero están muy cerca del límite superior de ésta; por lo tanto se hace necesario un tratamiento más eficiente y adecuado el cual se propone a lo largo del capítulo 5 y 6.

Para realizar el diagnóstico de la planta se tomaron las medidas de cada una de las unidades de tratamiento, se evaluó el estado técnico de cada una de estas y se hizo un seguimiento al sistema de tratamiento por medio de un balance de cargas; dentro de este análisis se determinó: funcionamiento y cumplimiento de parámetros de diseño.

5.2.1 BALANCE DE CARGAS



Los dispositivos de la PTAR de AZULK S.A como son: el homogenizador, clarificador y tanque de lodos activados están enfocados a la remoción de alto porcentaje de grasas, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y un porcentaje de la DBO₅ y la DQO que se encuentra asociada a estos sólidos; de acuerdo al balance de cargas desarrollado anteriormente se analiza que cada una de éstos dispositivos presenta una deficiencia en cuanto a las características del vertimiento, las cuales tienen que ver con las cargas de choque que éste presenta y que no son asimiladas por la homogenización y por las falencias técnicas de cada unidad de tratamiento , lo que puede conllevar a tener un efluente fuera de los parámetros legales, impactos altos sobre el vertimiento y además acarrear sanciones por parte de la entidad ambiental reguladora; en cuanto al tratamiento avanzado (filtros) se puede concluir que tiene una buena remoción pero tiene problemas de colmatación rápida descritos e a lo largo del capítulo 5; según el balance de cargas se encontró que la eficiencia global de la planta es del 79 % el cual difiere de la eficiencia (90%) a la cual fue diseñada la PTAR²⁴ .

5.2.2. Tratamiento Preliminar.

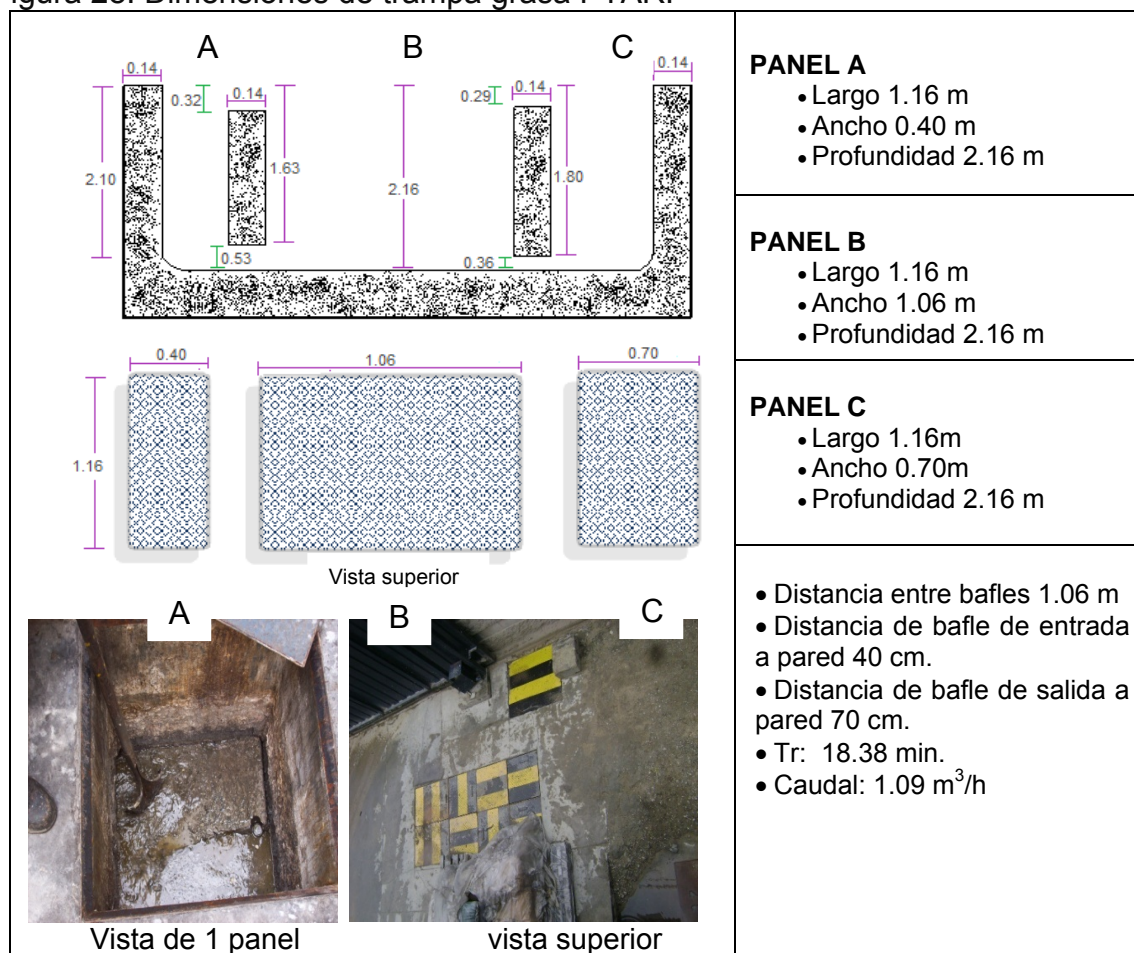
El tratamiento preliminar está conformado por trampas grasas, un cribado y una homogenización. A continuación se presentan cada una de las unidades de tratamiento:

- **Trampas grasas**

Las trampas grasas de AZULK S.A. (ver figura 28), son unidades diseñadas para remover del 50 al 70% de las grasas no emulsionadas.

²⁴ AZULK S.A. Departamento de control de calidad y gestión ambiental, 2008.

Figura 28. Dimensiones de trampa grasa PTAR.



Fuente: La autora, 2008

Existen tres trampas grasas ubicadas en la zona de glicerina, vacío y por último en la PTAR, a las cuales se les realiza mantenimiento y limpieza cada tercer día. Según la caracterización compuesta realizada a estas unidades se encontraron los siguientes porcentajes de remoción mostrados en la tabla 19.

Tabla 19. Remoción de grasas.

SITIO MUESTREO	PROMEDIO AFLUENTE	PROMEDIO EFLUENTE	% DE REMOCIÓN	TIEMPO DE RETENCIÓN	TEMPERATURA (°C)
T. GLICERINA	26.305,5	18.642,5	29,1	9.49 min	42
T.VACIO 1	3954,5	624,8	84,2	9.25 min	26.8
T.PTAR	6757	2978,3	55,9	18.38 min	21.5

Fuente: La autora, 2008

En la tabla anterior se observa que el porcentaje de remoción de las diferentes trampas oscila entre el 20-80%, esto se debe al diseño de cada una de ellas y a las características con las que el efluente llega; el tiempo de retención se tomó de forma experimental, utilizando un colorante a la entrada de la trampa, teniendo en cuenta el tiempo en el que éste se demoró en atravesar la totalidad de la trampa.

La trampa grasas de glicerina se presenta un porcentaje de remoción de 29.1% debido a que la fuente de vertimiento está muy cerca, presentando una temperatura de 42°C, lo que significa que es demasiado caliente y la grasa se ha emulsionado con el agua. De ésta forma las grasas pasan a través de la trampa hacia la PTAR dando como resultado un porcentaje de remoción inferior al de diseño (ver anexo E).

En la trampa grasas de vacío 1 se presenta un porcentaje de remoción de 84.2 % , debido a que el tiempo de retención está dentro de los tiempos recomendados así como las características físicas (temperatura), con las que llega el agua, la cual es conducida directamente al pozo de captación de la PTAR.

En la trampa grasas de la PTAR se presenta un porcentaje de remoción de 55.9%, el cual se encuentra dentro del margen de los parámetros de diseño haciendo que el comportamiento de esta unidad sea favorable.

En relación a las medidas de la trampa grasas de la PTAR, se determinó que la carga hidráulica es inferior ($0.89 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$) a la establecida en los parámetros de diseño ($3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h} - 14 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$)²⁵, al igual que sus dimensiones como se puede notar en la figura 24.

• Pozo de captación.

Existe un pozo con capacidad de 5.4 m^3 (ver figura 29) en donde llegan todas las corrientes industriales vertidas de los diferentes puntos de la planta de producción.

Figura 29. Dimensiones pozo de bombeo.

	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad: 5.4 m^3 • Ancho: 0.60 m • Largo: 2 m • Profundidad: 2.80 m • Tiempo de retención: 2.5 horas • Caudal: $2.133 \text{ m}^3/\text{h}$ • Carga hidráulica (qh): $1.77 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$
---	--

²⁵ BALDA AYALA, Op. Cit., p. 27.

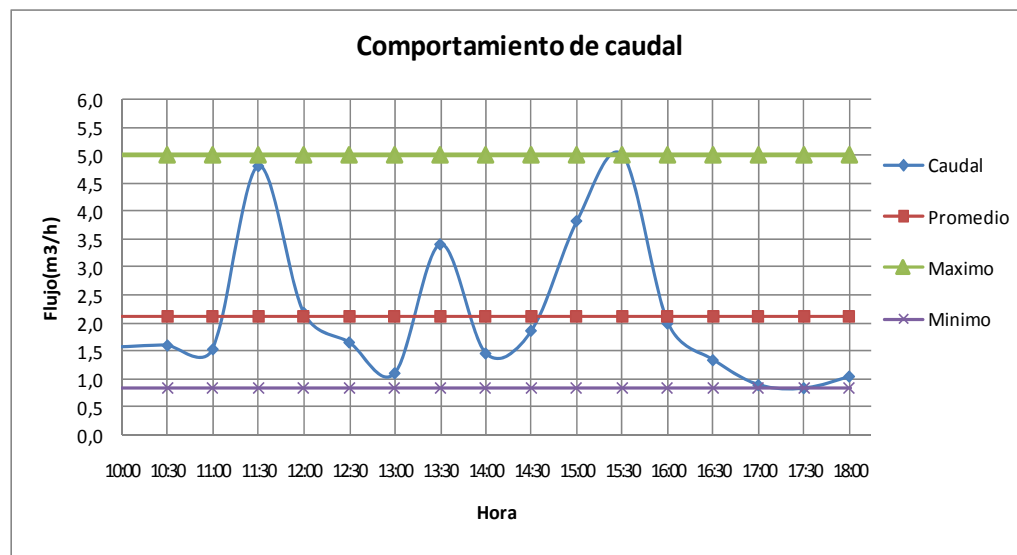
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo : sumergible • Marca: ABS • Modelo: robusta 50 700T • Potencia: 2 Hp • Caudal : 3.88 L/s
	<ul style="list-style-type: none"> • Material: hierro • Espaciamiento entre barras: 1.27 mm • Alto: 1.29 m • Largo: 2 m

Fuente: La autora, 2008

El sistema está dotado de dos rejillas de cribado fino, las cuales están fijadas a una placa de concreto de 1.51m de altura; su limpieza es realizada de forma manual, esta limpieza no es continua lo que ocasiona la acumulación y el paso de sólidos desde la rejilla a las siguientes unidades de tratamiento; los sólidos son recogidos en canecas para su disposición final; el sistema de bombeo está compuesto de dos bombas sumergibles controladas automáticamente con sensores de nivel.

De acuerdo a las caracterizaciones *In-situ* (ver anexo C) y a la figura 30, el flujo de entrada a la PTAR en el pozo de captación presenta grandes variaciones, con un promedio de 2,13 m³/h; entre un rango de 0,84 y 5,06 m³/h. Esta variación se debe a que los vertimientos no son originados en una sola parte del proceso industrial, sino en diferentes plantas ó equipos y en diferentes momentos como se describió en la sección 4.3.1; además las operaciones de lavado de equipos se realizan en fechas asignadas por el departamento de producción para tal fin y éstas resultan ser subjetivas, puesto que cada operario tiene un criterio diferente acerca de la cantidad de agua a utilizar hasta su limpieza total.

Figura 30. Comportamiento del caudal en el pozo captación PTAR.



Fuente: La autora, 2008

De acuerdo a los requerimientos de las directivas de la empresa y a las proyecciones estadísticas (desviación standard) registradas desde el año 2004 a 2007 realizadas por AZULK S.A, se determinó que el caudal de diseño futuro para el sistema de tratamiento de la planta de aguas residuales industriales de la planta de AZULK S.A. para los próximos 15 años es de $3.45\text{m}^3/\text{h}$.

-Características de los vertimientos a pozo de captación de la PTAR (inicio del tto):

- De acuerdo a lo descrito anteriormente en la sección 4.3.3 y 4.3.4 la presencia de contaminantes de tipo orgánico disueltos (grasas, glicerina, jabones solubles, entre otros) son los prevalecientes, complementados por compuestos de tipo inorgánico.
- El agua presenta un pH entre 5 y 6 (ver anexo C) con un promedio de 5,47(ver tabla 20), situación que está asociada a la presencia de coloides hidrofílicos (grupos ester, carboxil e hidroxil) presentes por la naturaleza del vertimiento de jabones, ácidos grasos y glicerol. La tendencia a éste pH se debe principalmente a la presencia de aguas residuales provenientes de la recuperación de aguas glicerinosas, donde a la salida de las pailas el pH es alto por la adición de soda; también se presenta un arrastre de residuos de soda en los lavados de los equipos. Otra fuente que mantiene el pH en éste valor son las purgas del agua de calderas.

Tabla 20. Resultados de caracterizaciones en el pozo captación en AZULK S.A.

PARAMETRO DE INTERES ANALIZADO	Unidad	Valor/ Concentración
pH (promedio)	unidades	5,47
Temperatura (promedio)	°C	15,29
Caudal (promedio)	m ³ /h	2,133
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	125
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	2113
Sólidos sedimentables (Ss)	mg/L	10
DBO	mg/L O ₂	4275
DQO	mg/L O ₂	10010
Grasas y aceites	mg/L	1098
Nitrógeno total	mg/L N	5,6
SAAM	mg/L	9,8
Fenoles	mg/L	1.26
Conductividad	mmohs/cm	33,5

Fuente: La autora, 2008

- La presencia de compuestos fenólicos es permanente y su concentración alcanzó 1,26mg/L, en los análisis sobrepasando el límite normativo de vertimiento que es 0,2mg/L. Su presencia se debe principalmente a los reboses y lavados en el proceso de glicerina. Otra fuente de fenoles, es que algunos componentes activos de jabones se degradan en fenoles y cloro fenoles.
- Las grasas y aceites (1098mg/l), presentes en el agua del pozo de captación se deben a la deficiencia de las trampas grasas de la empresa, relacionada con la temperatura de los vertimientos a éstas (ver figura 25).
- Las sustancias activas al azul de metileno (SAAM), presentan un valor alto (9,8mg/L) y están por encima de la normatividad (0,5 mg/L); su presencia es lógica por arrastre de jabón soluble (componente activo) en el agua residual.
- La conductividad tiene una relación directa con los altos contenidos de iones inorgánicos como cloruros, sulfatos, hidróxidos, etc.

- **Tanque de homogenización.**

El tanque de homogenización es de forma cilíndrica, construido en hierro al carbón con un *manhole* superior para la supervisión visual del nivel del agua y uno lateral para la limpieza (ver figura 31).

Figura 31. Dimensiones tanque de homogenización



Fuente: La autora, 2008

El tanque es alimentado con agua cruda por las bombas sumergibles del pozo con diferentes características fisicoquímicas analizadas en el muestreo compuesto y mostradas en la tabla 21; cuenta con un sensor de nivel para el control automático de las dos bombas que alimentan de agua a la PTAR, el método de homogenización que se utiliza, es la homogenización en línea en donde la totalidad del caudal pasa por un tanque, la cual no es suficiente para que las condiciones del agua sean homogéneas.

Tabla 21. Resultados de caracterizaciones del tanque homogenizador

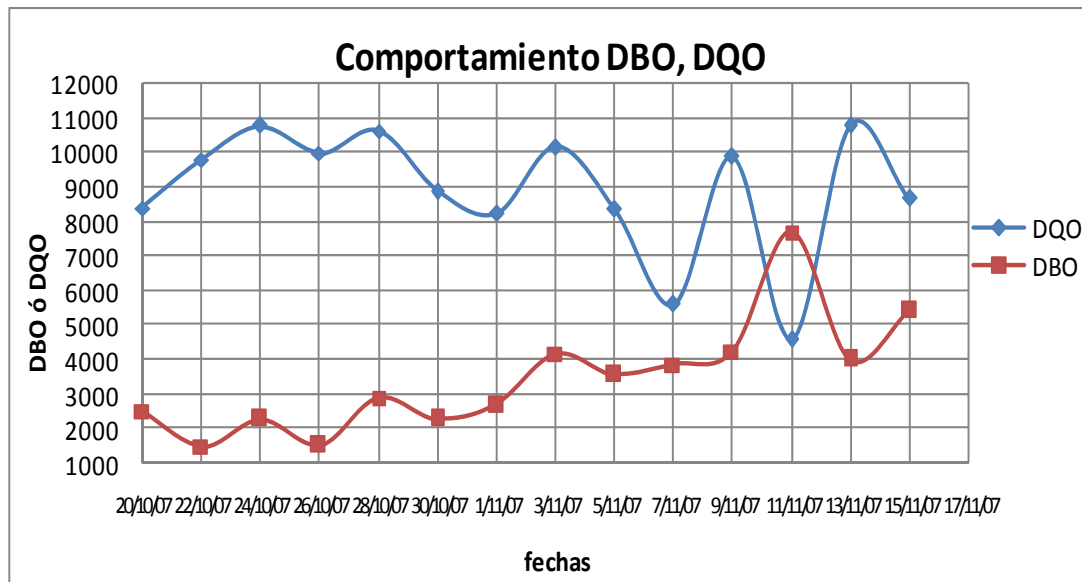
PARAMETRO DE INTERES ANALIZADO	Unidad	Valor/ Concentración
pH (promedio)	unidades	5,49
Temperatura (promedio)	°C	19,67
Caudal (promedio)	m ³ /h	2,133
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	1742
Sólidos sedimentables (Ss)	mg/L	8,2
DBO	mg/L O ₂	3468
DQO	mg/L O ₂	8912,04
Grasas y aceites	mg/L	923
Tensoactivos aniónicos (SAAM)	mg/L	8,6
Fenoles	mg/L	1,18

Fuente: La autora, 2008

El vertimiento presenta concentraciones de materia orgánica muy alta (expresada como DBO y DQO) y a través de los días se presenta fluctuación con periodos de cargas excesivas (ver figura 32), debidas principalmente a las descargas concentradas de glicerina y vertimientos producidos por: regueros de silicato,

condensados, reboses en destilación, lavados en zona de recepción, purgas de silos, cambios de formato en vacío 1 y 2; lo cual conlleva a tener agua en el homogenizador de la PTAR con gran variabilidad y que en algunas ocasiones la DBO esté por encima de la DQO y viceversa, causando un choque de carga que desestabiliza el sistema de tratamiento de aguas residuales en AZULK S.A.

Figura 32. Características del agua de entrada en el homogenizador (DBO, DQO) en AZULK S.A.



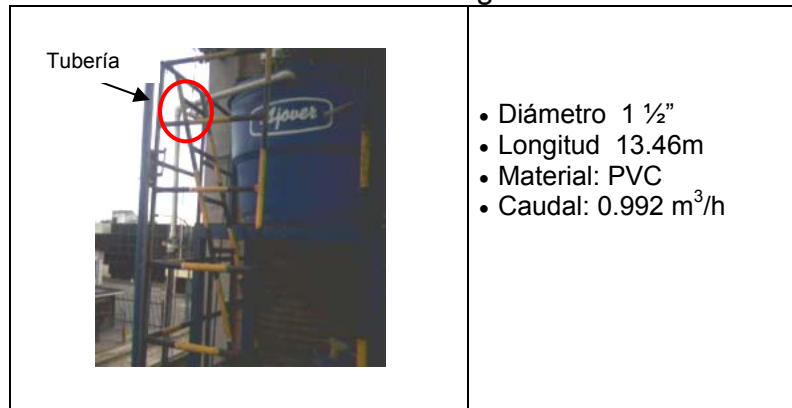
Fuente: La autora, 2008

5.2.3 Tratamiento Primario. El tratamiento primario está conformado por un tratamiento fisicoquímico en el cual se lleva a cabo el proceso de coagulación (mezcla rápida), floculación (mezcla lenta) y finalmente clarificación, en donde el agua clarificada es conducida al proceso de tratamiento biológico por medio de una tubería perforada de 3".

A continuación se presentan cada uno de los procesos mencionados:

• Coagulación

Figura 33. Características de la tubería de coagulación.



Fuente: La autora, 2008

La función de este proceso, es dispersar el coagulante de forma uniforme en toda la masa de agua, con la velocidad necesaria para alcanzar un proceso de coagulación eficaz²⁶. El agua entra a la tubería ubicada antes del tanque de floculación, en ésta, por medio de una bomba dosificadora se agrega soda (NaOH) para estabilizar el pH (7-8), y luego por medio de otra bomba dosificadora se adiciona el coagulante catiónico que es sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), aprovechando así la turbulencia que se presenta en la tubería y así mismo garantizando una mezcla rápida.

Teniendo en cuenta las características de la tubería en la cual se realiza la coagulación en la planta de tratamiento de aguas residuales de AZULK S.A., y los caudales de diseño y actual, se resolvieron las ecuaciones señaladas en el Anexo F, cuyas aplicaciones son manejadas por Tchobanoglous²⁷ en su obra: Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, para verificar en que condiciones se encontraba el proceso de coagulación. Dichos resultados se recopilaban en la tabla 22, permitiendo identificar las diferencias obtenidas en la planta, teniendo en cuenta los parámetros de diseño recomendados por el Ingeniero Roberto Balda Ayala en su obra: Diseño de una guía para el registro de información técnica en visitas industriales en PTAR en Bogotá²⁸.

²⁶ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia.ACODAL, 1979.p95.

²⁷ TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia, Mayo de 2000. P 32-38.

²⁸ BALDA AYALA, Op.cit.,p.27.

Tabla 22. Comparación de los parámetros de diseño respecto a parámetros actuales.

Parámetro	Parámetros de diseño	Caudal (m ³ /h)	
		Q _{diseño} = 2.5m ³ /h	Q _{actual} = 0.992 m ³ /h
Tiempo de retención	15 -60 s	14.40 s	36.29 s
Gradiente hidráulico	100 – 1000 s ⁻¹	613.4 s ⁻¹	160 s ⁻¹

Fuente: La autora, 2008

Como se muestra en la tabla 22, el comportamiento hidráulico en la tubería de coagulación, representado bajo los parámetros de gradiente de velocidad, y el tiempo de retención, en contraposición con los parámetros establecidos en la guía, se establece un apropiado funcionamiento y se garantiza que cumple con una mezcla rápida, como se pudo corroborar en el anexo F, teniendo en cuenta el régimen de flujo que en ésta se presenta (flujo turbulento).

• Floculación

La floculación es el proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, agrandando los flocs de modo de facilitar la precipitación, éste proceso se lleva a cabo en un tanque con un volumen de 1 m³, dentro del cual se encuentra un agitador, así mismo el floculante es dosificado por medio de una bomba dosificadora con su respectivo tanque para el suministro del mismo (ver figura 34).

Figura 34. Dimensiones tanque de floculación.

		<ul style="list-style-type: none"> • Volumen 1m³ • Material PVC • Tr: 51.41 min • RPM 32 • Caudal 0.992 m³/h
---	--	---

Fuente: La autora, 2008

El objetivo principal del tanque de floculación es remover del agua, aceites y grasas libres, sólidos suspendidos, sólidos totales (20 – 30 %), DQO (30 – 40 %), DBO₅ (40 – 50%), que en ella se encuentran controlando así mismo el pH del agua antes de entrar al tanque clarificador.

El agua entra al sistema con un contenido promedio de sólidos totales de 1742 ppm, luego se le agrega el floculante (polímero), y por medio de un agitador mecánico se garantiza una mezcla lenta, para de esta forma ayudar a la formación de los flocs. Este lodo precipita hacia el fondo del tanque para luego ser conducido al filtro prensa.

Tabla 23. Informe caracterizaciones tanque floculación.

PARÁMETRO	Unidad	CONCENTRACION
pH	unidades	8.09
Temperatura (°C)	°C	23.1
Caudal(m ³ /h)	m ³ /h	0.992
SST (mg/L)	mg/L	1256
Ss (mg/L)	mg/L	7.1
G y A (mg/L)	mg/L O ₂	648
DBO ₅ (mg/L O ₂)	mg/L O ₂	2534
DQO (mg/L O ₂)	mg/L	6871
Fenoles	mg/L	0.88
Tensoactivos aniónicos	mg/L	5.9

Fuente: La autora, 2008

En la tabla anterior se muestran los resultados de las caracterizaciones realizadas en esta etapa de tratamiento, en los cuales se puede apreciar la disminución de caudal de tratamiento con respecto al caudal de entrada ocasionando una disminución en el caudal de tratamiento de todo el sistema.

En la tabla 24, se recopila la información obtenida a partir de la aplicación de las ecuaciones, trabajadas por Arboleda²⁹ en el diseño de unidades de floculación y los parámetros de diseño mostrados en el diseño de una guía para el registro de información técnica en visitas industriales en PTAR en Bogotá³⁰, para este mismo objetivo; según se observa en el anexo G; se puede apreciar que para el caudal de diseño se presenta un tiempo de retención menor llegando a causar el rompimiento del floc, y para el caudal actual se presenta un tiempo de retención relativamente alto el cual puede ayudar a que haya una buena sedimentación del lodo en el tanque clarificador, presentando así mismo alcanzar los gradientes de mezcla recomendados.

²⁹ ARBOLEDA, Op. Cit., p.91.

³⁰ BALDA AYALA, Op. Cit., p. 28.

Tabla 24. Comparación de los parámetros de diseño respecto a parámetros actuales.

Parámetro	Parámetros de diseño	Caudal (m ³ /h)	
		Q _{diseño} = 2.5m ³ /h	Q _{actual} = 0.992 m ³ /h
Tiempo de retención	10 -45 min	20.40 min	51.41 min
Gradiente hidráulico	20 – 80 s ⁻¹	22.15 s ⁻¹	22.15 s ⁻¹
Revoluciones por minuto	20 – 40 RPM	32	32

Fuente: La autora, 2008

5.2.3.1. Dosificación de productos químicos

- Neutralización con soda cáustica (NaOH)

La soda cáustica es empleada para aumentar el pH del efluente del tratamiento fisicoquímico el cual se encuentra en un pH inferior a 6. Durante esta dosificación constante por medio de una bomba (8.64 ml/min), para un consumo mensual de 373.3 L; se emplean aproximadamente 340 ppm de NaOH (48%), cantidad determinada por medio de pruebas de jarras en la PTAR.

- Sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃)

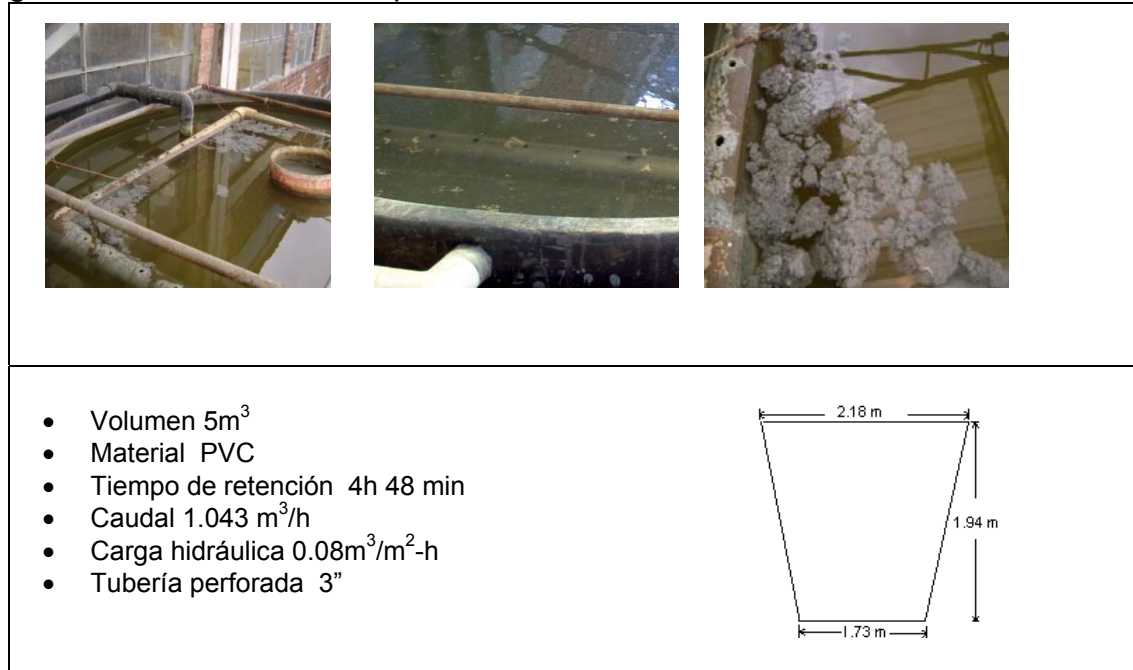
El sulfato de aluminio es el coagulante catiónico, el cual es suministrado por medio de una bomba dosificadora (16.53 ml/min), para un consumo mensual de 714.3 L, para el tratamiento del agua residual a una concentración del 50%, dosificándolo según la calidad del agua entre 650 – 760 ppm, cantidad determinada por medio de pruebas de jarras en la PTAR.

- Flocculante Y-361

El flocculante es dosificado constantemente al tratamiento, por medio de una bomba (17.8 ml/min) para un consumo mensual de 769 L, aproximadamente en 700 ppm, dicha cantidad es determinada por medio de pruebas de jarras en la PTAR.

- **Tanque clarificador**

Figura 35. Dimensiones tanque clarificador



Fuente: La autora, 2008

La clarificación se lleva a cabo en un tanque (tronco cono), el cual tiene una capacidad de 5 m^3 (ver figura 35), en la mitad tiene adecuado un tubo de 30 cm de diámetro al cual llega el agua proveniente del tratamiento fisicoquímico de coagulación y floculación, la función de este tubo es reducir la turbulencia con la que llega el agua y así mismo ayudar a una mejor sedimentación, en este tanque el agua permanece en aquietamiento por 4 horas y 48 minutos, donde los sólidos con peso específico mayor que el agua tienden a depositarse (30%), y luego son conducidos al filtro prensa; y el agua clarificada (70%) pasa por medio de unos tubos perforados (3") ubicados en la superficie del tanque hacia el tratamiento biológico.

De acuerdo a las caracterizaciones realizadas en esta etapa de tratamiento, se obtuvieron los siguientes resultados (ver tabla 25).

Tabla 25. Informe caracterizaciones del clarificador.

PARÁMETRO	Unidad	CONCENTRACION
pH	unidades	6.99
Temperatura (°C)	°C	22.34
Caudal(m ³ /h)	m ³ /h	1.043
SST (mg/L)	mg/L	1164
Ss (mg/L)	mg/L	5.4
G y A (mg/L)	mg/L O ₂	363.5
DBO ₅ (mg/L O ₂)	mg/L O ₂	1948
DQO (mg/L O ₂)	mg/L	3732
Fenoles	mg/L	0.65
Tensoactivos aniónicos	mg/L	3.2

Fuente: La autora, 2008

De acuerdo al balance de cargas mostrado en la sección 5.2.1 y a la tabla anterior se concluye que la baja remoción de los parámetros de sólidos, grasas y aceites, y DBO es debido en primer lugar, a que el fondo del tanque es plano y no permite una buena sedimentación siendo de mayor dificultad la extracción de los lodos, en segundo lugar las dimensiones de la tubo adecuado en el centro del tanque no son apropiadas para el caudal promedio de tratamiento de la PTAR, ocasionando, de ésta forma turbulencia y el paso de sobrenadantes a través de los orificios de la tubería hacia el tratamiento biológico, originando un desequilibrio en éste.

En relación a las dimensiones del tanque clarificador, se determinó que la carga hidráulica es inferior ($0.08 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$) a la establecida en los parámetros de diseño³¹ ($0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-h}$).

5.2.4. Tratamiento Secundario.

El tratamiento secundario está conformado por un tratamiento de lodos activados, seguido de dos celdas una de sedimentación y otra de filtración, éste funciona mediante un proceso de mezcla completa para duplicar el régimen hidráulico del reactor, es agitado por difusores.

De acuerdo a las caracterizaciones realizadas en esta etapa de tratamiento secundario, se obtuvieron los siguientes resultados:

³¹ BALDA AYALA, Op. Cit., p.28.

Tabla 26. Resultados de caracterizaciones del tratamiento biológico AZULK

PARÁMETRO	Unidad	Valor / concentración
pH	°C	5.83
Temperatura (°C)	m ³ /h	24.1
Caudal (m ³ /h)	mg/L	0.966
SST (mg/L)	mg/L	978
Ss (mg/L)	mg/L	4.7
DBO ₅ (mg/L O ₂)	mg/L O ₂	1148
DQO (mg/L O ₂)	mg/L O ₂	3372
OD (mg/L)	mg/L	0.85
NTK (mg/L)	mg/L N	5.04
P (mg/L)	mg/L	0,12

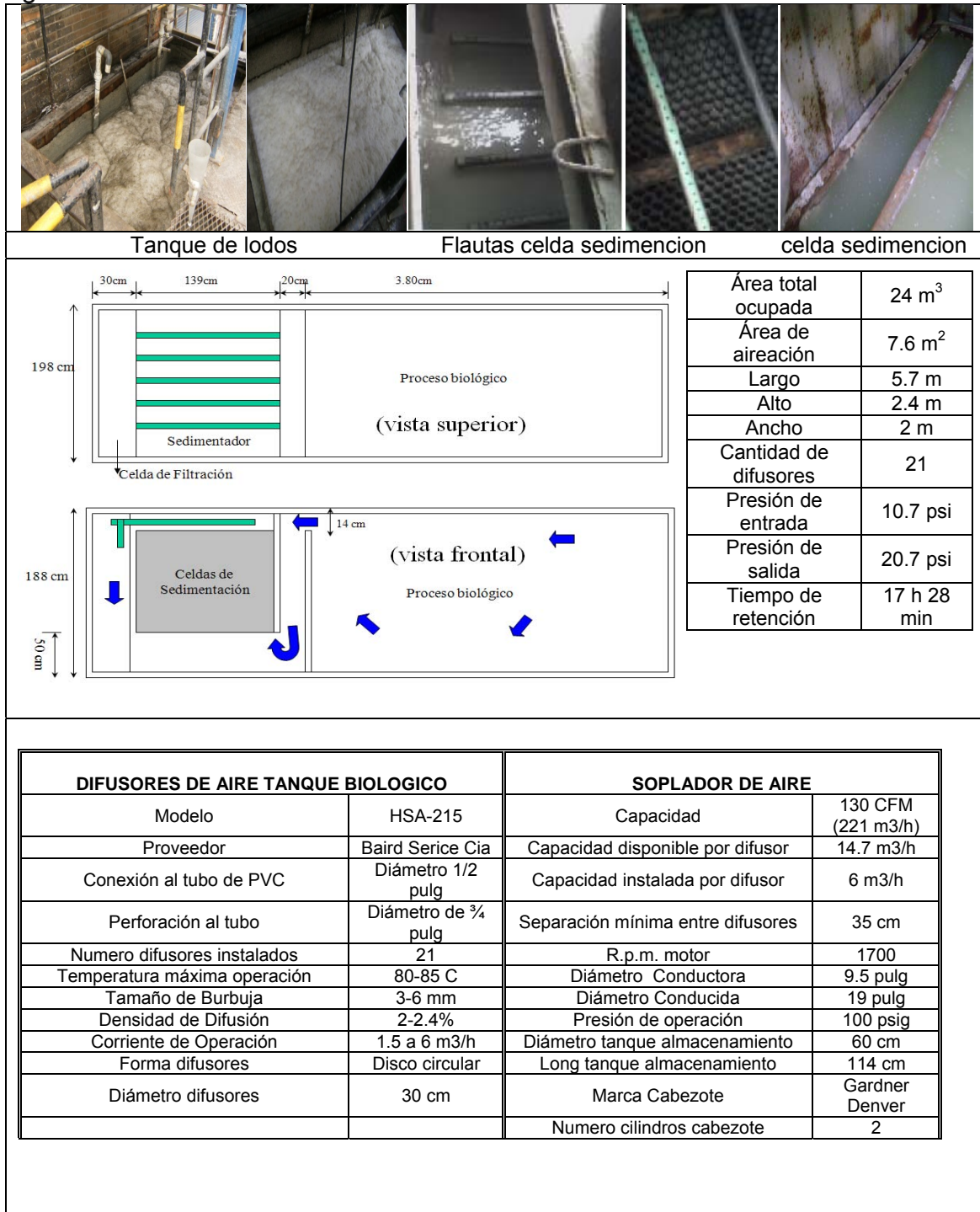
Fuente: La autora, 2008

Éste tratamiento está enfocado a la remoción de materia orgánica soluble en material insoluble. En esta etapa del sistema se presentan deficiencias porque el agua residual no cuenta con una concentración suficiente de nitrógeno para garantizar el crecimiento bacteriano (ligado a la formación de proteínas necesarias para la formación celular). Por tal razón a continuación se describen las unidades de tratamiento mencionadas.

•Unidad de lodos activados (tratamiento biológico)

La unidad de lodos activados (ver figura 36) es alimentada con un 70% de agua proveniente del clarificador, está compuesta por lodos activados aerobios compuestos principalmente por colonias de ciliados mesó filos, alimentados a una relación de 100/25/1 de DBO, N y P respectivamente; aquí la materia orgánica es degradada. La aireación es gradual, ésta es suministrada por medio de 21 difusores controlados automáticamente con un tiempo de encendido de 15 seg y apagado de 2.30 min, lo anterior con el fin de mantener la mezcla de agua y lodos biológicos y suministrar oxígeno necesario para el tratamiento, metabolizando la materia orgánica en dióxido de carbono y agua.

Figura 36. Dimensiones del tratamiento de lodos activados en AZULK S.A.



Fuente: AZULK S.A., 2008

Luego de determinar la eficiencia del tratamiento...véase sección 5.2.1..., fue necesario determinar las causas por las cuales se presentaba esta situación, para

lo cual se evaluó el comportamiento hidráulico de esta parte del tratamiento teniendo en cuenta los parámetros de operación mostrados en la tabla 27.

Remítase al anexo H, para observar la procedencia de los datos que se relacionan a continuación.

Tabla 27. Parámetros operación actuales tratamiento de lodos activados³².

1	Relación Alimento Masa	$\frac{A}{M} = \frac{Q * So}{V * X} = 0,96 \text{ gDBO/gSSVLM}$
2	Tiempo de retención	$\theta = \frac{V}{Q} = 17,76h$
3	Carga orgánica volumétrica	$COV = \frac{QSo}{V} = 2631.81 \text{ gDBO/m}^3 d$
4	Producción de lodo (base seca)	El reactor produce diariamente una masa de lodo en función de la carga diaria de DBO5, mediciones realizadas en el tanque de lodos activados indican que se genera una carga promedio de 40 Kg/día. $\text{Lodo seco} = 40 \text{ Kg/día}$
5	Volumen de lodos (base húmeda)	De acuerdo a la producción de lodo diario se recircula un volumen 6.6 m ³ /día de la celda de sedimentación hacia el reactor. $Q_w = 6.6 \text{ m}^3/\text{día}$
6	Edad de lodos	$\theta_c = \frac{V * X}{Q_w * X_r + (Q - Q_w) * X_e} = 1,5 \text{ dias}$
7	Sólidos necesarios para el tratamiento	$Kg \text{ SSLM} = \frac{Kg \text{ DBO}}{F/M} = 31,53 \text{ Kg SSLM}$

³² ROMERO ROJAS. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá. Escuela de ingeniería, 2000, p 423-495.

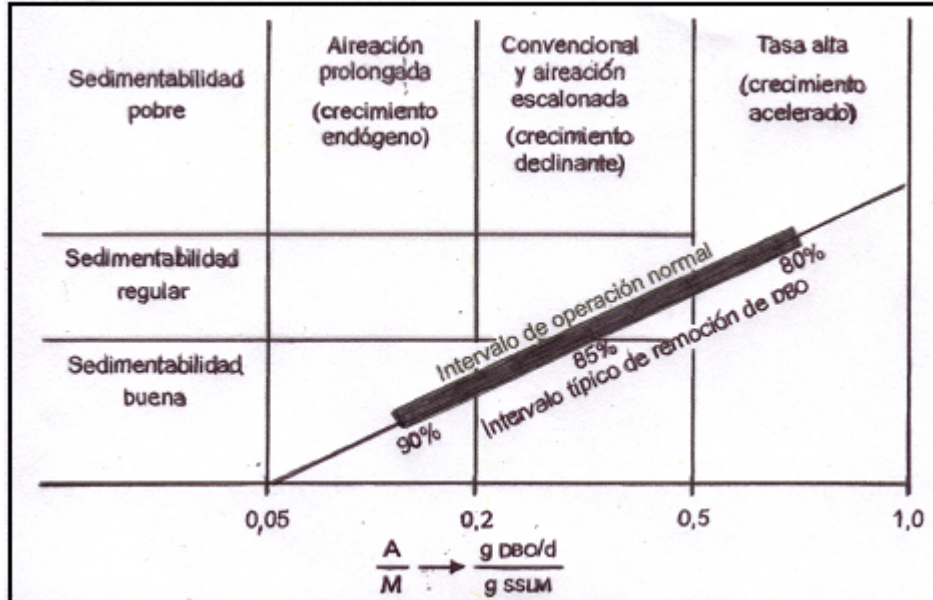
8	Oxígeno requerido	$DO = 1,5 * Q * (So - Se) - 1,42 * Xr * Qw$ $DO = \frac{1,5 * 23,616 * (1948 - 531.86) - 1,42 * 3600 * 6,6}{1000}$ $= \frac{16,43Kg O_2}{d}$
9	Caudal de aire	$Q_{aire} = 6.243 m^3/h$
10	Tiempo de aireación	$\Theta = 2.8 h/día$
11	IVL (Índice volumétrico de lodos)	$\frac{volumen sedimentado * 1000}{X} = 156,80 ml/g$

Fuente: La autora, 2008

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente se determinó:

- La sedimentabilidad de los lodos activados depende de la relación A/M. En la figura 37, se observa que la sedimentabilidad a una relación A/M de 0.96 gDBO/d/ gSSLM es pobre, causando un aumento en DBO, sólidos suspendidos y disminuyendo la transferencia de oxígeno. Esto se debe a que la carga de DBO es alta, el tiempo de aireación es muy corto, y la relación A/M es alta, es decir que los microorganismos están ante un exceso de alimento, causando una baja remoción de la materia orgánica y por ende una sedimentabilidad baja, la cual se asocia con el crecimiento de microorganismos filamentosos, los cuales producen floc biológico flotante generando un efluente de baja calidad; así mismo, la relación A/M alta genera sobrecargas de espuma que puede tener detergentes o proteínas sin biodegradar por las bacterias.

Figura 37. Sedimentabilidad del lodo en función de A/M.



Fuente: ROMERO ROJAS, 2000

- La edad de los lodos o tiempo de retención celular, es una medida del tiempo promedio de residencia de los organismos en el sistema. Para edades de lodos de 1 a 3 días predominan los organismos que pueden reproducirse rápidamente; por esto es necesario mantener un nivel de oxígeno disuelto adecuado, corriendo el riesgo de trastornar el proceso fácilmente por el efecto de cargas choque.
- De acuerdo a los parámetros de diseño y operación de lodos activados, para un proceso de mezcla completa, la edad de lodos se encuentra en un rango de 5 a 15 días³³ la edad de lodo obtenida para el tratamiento de lodos activados en AZULK S.A. Está por debajo de estos parámetros, lo que significa que se está extrayendo lodo más rápido de lo que se produce, causando un lavado de la biomasa en el reactor, por esta razón el tiempo de retención debe ser tal que la biomasa extraída del efluente del reactor sea reemplazada exactamente por una masa igual formada en el reactor en el mismo intervalo de tiempo, por medio de la disminución en la tasa de recirculación de los lodos.
- Según el perfil de oxígeno disuelto (ver anexo H). La cantidad promedio de oxígeno disuelto encontrada en el efluente del tratamiento de lodos activos es de 0.85 mg/L, esto quiere decir que no es suficiente para satisfacer la demanda de la masa microbial existente en el sistema de tratamiento, y asimismo obtener un efluente de buena calidad y altas eficiencias de tratamiento, puesto que para que esto suceda el promedio de oxígeno disuelto debe ser mayor o igual a 2mg/L.

³³ Ibid., p. 99.

- El valor del índice volumétrico de lodos (IVL) obtenido anteriormente indica que el lodo es pobre asentándose y compactándose muy lentamente, causando un hinchamiento de lodo.
- De acuerdo a los parámetros de diseño y operación de procesos de lodos activados, el periodo de aireación, debe estar en rango de 3 a 5 horas para suministrar el oxígeno requerido en el sistema³⁴, el tiempo de aireación en el sistema de lodos activados de AZULK S.A., está por debajo de dichos parámetros causando deficiencias en la remoción de cargas contaminantes.
- De acuerdo a los requerimientos nutricionales la relación DBO/N/P empleada actualmente en AZULK S.A., no es adecuada para el proceso de mezcla completa, puesto que no cumple con los parámetros teóricos sugeridos para éste (DBO/N/P, 100/3/0.7), causando el predominio de organismos filamentosos.

- **Celda de sedimentación secundaria.**

La celda de sedimentación presenta una tasa de sedimentación baja, donde el agua proveniente del tratamiento de lodos activos asciende y por rebose llega a la celda (ver figura 36), pasando a través de un conjunto de placas tipo panal ubicadas a 45°, en las cuales por precipitación se separan los lodos biológicos y el agua clarificada, ésta es recolectada por medio de unas flautas distribuidas en la superficie del tanque a la celda de filtración. En el fondo está instalada una bomba de tipo sumergible que cumple con la función de recircular un porcentaje de lodos concentrados a la celda de los lodos activos para mantener la concentración de estos, en el anexo I se relaciona el comportamiento hidráulico de ésta celda.

La celda de sedimentación de la planta de tratamiento de AZULK S.A, según se muestra en el anexo I, posee las siguientes características:

- Ancho: 1.39 m
- Largo: 1.98 m
- Profundidad: 1.88 m
- Altura ocupada por los paneles: 1.24 m
- Volumen de la celda: 5.17 m³
- Área ocupada por los paneles: 2.75 m²
- Inclinação de los paneles: 45°
- Espacio entre paneles: 0.042m

³⁴ Ibid., p. 99.

La Tabla 28, permite identificar las diferencias obtenidas a través de los resultados derivados de los cálculos descritos en el Anexo I, los cuales se determinaron bajo las condiciones críticas de ingreso de agua a la PTAR con la metodología representada mediante las ecuaciones de los sedimentadores de placas planas o acelerados de Yao³⁵. Así mismo en la tabla se presentan los parámetros de diseño mínimos para sedimentadores según la guía de diseño³⁶.

Tabla 28. Parámetros de diseño y condiciones del sedimentador en AZULK. S.A.

PARÁMETRO	NORMA	PTAR	
		Caudal actual (0.966 m ³ /h)	Caudal diseño (2.5 m ³ /h)
Carga superficial (m/d)	32-49	8.48	21.67
Profundidad (m)	1.5-4	1.88 m	
Tiempo de retención (h)	<2	4.29	1.67
Velocidad ascensional (m/h)	1-3	0.40	1.04

Fuente: La autora, 2008

Según los datos mostrados en la tabla 28, los parámetros que presentan inconformidades con las recomendaciones descritas en la guía, son la carga superficial del sedimentador a un caudal mínimo, ocasionando tiempos de retención altos y una velocidad ascensional baja.

- **Celda de filtración**

En esta como su nombre lo indica, se filtran gran parte de los sólidos provenientes de la celda de sedimentación donde el agua clarificada es transportada hacia dos filtros de arena y carbón activado y los lodos generados se recirculan en el tratamiento biológico.

5.2.5. Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario (filtros de arena y carbón activado), está enfocado a la remoción de sustancias no digeribles en el tratamiento bacteriano o remanentes de él como fenoles y tenso activos, está conformado por dos filtros uno de arena y otro de carbón activado, a continuación se relacionan las unidades de tratamiento mencionadas:


- **Filtros**

El sistema de filtración (ver figura 38) está compuesto por dos unidades a presión filtrantes (filtros lentos), instalados en serie y una bomba centrífuga.

³⁵ YAO. Theoretical Study of High Rate Sedimentation. Journal WPCF, p. 42-218 (feb 1970).

³⁶ BALDA AYALA, Op. Cit., p.28.

Figura 38. Dimensiones de los filtros

	<p>FILTROS DE ARENA y CARBÓN ACTIVADO</p> <ul style="list-style-type: none">• Forma de los filtros: Cilíndricos• Material: acero al carbón• Diámetro: 66cm• Altura: 1.85 m• Volumen: 0.7 m³• Caudal: 0.91 m³/h• Velocidad de filtración 0.19 m³/m²-h
---	--

Fuente: La autora, 2008

El área de cada filtro es de 4.76 m² y poseen una altura de 1.85 m. El retrolavado se realiza a través de válvulas ubicadas en el fondo del tanque que permiten introducir el agua limpia, de manera que esta ascienda lentamente a través del sistema y se distribuya de manera uniforme dentro del filtro hasta que alcance un nivel por encima de la superficie, consiguiendo así, el desprendimiento de las partículas coloidales y suspendidas que se encuentren adheridas a los granos de los lechos.

El primer filtro está compuesto por un lecho filtrante de arena que ocupa el 50% del filtro y el segundo por un lecho filtrante de carbón activado ocupando el 50%, en la parte superior hay una malla que impide el paso del lecho filtrante cuando se realiza el retrolavado. El objetivo principal de estos filtros, es remover los sólidos suspendidos que no hayan sido retenidos en el sedimentador y así mismo remover fenoles con el filtro de carbón activado.

Teniendo en cuenta los resultados de las caracterizaciones realizadas en esta etapa mostrados en la tabla 29 y el balance de cargas mostrado en la sección 5.2.1. se puede apreciar que el porcentaje de remoción de sólidos, DBO, DQO y fenoles es bueno.

De acuerdo a la frecuencia (1 vez/cada 4 días) de retrolavado, y los parámetros de diseño, se determinó que no hay un buen funcionamiento; ya que la superficie de contacto que tiene el agua residual con el lecho filtrante es muy pequeña, ayudando a la formación de caminos preferenciales, originando más retrolavados en cortos periodos de tiempo.

Tabla 29. Resultados de Caracterizaciones en los filtros.

PARÁMETRO	Unidad	AFLUENTE
pH	unidades	5.35
Temperatura (°C)	°C	18.98
Caudal (m ³ /h)	m ³ /h	0.91
SST (mg/L)	mg/L	480
Ss (mg/L)	mg/L	1.2
G y A (mg/L)	mg/L O ₂	78
DBO ₅ (mg/L O ₂)	mg/L O ₂	978
DQO (mg/L O ₂)	mg/L	1573
Fenoles	mg/L	0.14
SAAM	mg/L	0.36

Fuente: La autora, 2008

En la tabla 30, se observa que la velocidad de filtración es menor a la establecida en los parámetros de diseño³⁷, este valor es debido a que el área es muy grande para el caudal de agua que trata, ocasionando una deficiencia en cuanto a este parámetro, en cuanto al lavado en contracorriente se observa que para el caudal al cual fue diseñado el filtro no se cumple con esta relación.

Tabla 30.Comparación de los parámetros de diseño contra los parámetros actuales

PARÁMETROS		NORMA		PTAR	
Filtro arena	Filtro carbón	Filtro arena	Filtro carbón	Caudal actual (0.91 m ³ /h)	Caudal diseño (2.5 m ³ /h)
Velocidad de filtración (m ³ /m ² -h)	Velocidad de filtración (m ³ /m ² -h)	5-7.5	4-6	0.09	0.525
Lavado en contracorriente	Lavado en contracorriente	2 a 3 veces Q diseño	2 veces Q diseño	0.03m ³ /min	0.03m ³ /min

Fuente: La autora, 2008


Como se puede observar en la tabla 29 los parámetros de salida del agua comparados con la resolución 1074/97 cumplen con ésta norma, sin embargo se observa que el margen de cumplimiento es muy cercano y que si existe un cambio inesperado en la composición del vertimiento, puede que éste no se encuentre dentro de los parámetros descritos y así mismo se incumpla con la norma. Lo cual es muy posible ya que como se ha mencionado anteriormente se presentan deficiencias en las unidades de tratamiento y además hay mucha variabilidad de las descargas en tiempos cortos.

³⁷ BALDA AYALA, Op. Cit., 28.

- **Cloración**

La desinfección del agua que sale de la Planta de Tratamiento se realiza en un tanque de 1m^3 (ver figura 39), en el cual ocurre la destrucción selectiva de microorganismos provenientes del tratamiento de lodos activados que no son retenidos en los filtros.

Figura 39. Características de la cloración.

	<p>Volumen: 1m^3 Material: PVC Q: $0.91\text{ m}^3/\text{h}$ Tr: 1.09 h</p>
---	---


Fuente: La autora, 2008

El sistema utilizado para la desinfección del efluente de la planta de tratamiento es mediante la adición de hipoclorito de sodio, éste ofrece la capacidad de una desinfección extendida, ya que al presentarse en forma solida y al entrar en contacto con el agua va liberando oxígeno y cloro.

- **Filtro prensa**

La deshidratación de los lodos se hace en un filtro prensa de operación manual (ver figura 40). Los lodos son introducidos al filtro por medio de una bomba tipo diafragma que opera normalmente entre 14 y 100 psi. El lodo es almacenado en unas canecas de recolección para su disposición final en rellenos de Colombia.

Figura 40. Filtro prensa

	<ul style="list-style-type: none"> • Presión máx. de filtrado: 100 PSI • Presión min de filtrado: 14 PSI • Tiempo de filtración: 1h • Espesor de la torta de lodos: 3 cm • Contenido de humedad: 3 % • Operación: Manual
---	--

Fuente: La autora, 2008

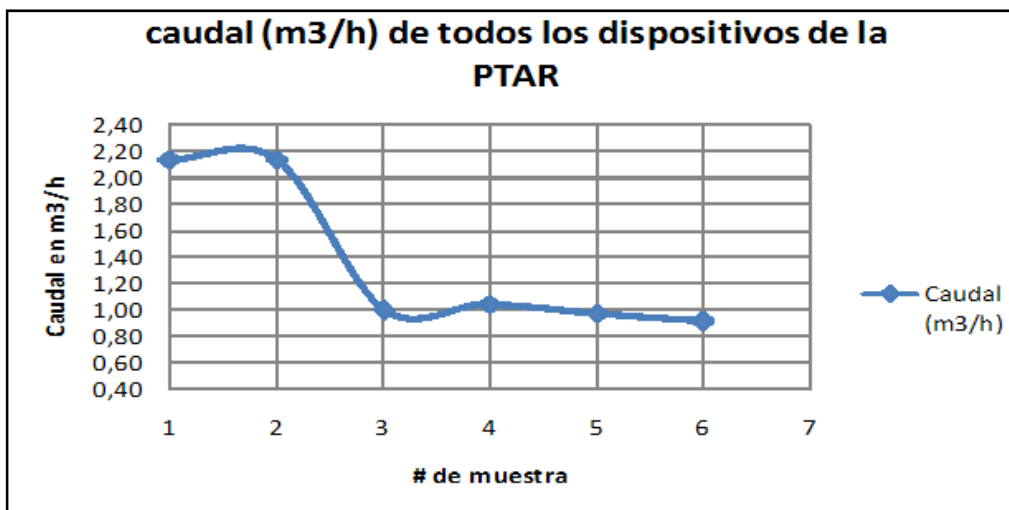
Con respecto a la capacidad hidráulica de toda la PTAR y de acuerdo al seguimiento del caudal de entrada al pozo de captación, la PTAR debe tratar en promedio 2,13 m³/h, lo cual no se cumple en las diferentes etapas del proceso como se puede observar en la figura 41, en la cual se evidencia la insuficiencia global del sistema para tratar el vertimiento; ya que se opera todo el sistema a una caudal máximo aproximado de 0,99m³/h por el tratamiento fisicoquímico, ocasionando una disminución en el tiempo de retención en las siguientes etapas de tratamiento y en consecuencia una operación del sistema inestable e inestable.

Tabla 31. Datos de caudal en cada dispositivo de la PTAR de AZULK S.A.

# muestra	Unidad de Tratamiento (Tto)	Caudal (m ³ /h)
1	Pozo captación	2,13
2	Tanque homogenizador.	2,13
3	Tto. fisicoquímico	0,99
4	Tanque Clarificador	1,04
5	Tto. lodos activos	0,96
6	Salida filtros	0,91
Promedio		1,36
Máximo		2,13
mínimo		0,91

Fuente: La autora, 2008

Figura 41. Comportamiento del caudal en cada uno de los dispositivos de la PTAR.



Fuente: la autora, 2008

6. PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE OPTIMIZACIÓN

De acuerdo al diagnóstico técnico y operativo de la PTAR de AZULK S.A. y al comportamiento del afluente, analizado en los capítulos 4 y 5; a continuación se plantean diferentes alternativas de optimización enfocadas a la planta de producción de AZULK S.A., a las operaciones unitarias de la PTAR y por último a la implementación de nuevos procesos de tratamiento, de los cuales se seleccionó uno teniendo en cuenta ensayos de tratabilidad desarrollados a nivel laboratorio, los cuales ayudaron a la selección de la alternativa adecuada para obtener un efluente de mejor calidad y de esta forma poder reusarlo en alguna etapa del proceso productivo.

6.1. ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

De acuerdo a las caracterizaciones realizadas en la planta de producción de AZULKS.A. (ver numeral 4.3.4), se evidenció una descarga muy alta en cuanto a parámetros de DBO y DQO en los lavados de equipos y pisos provenientes de la planta de líquidos, planta de crema lava loza y vacío I, II; lo cual hace que el efluente de la PTAR llegue con mayor carga contaminante desestabilizando el tratamiento; es por esta razón que se propuso e implementó una alternativa ambiental correctiva reduciendo la carga contaminante desde la fuente generadora, por medio del reuso de los residuos líquidos generados mostrados en la tabla 32.

Tabla 32. Medidas de mitigación implementadas en la planta de producción.

FUENTE GENERADORA DE RESIDUOS LÍQUIDOS	ACTIVIDAD	MEDIDA DE MITIGACIÓN	PUNTO DE REUSO	CANTIDAD REUSADA (L/mes)
Planta de líquidos	Lavados equipos de proceso	Recolección del agua de lavado en canecas.	Tanque de mezcla planta de líquidos	2800
Planta de crema lava loza	Lavados equipos de proceso	Recolección del agua de lavado en canecas.	Reproceso en pailas	600
Vacío I y II	Lavados equipos de proceso	Recolección del agua de lavado en canecas.	Reproceso en pailas	6320

Fuente: La autora, 2008

Otra medida de mitigación implementada consistió en reducir la cantidad de agua utilizada en los lavados de pisos (ver tabla 33).

Tabla 33. Medidas de mitigación en lavados.

FUENTE GENERADORA DE RESIDUOS LÍQUIDOS	ACTIVIDAD	MEDIDA DE MITIGACIÓN
Pailas	Lavado de pisos	Se cambió el lavado con manguera a la limpieza con traperos solamente
Recepción de materias primas	Lavado de pisos	Se cambió el lavado con manguera de 1" a lavado con hidrolavadora.
Glicerina	Lavado de pisos	Se cambió el lavado con manguera de 1" a lavado con hidrolavadora.

Fuente: La autora, 2008

6.2. OPTIMIZACIÓN DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE LA PTAR DE AZULK S.A.

De acuerdo con el diagnóstico realizado en cada una de las unidades se propusieron, las siguientes acciones para mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales.

- *Trampas grasas*

Aunque la remoción de esta unidad no es baja, podría ser más eficiente, si en la zona de recepción de materias primas se adecuaban las cajas de inspección de aguas residuales a trampas de grasa, y de esta forma retener mayor cantidad de sólidos sedimentables y flotantes; ya que en esta zona es donde mayor contenido de grasa se genera y pasa directamente a la trampa de la PTAR.

- *Pozo de bombeo (cribado)*

En esta unidad las rejillas que ayudan al cribado están fijas con concreto a un muro del pozo de bombeo, lo cual dificulta su limpieza; es por tal razón que se sugiere que estas no estén fijas para poder facilitar su frecuencia de limpieza y de esta forma aumentar la remoción de sólidos presentes en el agua residual.

- *Tanque de homogenización*

Esta unidad requiere de una agitación constante del agua residual, para evitar la formación de lodo en la superficie y además homogenizar las características con las que llega el afluente, para esto se debe emplear aire generado por compresores, de tal forma que garanticen una mezcla homogénea del agua residual.

- *Tratamiento fisicoquímico*

Teniendo en cuenta el diagnóstico presentado en el numeral 5, se evaluó la dosificación y tipo de coagulante y floculante; en principio se determinó una dosis de coagulante comprendida entre 390ppm y 780ppm; y una dosis de floculante comprendida entre 280 y 1120 ppm, para ser aplicadas en las pruebas de jarras desarrolladas el día 03 de diciembre del 2007.

El procedimiento utilizado en la prueba de jarras se encuentra descrito en el anexo J.

En la tabla 34 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de jarras y las dosis consideradas como óptimas de floculante, coagulante y NaOH; para ello se tuvieron en cuenta los valores de tiempo y velocidad empleada en las paletas de agitación durante las diferentes pruebas de jarras; las cuales fueron similares a las características del agitador mecánico de la PTAR; imitando los tiempos de retención y los gradientes de velocidad descritos en las tablas 22 y 24 de la sección 5.2.3; y de esta forma representando una mezcla rápida.

El agitador del equipo de jarras se programó a 100 rpm durante 37 segundos; para mezcla lenta se programó a 32rpm durante 50 minutos y finalmente se suspendió la agitación para dejar sedimentar el agua durante 15 minutos.

La solución patrón de cada tipo de coagulante Y floculante suministrado por YANZAT se encuentra a 1300 ppm.

Tabla 34. Resultados de la prueba de jarras con dosis óptimas de reactivos.

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA					
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos		Mezcla lenta (floculación) 32 rpm durante 50 minutos			
		Sedimentación: 15min		Volumen 1L			
		Coagulante (ppm) $Al_2(OH)_5Cl \cdot 23 H_2O$ PAC	Tiempo de formación del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color UPC	Turbiedad UNT
pH	SOLUCIÓN PATRÓN AÑADIDA MI						
8.5	0,5	650	2 minutos	10	7.0	20	25
pH	SOLUCION PATRON AÑADIDA MI	Floculante (ppm) Polímero anicónico Y-380	Tiempo de aglomeración del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color UPC	Turbiedad UNT
8.5	0.55	700	1 minuto	10	7.0	20	25

Fuente: La autora, 2008

ÍNDICE DE WILCOMB		
0	Floc coloidal	Ningún signo de aglutinación
2	Visible	Floc muy pequeño casi imperceptible
4	Disperso	Floc bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta)
6	Claro	Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
8	Bueno	Floc que se deposita fácil pero no completamente
10	Excelente	Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina.



En la primera y segunda prueba de jarras se determinó el tipo y la dosis de coagulante respectivamente; el tipo de coagulante con mejor desempeño fue el policloruro de aluminio, puesto que el sulfato de aluminio mostró una formación de floc muy pobre y el hipoclorito de calcio también, además de que este último presenta un inconveniente a nivel industrial porque la presentación es granular y la hidratación requiere de más tiempo causando un gasto adicional para la preparación de éste, además el tratamiento biológico estaría afectado con la implementación de éste coagulante.

En la jarra 1, realizada para la determinación de la dosificación óptima de coagulante (ver anexo J), se adicionó de la solución madre (1300ppm), 0.4ml a una concentración de 520ppm, en la cual se observó una cantidad de floc considerable que sedimentaba más rápido que las otras jarras; así mismo las características de turbiedad y color que presentaba su sobrenadante mostraron valores demasiado altos para ser asimilados por las siguientes etapas de tratamiento; por lo cual se decidió aumentar el rango y ensayar una nueva dosificación de coagulante (ver anexo J, tabla de prueba de jarras 2 para dosis de coagulante), en la cual se observó que la jarra 8 presentaba una cantidad de floc considerable que sedimentaba más rápido que las anteriores y en cuanto a las características fisicoquímicas que presentaba su sobrenadante, permitieron señalarlo como la mejor opción con respecto a las demás, sin embargo se realizó una tercera prueba de ensayo de jarras con dosis de coagulante más altas que las señaladas anteriormente, las cuales mostraron ser menos efectivas en cuanto a la formación y sedimentación del floc, aportando color y turbiedad.

En la primera y tercera prueba de jarras se determinó el tipo y la dosis de coagulante respectivamente, escogiéndose como dosis óptima de coagulante 0.5ml a una concentración de 650ppm; el tipo de coagulante con mejor desempeño fue el polímero aniónico suministrado por yanzat; puesto que el de

tipo catiónico mostró una coloración en el agua amarilla y muy turbulenta lo que dificultó las observaciones en el ensayo, lo cual también sería una dificultad en la PTAR de AZULK S.A puesto que aportaría color en el efluente y se tendría que pensar en un tratamiento adicional adecuado para su eliminación.

En cuanto a la dosis de floculante se empezó con un rango de concentración entre 280 y 1120ppm; teniendo en cuenta las características del sobrenadante se determinó, que las dosis que mostraron un buen desempeño se presentaron en las jarras 3 y 4 (ver anexo J, pruebas de jarras para dosis de floculante), sin embargo se decidió reducir el rango de la dosis con el fin de encontrar la adecuada; se determinó que la jarra 4 (ver anexo J, pruebas de jarras 2 para dosis de floculante), presentó la concentración de floculante ideal (770ppm y 0.55ml) puesto que interactuó muy bien con el coagulante y su combinación dejó como resultado un sobrenadante de características de buena calidad en cuanto a turbiedad y color se refiere.

Por último se desarrollaron dos pruebas más de jarras, con el fin de encontrar el pH al cual las dosis encontradas anteriormente de floculante y coagulante podrían aumentar su eficiencia, para esto se empezó con un pH comprendido entre 7 y 9.6 por la experiencia del manejo de este en la PTAR, en este ensayo, se observó que la adición del coagulante causa una disminución significativa en los valores de pH y por esta razón se escogieron dosis de NaOH que aportaran pH mayores a 7.0, y de esta forma ayudar al buen funcionamiento del tratamiento de lodos activados, ya que éste a pH ácido presenta falencias.

- *Tratamiento de lodos activos*

De acuerdo al diagnóstico, se determinó que la optimización del reactor, está enfocada, básicamente a aumentar la edad de lodos para promover la remoción completa de la carga orgánica, disminuir la relación A/M para mejorar la sedimentabilidad de los lodos, y adecuar el caudal del aire para obtener el oxígeno requerido por el sistema. Como se observa a continuación se analizaron y calcularon los parámetros y condiciones óptimas de operación.

Remítase al anexo K, para observar la procedencia de los datos que se relacionan a continuación (ver tabla 35).

Tabla 35. Parámetros óptimos para el tratamiento de lodos activados

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
DBO soluble del efluente (Se)	mg/L	798.86
Biomasa del reactor (XV)	Kg SSV	182.09
Volumen del reactor (V)	m ³	0.12
Producción de lodo (Px)	Kg SSV/d	26.01
Producido de sólidos totales de desecho (lodo seco)	Kg/d	32.5
Caudal de lodos de desecho (Qw)	m ³ /d	9.03
Tasa de recirculación (R)	%	74.35
Caudal de recirculación (Qr)	m ³ /h	1.85
Oxígeno requerido (DO)	KgO ₂ /d	70.94
Caudal de aire	m ³ /d	254.80
Tiempo de retención (θ)	H	26.6
Caudal de aire (7%)	m ³ /d	3639.96
Volumen de aire requerido por unidad de DBO aplicada	m ³ /kg	28.89
Carga orgánica volumétrica (COV)	gDBO/m ³	1895.98
Relación Alimento masa (A/M)	gDBO/gSSVLM	0.69
Sólidos necesarios para el tratamiento (KgSSLM)	KgSSLM	182.09

Fuente: la autora, 2008

A continuación se presenta la comparación de los parámetros del tratamiento de lodos activados, antes y después de la optimización (ver tabla 36).

Tabla 36. Resumen de parámetros operacionales actuales y de optimización.

PARAMETRO	UNIDADES	ACTUAL	CON OPTIMIZACIÓN
DBO ₅ entrada	mg/L	1948	2100
DBO ₅ salida	mg/L	1148	798,86
Volumen del reactor	m ³	17,43	0.12
Producido de sólidos totales de desecho	kg/d	40	32,5
Caudal de lodos de desecho	m ³ /d	6,6	9,03
Caudal de aire	m ³ /d	6,243	254,80
Oxígeno requerido	Kg O ₂ /d	16,43	70,94
Relación Alimento Masa	gDBO/gSSVLM	0,96	0,69
Sólidos necesarios para el tratamiento	Kg SSLM	31,53	182,09
Carga orgánica volumétrica	gDBO/m ³	2631,81	1895,98
Eficiencia en remoción DBO total	%	41	62
Edad de lodos	D	1,5	7
Caudal	m ³ /h	0,984	2,5
Tiempo de retención	H	17,76	26,6

Fuente: la autora, 2008

De la tabla anterior, a unas condiciones de caudal de $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$, edad de lodos de 7 días (según parámetros de diseño) y una carga orgánica máxima (DBO), se concluye que:

- Al aumentar la edad de lodos la concentración de SSLM aumenta, favoreciendo la remoción de materia orgánica.
- Al disminuir la relación A/M, la sedimentabilidad del lodo aumenta, dando como resultado un efluente de buena calidad.
- El oxígeno requerido suministrado al sistema, debe ser mayor al actual para poder satisfacer la demanda microbial existente, generando un caudal de aire que cumpla con estos requerimientos de oxígeno.
- Actualmente se maneja una relación de nutrientes 100/25/1 (DBO/N/P), la cual es adecuada para los tratamientos aerobios, pero para tratamientos en proceso de mezcla completa de lodos activados se sugiere una relación de 100/3/0.7 (DBO/N/P), generando de esta forma los elementos necesarios para la formación del protoplasma de los microorganismos, y la determinación de las especies biológicas, predominantes en el floc biológico del lodo activado, asimismo evitando el predominio de hongos filamentosos, los cuales causan una sedimentación pobre, y una baja eficiencia en la remoción de DBO.
- De acuerdo al caudal de lodos de desecho calculado con los parámetros de operación actuales, se determinó que es menor respecto al calculado con los parámetros de optimización, por medio del cual, el proceso puede controlarse enviando lodos a disposición diariamente, teniendo en cuenta el volumen del tanque de aireación, y la edad de lodos, evitando de esta forma que el proceso tenga exceso de lodos sedimentados.

De acuerdo a las diferentes características que presenta la espuma en el tanque de lodos activados, se determina que la aparición de ésta tiene diferentes causas que son: presencia de filamentos, compuestos orgánicos activos no degradados, sebos, aceites y grasas, deficiencia de nutrientes, sobre aireación, denitrificación del lodo, y la edad muy corta o muy grande de lodo.

A continuación se describen las causas y las medidas de control en caso de aparición de espuma.

Espuma café

- Esto indica que el reactor está subcargado, es decir, que posee una relación de alimento masa muy baja, o hay una edad de lodo muy elevada,

esto se controla incrementando la relación alimento – masa (si es posible), o en el segundo caso bajar los SSLM y reducir la edad del lodo mediante purgas más continuas o por mayor tiempo.

Espuma espesa y café

- La causa principal es la denitrificación, esto puede ser solucionado corriendo una prueba de sedimentación para determinar si el manto de lodo está subiendo durante la fase de sedimentación, en este caso es necesario aumentar el tiempo de apagado del sistema de aireación generando la mayor liberación posible de N_2 .

Espuma ondulante, blanca y jabonosa

- La causa principal de esto es la sobre aireación, en este caso es necesario correr un perfil de oxígeno disuelto, si se presentan concentraciones superiores a 4.0 mg/l se debe reducir el tiempo de aireación.
- Otra causa puede deberse a la presencia de compuestos orgánicos no degradados, esto puede ser solucionado incrementando los SSLM lo cual incrementa la masa disponible para el tratamiento de compuestos orgánicos, esto se logra disminuyendo el tiempo y la cantidad de lodos extraídos en la fase de purga de lodos.
- La presencia de lodos jóvenes influye en la generación de espuma, esto se controla disminuyendo el purgado del lodo.
- La generación de espuma ondulante de color blanco y ondulante puede deberse a la presencia de residuos tóxicos o un pH elevado ya sea por acidez o alcalinidad.

Espuma negra

- Esto es debido a condiciones anaeróbicas en el reactor, en este caso se recomienda un perfil de oxígeno disuelto al final de los periodos aireados y observar si se encuentra por debajo de 2mg/l, si esto ocurre es necesario aumentar los tiempos de aireación.

Espuma delgada, fresca y de color café claro

- Este es un buen signo de operación del sistema.

Como se observa, la presencia de espuma es un indicador de fallas o de la buena operación del reactor, su correcta interpretación permitirá aplicar las correcciones necesarias según sea el caso; además de acuerdo a la literatura consultada³⁸ el rendimiento óptimo de una planta de lodos activados, depende en gran parte de un lodo de buen asentamiento y de una población equilibrada de ciliados libres y adheridos así como de rotíferos y flagelados; por tal razón se propone realizar un

³⁸ ROMERO ROJAS, Op. Cit.,p. 99.

seguimiento microscópico por parte del operario a cargo teniendo en cuenta el formato mostrado en el anexo L.

6.3. USOS POSIBLES DEL AGUA TRATADA EN LA PTAR

El agua residual industrial generada en las diferentes zonas de producción de la empresa de jabones AZULK S.A., representa un volumen diario aproximadamente de 45m³, significando un 36% (ver capítulo 4) del consumo general de la industria, el cual es un porcentaje considerablemente importante y representativo para ser reusado en las diferentes etapas del proceso productivo.

A lo largo del desarrollo del proyecto y teniendo en cuenta los parámetros y características* mínimas con los cuales puede entrar el agua a los diferentes procesos sin causar cambios ni efectos secundarios, se concluyó que las necesidades hídricas de la empresa pueden ser satisfechas con aguas de menor calidad que la suministrada por la empresa de servicios públicos (EAAB) en las siguientes zonas y etapas del proceso respectivamente: el lavado de pisos, lavado de equipos y saponificación, éstos procesos consumen aproximadamente un 21% del agua general consumida en los diferentes procesos de la empresa, lo que significa que solamente el 15% del agua tratada en la PTAR tendría que ser vertida en el alcantarillado. En la tabla 37 se presentan los parámetros y los puntos de reuso en las diferentes zonas y etapas de la empresa AZULK S.A.

* Datos suministrados por el departamento de control de calidad de AZULK S.A.

Tabla 37. Parámetros y puntos de reuso en AZULK S.A.

Punto de reuso	Volumen necesario (m³/mes)	PARAMETROS											
		DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	G Y A (mg/L)	FENOL (mg/L)	SAAM (mg/L)	OLOR	COLOR NTU	Conductividad micromhos/cm	pH (unidades)	T (°C)	Turbiedad (NTU)
Saponificación	519	<= 250	<= 350	<= 500	Indiferente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 25	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavado de pisos en recepción de materias primas	17.21	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavado pisos en glicerina	13.27	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavados del calderín	40	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavados de pisos y equipos en vacío I	0.8	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 25	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavado torre barométrica	3.25	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavados de pisos y equipos en vacío II	5.52	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 25	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavado de traperos en planta de crema lavalzoa	1.5	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavado de equipos en planta de crema lavalzoa	0.6	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavado de equipos en planta líquidos	2.8	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5

Lavado de traperos e instrumentos en planta líquidos	1.9	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 50	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavados cambio de formato (tocador B)	2	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.01	0.7	Aceptable	<= 25	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Destilador del laboratorio	0.48	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.001	0.7	Aceptable	<= 15	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Digestores para DQO	7.56	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.001	0.7	Aceptable	<= 15	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Lavadero	16.8	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.001	0.7	Aceptable	<= 15	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Condensadores para G y A	1	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.001	0.7	Aceptable	<= 15	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
Retrolavado de filtros	6	<= 250	<= 350	<= 500	Ausente	<=0.001	0.7	Aceptable	<= 15	50 - 1000	6.5 y 9.0	18	<= 5
TOTAL AGUA REUSADA	639.7 m³												

*M.O= microorganismos

Fuente: Departamento de control de calidad de AZULK S.A.

De la tabla anterior se puede concluir que el reuso del agua puede traer beneficios ambientales, económicos y sociales para la empresa, teniendo en cuenta la posible reducción de los costos de operación que se tienen por la disminución de consumos de agua y además una disminución en los montos de las tasas retributivas, contribuyendo de ésta forma en el cumplimiento y ampliación de las metas ambientales de AZULK S.A.

6.4. ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA EL REUSO DEL EFLUENTE

Ante la necesidad por parte de AZULK S.A. de obtener un efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, en condiciones de reuso en alguna etapa o etapas del proceso productivo (ver tabla 37), y teniendo en cuenta el comportamiento, funcionamiento, características y deficiencias de la planta de tratamiento de aguas residuales analizadas en los capítulos 4 y 5, se plantearon tres alternativas de tratamiento (alternativa A, alternativa B, alternativa C), las cuales estaban enfocadas al reuso del efluente, evaluadas cada una por medio de ensayos de tratabilidad con el fin de seleccionar la que cumpliera con las características del agua y así mismo con las condiciones de la empresa.

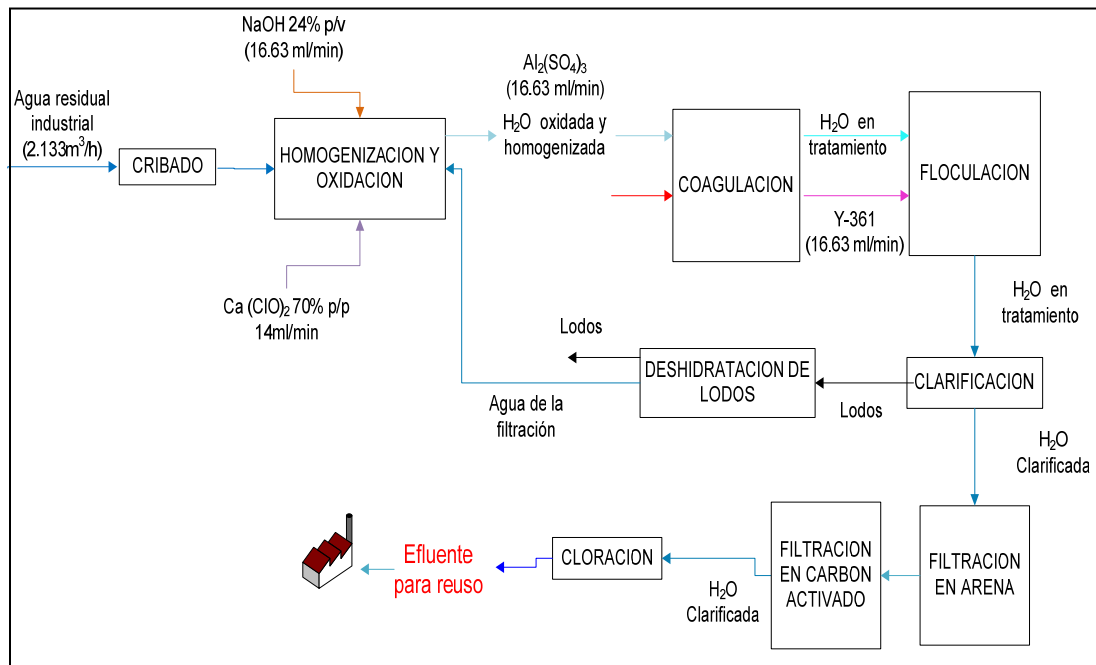
Para seleccionar la alternativa adecuada de tratamiento, se tuvieron en cuenta 3 diferentes ensayos de tratabilidad realizados a nivel laboratorio (A y B) y a nivel piloto (C) respectivamente, simulando de esta forma condiciones bajo las cuales se podría mejorar la calidad del efluente de la PTAR para su reuso.

Teniendo en cuenta el comportamiento y las características del agua residual que fueron observadas a través de las muestras colectadas desde octubre del 2007 en diferentes condiciones de vertimiento, se concluye que la oxidación química del efluente en el homogenizador y antes del tratamiento de lodos activados puede implementarse para obtener un efluente en mejores condiciones en cuanto a parámetros de fenoles, DBO y DQO en el afluente que entra en el tratamiento de lodos activados y así una remoción más alta en las siguientes etapas de tratamiento. También se concluye que con la implementación de un sistema *DAF* (*DISPERSED AIR FLOTATION*) después de la homogenización del agua, se puede obtener un efluente apropiado para el tratamiento biológico* y su vez una remoción alta para un posible reuso del agua, en alguna etapa o etapas de la actividad industrial de AZULK S.A, teniendo en cuenta que éste sistema de tratamiento garantiza una remoción de más del 80% de grasas y aceites, DBO, sólidos totales y partículas flotantes en el agua residual.

*Vale la pena recordar que antes de todo tratamiento biológico, los valores de SST y grasas deben ser bajos, para evitar competencia de estos con los microorganismos, o bien su arrastre, al ser absorbidos o adsorbidos por los flocs biológicos.

Alternativa A. Ensayo de oxidación en el tanque homogenizador del agua residual con hipoclorito de calcio, posterior tratamiento fisicoquímico y filtración (a nivel laboratorio en AZULK S.A.). (Ver figura 42).

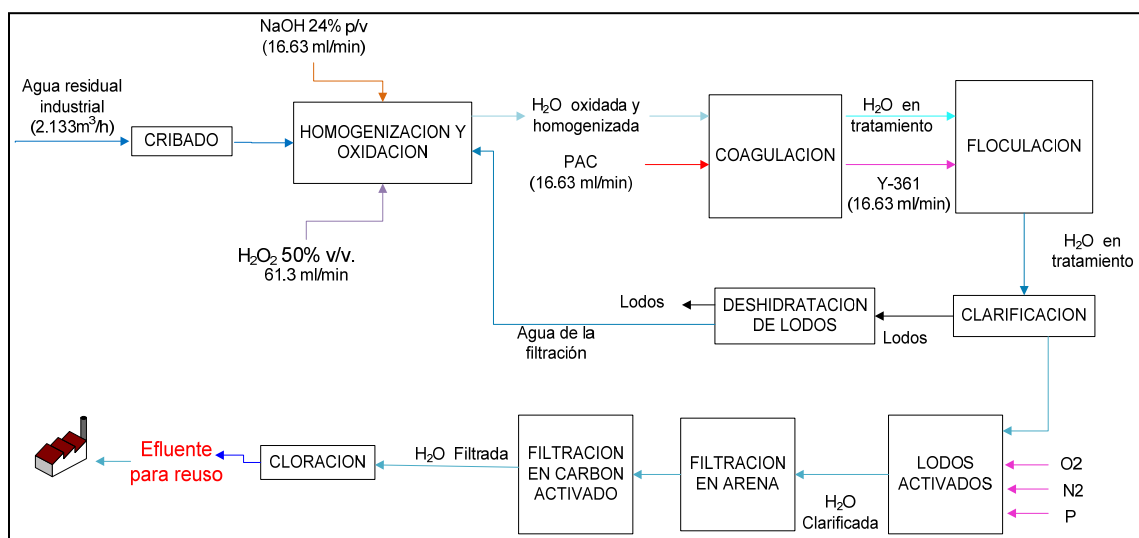
Figura 42. Tratamiento con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ como agente oxidante.



Fuente: La autora, 2008

Alternativa B. Ensayo de oxidación preliminar en el tanque homogenizador del agua residual con peróxido de hidrogeno, posterior tratamiento fisicoquímico, de lodos activados y filtración (a nivel laboratorio en AZULK S.A.). (Ver figura 43).

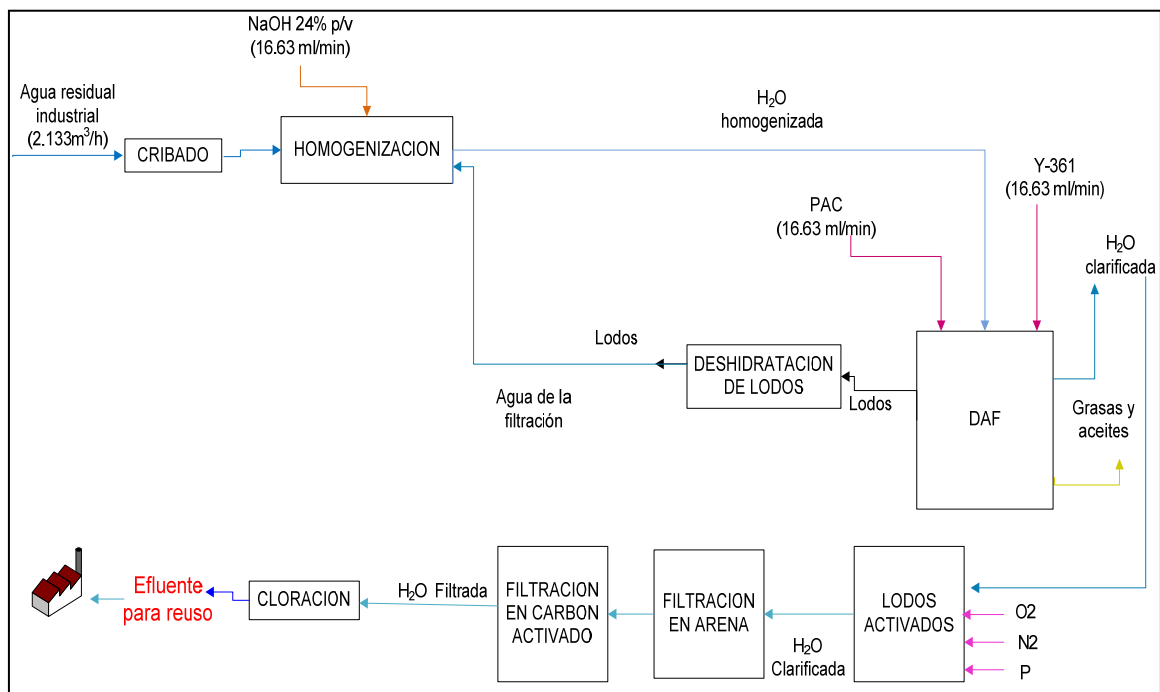
Figura 43. Tratamiento con H_2O_2 como agente oxidante.



Fuente: La autora, 2008

Alternativa C. Ensayo de flotación por aire disperso por medio de un DAF (a nivel de planta piloto en la universidad de la Salle), se propuso ésta alternativa puesto que al implantar procesos de reconversión tecnológica se puede reducir en gran medida la cantidad y el grado de contaminación de los efluentes. (Ver figura 44).

Figura 44. Tratamiento con sistema DAF.



Fuente: La autora, 2008

6.4.1. Ensayos de tratabilidad a nivel laboratorio.

Las pruebas iniciales de tratabilidad se encaminaron a definir la posibilidad de tratar el agua residual mediante una oxidación química por medio de dos diferentes agentes oxidantes ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$, H_2O_2); para esto se realizaron una serie de pruebas denominadas “pruebas de jarras”. Para las cuales se tomó una muestra compuesta paralela a la muestra compuesta a ser analizada en el laboratorio. (ver anexo M)

La dosis adecuada de cada agente oxidante se seleccionó, por medio de caracterizaciones realizadas al final de cada ensayo de jarras, analizadas en el laboratorio de Analquim, teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas y de seguridad de cada uno de éstos (ver anexo N). A continuación se describen el desarrollo de los ensayos de tratabilidad a nivel laboratorio y sus resultados en las alternativas A y B.

- **Alternativa A.** El ensayo de tratabilidad de ésta alternativa consistió en realizar tres pruebas, cada una de cuatro (4) jarras, para un total de doce (12) jarras evaluadas (ver anexo M), cada una con diferentes dosis de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, el cual es un oxidante de clase 3 según la *NPFA (National Fire Protection Association)* de EE.UU.³⁹, presenta un pH básico (8.5 a 11), su presentación es granular (70%).

Dado que el hipoclorito de calcio granulado; suministrado por YANZAT, posee una concentración del 70% p/p, se preparó una solución madre de 10000 mg/l de hipoclorito de calcio líquido, luego se dejó hidratar por cuatro horas para obtener una completa disolución del producto, en principio se estableció una dosis de oxidante comprendida entre 200ppm – 800ppm, y a medida que se iban conociendo los resultados de las caracterizaciones después de la oxidación en cada jarra, se fue disminuyendo el rango de la concentración en las jarras, para de esta forma obtener la dosis óptima.

La dosis óptima se encontró en la jarra #10, en la cual se adicionaron 25.75ml de la solución patrón, para obtener una concentración de 257.5 mg/L; simulando una mezcla lenta a 35 RPM y un gradiente de 22.15 s^{-1} (ver sección 5.2.3.), dando como resultados los siguientes (ver tabla 38):

Tabla 38. Resultados del mejor ensayo de jarras.

JARRA # 10 [] 257.5 ppm y 25.75ml $\text{Ca}(\text{ClO})_2$			
Volumen de la jarra 1000 ml			
Mezcla lenta		Velocidad 35RPM	Tiempo 10min
Parámetros	Entrada	Salida (mg/L)	% de remoción
pH (unidades)	5.49	8.14	-----
T (°C)	19.67	21.3	-----
Fenoles (mg/L)	1.07	0.4	63
DBO (mg/L)	2118	1770.7	16.4
DQO(mg/L)	3080	2736	11.2
G y A (mg/L)	159.5	131.4	17.6
SAAM (mg/L)	8.7	6.9	20.2
ST (mg/L)	3560	3987.2	- 12
Color UPC	-----	50	-----
Olor	-----	Aceptable	-----
Conductividad micromhos/cm	-----	800	-----
Turbiedad (NTU)	-----	25	-----

Fuente: La autora, 2008

De acuerdo a la tabla anterior se observa que en cuanto a DBO, DQO, grasas y aceites y SAAM el porcentaje de remoción es bajo, y en cuanto a sólidos totales

³⁹ Página web: http://proquimsaec.com/PDF/HojaSeguridad/HS_hipoclorito.pdf.

el porcentaje de remoción es negativo, ya que con la oxidación estos aumentan debido a que el hipoclorito de calcio tiene muy baja solubilidad en el agua, creando un enturbiamiento y un asentamiento, aumentando de esta forma la concentración de los sólidos totales en la muestra, también se evidencia que la mayor remoción es de fenoles.

El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección y la capacidad de penetrar y destruir los gérmenes infecciosos en condiciones normales de operación aún después del tratamiento, pero al eliminarse una cantidad de materia orgánica se pueden generar compuestos más peligrosos tales como los trihalogenados (*MTH*)⁴⁰, y en consecuencia una contaminación mayor a la que se tiene actualmente siendo de mayor dificultad su eliminación.

En la siguiente tabla (ver tabla 39) se presentan las ventajas y desventajas que se identificaron durante los ensayos de tratabilidad con el hipoclorito de calcio.

⁴⁰ LEONI ROJAS, Ivan, Estudio de la preoxidación por el cloro, dióxido de cloro o peróxido de hidrógeno como mejoramiento de los procesos convencionales utilizados para la potabilización del agua.

Tabla 39. Ventajas y desventajas en la oxidación con hipoclorito de calcio

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Su dosificación es sencilla diluyendo el químico en proporciones de agua y dosificando esta a la masa de agua a tratar por medio de gravedad. • Eficaz para la oxidación • Alta concentración de cloro disponible, para la eliminación de microorganismos. • El hipoclorito de calcio es muy selectivo, ataca el centro rico en electrones de las moléculas orgánicas. • Puede ser almacenado hasta por un año sin que su composición inicial se altere. • Costo bajo de inversión y medio de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los métodos de dosificación son rígidos y no se adaptan fácilmente a flujos variables. • No es tan soluble y puede asentarse en el fondo y sobre las paredes, puede llegar a enturbiar temporariamente el agua ya que el calcio necesita bastante tiempo para disolverse completamente. • Se transfiere un electrón y se reduce a ión clorito (ClO_2^-). • El cloro libre en el agua tiene un potencial alto para la formación de los trihalometanos, por la reacción de la materia orgánica, aún no tratada, con el cloro, los cuales son considerados peligrosos para la salud y el medio ambiente e incluso carcinógenos. • Muy corrosivo por lo que el almacenamiento debe ser adecuado para evitar daños por corrosión. • Una desventaja es su elevado contenido de calcio, lo que genera incrustaciones. • En función de las condiciones del agua, el uso de hipoclorito de calcio puede incrementar el nivel de dureza. • No se puede combinar con un tratamiento biológico debido al cloro residual en efluente.

Fuente: La autora, 2008

- **Alternativa B.** El ensayo de tratabilidad de ésta alternativa consistió en realizar tres pruebas, cada una de cuatro (4) jarras, para un total de doce (12) jarras evaluadas (ver anexo M), cada una con diferentes dosis de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cual es un oxidante fuerte, presenta un pH ácido (1-2), su presentación es líquida y se utilizó a una concentración del 50% v/v.

Debido a que el peróxido de hidrógeno es inestable y se descompone rápidamente a oxígeno y agua⁴¹, se realizó una dosificación por contacto en cada jarra, estableciendo concentraciones entre 200 – 1600 ppm, lo cual se determinó teniendo en cuenta diferentes investigaciones encontradas en la literatura⁴², y a medida que se conoció el resultado de las caracterizaciones de cada jarra después de la oxidación se disminuyó el rango de la concentración en las jarras, para de esta forma obtener la dosis óptima.

La dosis óptima se encontró en la jarra #11, en la cual se adicionaron 1.6 ml de peróxido de hidrógeno, para obtener una concentración de 1260 mg/L; simulando una mezcla lenta a 45 RPM, dando como resultados los siguientes (ver tabla 40):

Tabla 40. Resultados del mejor ensayo de jarras.

JARRA # 11 [] 1120 ppm y 1.6ml H₂O₂			
Volumen de la jarra 1000 ml			
Mezcla lenta	Velocidad 45RPM	Tiempo 30min	
Parámetros	Entrada	Salida (mg/L)	% de remoción
pH (unidades)	5.8	8.6	-----
T (°C)	19.3	20	-----
Fenoles (mg/L)	1.15	0.13	88.7
DBO (mg/L)	3570	2320.5	35
DQO(mg/L)	8498	5651.2	33.5
G y A (mg/L)	735	404.25	45
SAAM (mg/L)	8.6	5.33	38
ST (mg/L)	2592	1451.5	44
Color UPC	-----	20	-----
Olor	-----	Aceptable	-----
Conductividad micromhos/cm	-----	200	-----
Turbiedad (NTU)	-----	5	-----

Fuente: La autora, 2008

Con respecto a la tabla anterior se puede observar que la remoción de cada uno de los parámetros supera el 30% y en cuanto a fenoles se obtiene una remoción del 88.7%, lo cual permitiría una remoción completa de éste parámetro al final del tratamiento, también se puede observar que en comparación al oxidante utilizado anteriormente (hipoclorito de calcio), los porcentajes de remoción son mayores

⁴¹ ATSDR. Agency for toxic Substances and Disease Registry.
<http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfags/es.tfacts174.pdf>.

⁴² MORENO, Juan. Evaluación con peróxido de hidrógeno en la oxidación de fenol. Facultad de ciencias, Departamento de química, Universidad de los andes.

con el peróxido y en cuanto a sólidos totales la remoción es favorable y no aporta turbiedad ni color en el clarificado. Aunque el peróxido no forma compuestos contaminantes al reaccionar con el agua como los *MTH*⁴³, el manejo y el almacenamiento de éste reactivo es dispendioso puesto que es un oxidante fuerte y corrosivo para los ojos, las membranas mucosas y la piel⁴⁴, lo cual implica un manejo especial por parte del operario, quién debe tener conocimientos a fondo acerca de éste reactivo.

En la tabla 41 se encuentran descritas las ventajas y desventajas encontradas en los ensayos de tratabilidad realizados con el peróxido de hidrogeno como agente oxidante.

Tabla 41. Ventajas y desventajas en la oxidación con peróxido de hidrógeno

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Es un oxidante seguro, eficaz, de gran alcance y versátil. • Controla olores y corrosión, oxidación orgánica, oxidación del metal y oxidación de la toxicidad. • El peróxido de hidrógeno tiene más alcance que el cloro o el dióxido de cloro. • No es inflamable. • Puede ser combinado con diversos procesos para mejorar los resultados: floculación/precipitación, flotación de aire, biotratamiento, filtración, adsorción del carbón, depuradores del aire e incineración. • Totalmente miscible con agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • El peróxido de hidrógeno es inestable y se descompone rápidamente a oxígeno y agua con liberación de calor. • puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica o algunos metales, como el cobre, la plata o el bronce. • Es tóxico y muy irritante en concentraciones altas, causa quemaduras temporales al desprenderse en la reacción el oxígeno. • Almacenamiento debe ser en recipientes atmosféricos. Cada uno debe estar equipado con una ventilación continua. • Es costoso

Fuente: La autora, 2008

• **Alternativa C.** Esta alternativa se desarrolló con el apoyo de los estudiantes del área de recuso agua de la universidad de la Salle , y consistió en hacer una prueba piloto con una unidad *DAF (DISPERSED AIR FLOTATION)* la cual mostraba las características mencionadas en la tabla 42. Teniendo en cuenta que su principio de funcionamiento es la flotación, donde se separan partículas líquidas y sólidas de la fase líquida como son las grasas, las cuales no son retenidas completamente en la actualidad por las trampas, ni por los dispositivos de

⁴³ LEONI NARDINE, Op.Cit., p.139.

⁴⁴ Página web: [http://www.proquimsaec.com/PDF/Hoja de seguridad/HS_Agua_Oxigenada.pdf](http://www.proquimsaec.com/PDF/Hoja%20de%20seguridad/HS_Agua_Oxigenada.pdf).

tratamiento anteriores al tratamiento de lodos activados. Esta separación es lograda introduciendo burbujas de aire en la fase líquida por medio de un soplador interconectado a un difusor, provocando una ascensión de partículas hacia la superficie, ya que las burbujas entre más finas mayor superficie de contacto tendrán con las grasas y mejor será su remoción.

Una vez en la superficie, estas partículas son recogidas mediante un dispositivo automatizado como lo es un barredor, donde las grasas son llevadas hacia una tolva para ser retiradas y el agua clarificada con mejores condiciones en cuanto a G y A, ST y DBO pasa por los vertederos para continuar su proceso en las siguientes unidades de tratamiento. (ver anexo O).

Tabla 42. Características del DAF

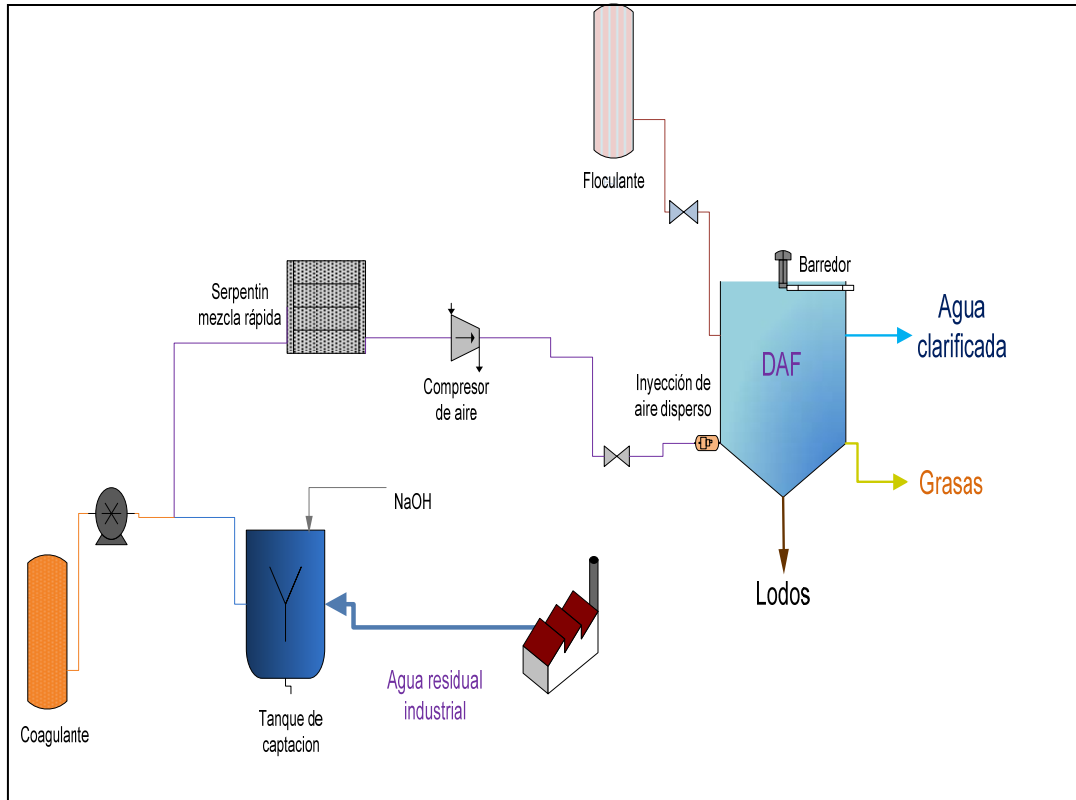
PARTES	UNIDAD	VALOR
Carga Hidráulica	($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	0.25
Tiempo de retención	(h)	0.83
Área	(m^2)	1.2
Diámetro	(m)	1.23
Volumen	(m^3)	0.25
Altura del tanque	(m)	1.3
Diámetro del FEED WELL.	(cm)	31
Altura del feedwell	(cm)	50
Perímetro del Launder	(m)	3.86
Profundidad del Launder	(cm)	10
Número de vertederos		20
Caudal	(m^3/h)	0.3012

Como se puede apreciar en la tabla 42, los valores son extremos a lo recomendado en la literatura⁴⁵; sin embargo, se observó que, al trabajarse menores tiempos de retención, los flocs formados salían del tanque rápidamente. Esto obedece a que el sistema de aireación o de generación de burbujas en el DAF de la planta piloto no es eficiente, por lo que se recomendaría volver a hacer las pruebas optimizando esta unidad.

La prueba piloto se inicio con pruebas hidráulicas a cada uno de los dispositivos que componen la unidad DAF, la cual tiene una capacidad de 250 L (ver figura 45), luego se realizó un pre ensayo y arranque de la unidad para garantizar que el funcionamiento fuera continuo y adecuado para observar las pruebas preliminares mencionadas anteriormente remítase al anexo P.

⁴⁵ ECKENFELDER, Industrial Water Pollution Control. Editorial: Mc Graw Hill, Boston, 2000.

Figura 45. Proceso del DAF universidad La Salle.



Fuente: La autora, 2008

Después del alistamiento de la unidad se procedió a introducir 200 L del agua recolectada en AZULK S.A. en el tanque homogenizador del sistema, en el cual se verificó y corrigió el pH del agua con la adición de NaOH, hasta obtener un pH de 8, luego se dosificó el coagulante PAC (Policloruro de aluminio), teniendo en cuenta los ensayos de jarras realizados en la PTAR (ver capítulo 5) y la dosis óptima obtenida, mediante una bomba dosificadora a 0.66 ml/min, garantizando la mezcla rápida con un serpentín; durante la investigación se vio la necesidad de aplicar Floculante puesto que el floc formado por el coagulante no tenía suficiente peso para su sedimentación, el cual fue añadido en el *fedwell* por medio de un tanque de dosificación que garantizó el caudal de 0.78ml/min en cual se homogenizó el floculante con el agua; después de que el agua ingresó al sistema DAF se dejó trabajando durante 1 hora y de esta forma se finalizó el pre ensayo y se continuo con el arranque de la prueba a nivel piloto, la cual consistió en adicionarle tres cochadas de agua al sistema y caracterizar cada una de éstas a la salida del tratamiento, garantizando de esta forma una muestra más representativa.

El arranque de la prueba piloto se desarrolló con 200L de agua (primera cochada) traída de AZULK S.A del tanque homogenizador al igual que la muestra del pre ensayo. Esta se dejó pasar durante 0.83 horas a través del sistema, lo que equivalió al tiempo de retención de todo el tratamiento. Luego se procedió a añadir una nueva muestra de agua con el mismo volumen (segunda cochada), y por último se adicionó la tercer cochada, dejándola en el sistema durante 1 hora. Al final de cada cochada se tomó una muestra y se analizaron parámetros de pH, T, DBO, DQO, GYA, SST, SAAM y Fenoles, en el laboratorio Analquim, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 43, éstos se compararon con los resultados de la muestra problema y de esta forma se dio a conocer el porcentaje de remoción obtenido en el tratamiento.

Tabla 43. Parámetros de salida y entrada al sistema *DAF*.

Muestra Problema			Primera cochada		Segunda cochada		Tercera cochada	
Parámetros	Unidades	Entrada	Salida	% de remoción	Salida	% de remoción	Salida	% de remoción
pH	unidades	4,6	7.5	-----	7.7	-----	7.4	-----
Temperatura	°C	19.7	19,8	-----	19.3	-----	20	-----
DQO	mg/l	3040	1064	65	1110	63.5	1003.2	69
DBO	mg/l	2098	713.3	66	776.3	63	650.4	71
SST	mg/l	2660	984.2	63	1117.2	58	931	66
G y A	mg/l	650	97.5	85	110.5	83	98.2	85
Fenoles	mg/l	1.14	0.77	32	0.74	35	0.72	37
SAAM	mg/l	8.77	1.31	85	1.6	82	1.32	85
Color UPC	15							
Olor	Aceptable							
Conductividad micromhos/cm	70							
Turbiedad (NTU)	3							

Fuente: La autora, 2008

Como se puede observar en la tabla anterior los porcentajes de remoción obtenidos a la salida del sistema *DAF* son satisfactorios, en comparación con los porcentajes obtenidos en las alternativas A y B excepto en cuanto a fenoles, los cuales pueden ser removidos por medio del tratamiento biológico y el paso por el filtro de carbón activado. A pesar de los prolongados tiempos de retención y reducidas cargas hidráulicas, el sistema de flotación no deja de ser una alternativa

satisfactoria para remoción de grasas y aceites, sólidos y materia orgánica, según lo han demostrado otras experiencias⁴⁶. El sistema *DAF* aporta un afluente en condiciones óptimas para ser tratado por el sistema de lodos activados y filtros. A continuación se presentan las ventajas y desventajas del sistema *DAF* (ver tabla 44).

Tabla 44. Ventajas y desventajas del sistema *DAF*.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Es pequeño en volumen aunque puede tolerar alta carga superficial. • Operación fácil. • Costos de mantenimiento y operación bajos. • Tiempo de retención corto. • Mejora de la calidad del efluente que se dirige al sistema biológico con una consecuente mejora de la calidad de agua descargada. • Los sólidos decantados están sumergidos permanentemente en un medio líquido, por lo que su concentración tiene un límite muy bajo. Los sólidos flotados, por el contrario, están sobre un medio líquido, pero en contacto con el aire, pudiendo alcanzar concentraciones muy superiores a los decantados. • Producción de lodos fácilmente tratables. • Remoción de sólidos suspendidos y coloidales, algas, materia orgánica, sólidos precipitados, contaminantes insolubles que demandan oxidantes y desinfectante. 	<ul style="list-style-type: none"> • La formación de burbujas de aire relativamente grandes y con grandes diferencias de tamaño dificulta su adhesión a las partículas. • Gran turbulencia causada por el burbujeador que puede provocar la quiebra de los flocs formados. • Considerable consumo de energía. • Comparada con la sedimentación, el <i>DAF</i> es más sensible a variaciones de temperatura, concentración de sólidos en suspensión (> 3-4 %), recargas hidráulicas y principalmente a variaciones en las características químicas y físico químicas de los sólidos en suspensión. • Costos operacionales elevados, principalmente cuando existe necesidad de un riguroso control automático, de parámetros y dosis de reactivos.

Fuente: La autora, 2008

6.4.2 Costos operativos de cada alternativa. A continuación se presenta la tabla 45, en la cual se pueden observar los costos totales, mensuales y por cada metro

⁴⁶ Ibid., p. 128

cúbico de agua tratada, de los reactivos empleados en cada alternativa, teniendo en cuenta un caudal de $3.45 \text{ m}^3/\text{h}$, puesto que a éste caudal debería estar diseñada la planta de acuerdo a lo explicado en la sección 5.2.2.. Además se tuvo en cuenta los ensayos de jarras desarrollados para hallar la dosis óptima de floculante, coagulante y soda, los cuales se emplearon en la planta piloto del sistema DAF, y los ensayos de tratabilidad de cada alternativa. Este costo es un estimativo, puesto que se ha demostrado que una vez se pone en funcionamiento una planta, las dosificaciones reales pueden ser menores o mayores a las encontradas en las pruebas de jarras y dependerán de una excelente homogenización que se realice al agua.

Tabla 45. Costos operativos (reactivos) de las alternativas propuestas.

ALTERNATIVA A (oxidación con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$)					
PRODUCTO	COSTO PRODUCTO	CONSUMO	CONSUMO MENSUAL	COSTO AGUA $\\$/\text{m}^3$	COSTO AGUA MENSUAL
Hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)	7.500 $\$/\text{gal}$	217,2 ml/m^3	539,5 L	430,1	
TOTAL				430,1	1'069.022
ALTERNATIVA B (H_2O_2)					
Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)	14.700 $\$/\text{gal}$	2,02 L/m^3	5 m^3	7672,1	
TOTAL				7672,1	19'418.758
ALTERNATIVA C (sistema DAF)					
Coagulante (Policloruro de aluminio PAC)	21.000 $\$/\text{Kg}$	2,3 mg/m^3	5,7 Kg	83,3	119.700
Floculante (Polímero aniónico)	3.000 $\$/\text{Kg}$	180 mg/m^3	447,1 Kg	931,5	1'341.300
Soda caustica (NaOH)	685 $\$/\text{Kg}$	190 mg/m^3	472 Kg	224,5	323.320
TOTAL				1239,3	1'784.320

Fuente: La autora, 2008

Como se puede observar en la tabla anterior, la alternativa con mayor costo operativo es la B (oxidación con peróxido de hidrógeno), puesto que se necesita una gran cantidad de reactivo para la oxidación de la materia orgánica y además resulta costoso. Para observar la procedencia de los datos obtenidos en la tabla 46, remítase al anexo Q.

Además de los costos asociados a los reactivos, se consideran costos de servicios públicos necesarios para el funcionamiento de cada alternativa, los cuales se

reducen al servicio de energía requerida para la dosificación de el agente oxidante en las alternativas A y B, y la energía requerida para el sistema de aireación y dosificación en el *DAF*; concluyendo de ésta forma, que la alternativa con mas requerimientos de energía es la C, como se mencionó en la tabla 45, una de las desventajas de éste sistema es su consumo considerable de energía.

6.4.3. Costos de mantenimiento y equipos.

Estos costos hacen referencia a la cantidad de dinero necesaria en la adquisición de los equipos requeridos para el funcionamiento adecuado de las alternativas propuestas y al costo de mantenimiento mensual; teniendo en cuenta que cada uno de éstos equipos tienen un desgaste normal de operación, por lo cual es necesario hacer un mantenimiento preventivo. (Ver tabla 46).

Tabla 46. Costos de inversión inicial del equipo y mantenimiento.

ALTERNATIVAS	INVERSION -EQUIPO			MANTENIMIENTO		TOTAL
	Equipo	Cantidad	Precio (\$)	Frecuencia	Precio (\$)	
Alternativa A (Ca (ClO) ₂)	Bomba dosificadora	1	1'500.000	Cada 4 meses	250.000	1'577.500
	Manguera	1	15.000			
	Tanque almacenamiento	1	250.000	Cada 6 meses	40.000	257.000
Alternativa B (H ₂ O ₂)	Bomba dosificadora	1	1'200.000	Cada 4 meses	300.000	1'295.000
	Manguera	1	20.000			
	Tanque almacenamiento	1	300.000	Cada 6 meses	55.000	309.200
Alternativa C (sistema <i>DAF</i>)	Saturador de aire	1	86'935.000	Cada 6 meses	800.000	87'068.300
	Generador de burbujas.	1				
	Serpentín (coagulación)	1				
	Bomba dosificadora	3				
	Tanque de flotación	1				
	Raspador mecánico	1				
	Tablero electrónico	1				
	Bomba sumergible	1				
	Válvulas	2				

Fuente: La autora, 2008

De la tabla anterior se puede observar que la alternativa B es la que menor costo en cuanto a equipos y mantenimiento presenta y la que requiere de mayor inversión en cuanto a equipos es la C. Los Equipos y el mantenimiento, se cotizaron teniendo en cuenta que las tres alternativas manejan un caudal de 3.45 m³/h

6.4.4. Costos de personal.

En la actualidad la PTAR de la empresa de jabones de AZULK S.A. es operada por tres personas en turnos de 8 horas cada una y con un sueldo promedio de \$915000; con la implementación de las alternativas A y B se necesitarían los mismos operarios, mientras que para la alternativa C, podría pensarse en la disminución de un operario, puesto que éste sistema es mas automatizado, pero se debe tener en cuenta que ésta alternativa necesitaría de un personal con mejor nivel técnico, mientras que para el manejo de las alternativas A y B, se requiere de personal con nivel técnico básico, pero con un conocimiento excelente de los riesgos en cuanto al manejo del hipoclorito de calcio y del peróxido de hidrógeno.

A continuación en la tabla 47 se muestra el resumen de los costos totales de cada alternativa.

Tabla 47. Costos totales de las tres alternativas.

COSTOS	A	B	C
Operativos	1'069.022	19'418.758	1'784.320
Mantenimiento y equipos	1'834.500	1'604.200	87'068.300
Personal	2'745.000	2'745.000	1'830.000
COSTO TOTAL	5'648.522	23'772.958	92'682.000

6.5. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO ADECUADA PARA EL REUSO.

La selección de la alternativa de tratamiento de aguas residuales en la industria de jabones AZULK S.A. depende principalmente de: las características de remoción del afluente, la calidad requerida del efluente para el reuso en las diferentes etapas, el espacio disponible, los costos de operación y construcción del sistema, la flexibilidad del sistema para la satisfacción de requerimientos futuros más exigentes, generación de subproductos y la cantidad y nivel tecnológico de los operarios necesarios para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento.

Teniendo en cuenta el balance de cargas desarrollado en la sección 5.2.1., en donde se encuentran descritos los porcentajes de remoción de cargas

contaminantes en cada una de las etapas de tratamiento en la PTAR, y los porcentajes de remoción obtenidos en los ensayos de tratabilidad de cada alternativa, se hace una proyección de porcentajes de remoción y parámetros de salida del efluente al final del tratamiento con la implementación de cada una de las alternativas, para poder comparar la calidad de efluente que se obtendría en cada una de éstas mostrados en la tabla 48, en la cual se puede observar que los porcentajes de remoción obtenidos con las tres alternativas son altos. De esta forma las alternativas A y B muestran porcentajes de remoción más altos que la C, excepto en el parámetro de grasas y aceites en el cual ésta muestra un 98% de remoción, teniendo en cuenta que los parámetros de entrada difieren en cada alternativa puesto que el efluente de AZULK S.A. es muy variable y los ensayos de tratabilidad se desarrollaron en días cercanos pero con muestras diferentes.

Tabla 48. Calidades de agua y rendimientos de remoción obtenidos con las alternativas propuestas.

ALTERNATIVA A (oxidación con Ca (ClO ₂))									
Parámetros	Etapa de tratamiento								Eficiencia (%)
	Entrada		Homogenizador (Kg/d)	Tratamiento fisicoquímico (Kg/d)	Clarificación (Kg/d)	Lodos activados (Kg/d)	Filtros (salida)		
	(mg/L)	(Kg/d)					(Kg/d)	(mg/L)	
DQO	3080	255.02	226.54	81.55	46.49	N.A	20.35	245.77	92
DBO	2118	175.37	146.61	49.85	40.38	N.A	32.30	390.1	81.5
SST	3560	294.77	330.14	112.25	109.44	N.A	50.34	608	83
G y A	159.5	13.21	10.88	3.39	2.12	N.A	0.57	6.88	95
ALTERNATIVA B (oxidación con (H ₂ O ₂))									
Parámetros	Etapa de tratamiento								Eficiencia (%)
	Entrada		Homogenizador (Kg/d)	Tratamiento fisicoquímico (Kg/d)	Clarificación (Kg/d)	Lodos activados (Kg/d)	Filtros (salida)		
	(mg/L)	(Kg/d)					(Kg/d)	(mg/L)	
DQO	8498	703.63	633.27	227.98	129.95	109.16	48.03	580.07	93.2
DBO	3570	295.60	242.39	82.41	66.75	36.72	29.37	354.71	90.1
SST	2592	214.62	178.13	60.57	59.65	46.06	21.19	255.92	90.1
G y A	735	60.86	51.73	17.07	10.07	6.14	1.91	23.07	96.9
ALTERNATIVA C (Sistema DAF)									
Parámetros	Etapa de tratamiento								Eficiencia (%)
	Entrada		Homogenizador (Kg/d)	Sistema DAF (Kg/d)	Lodos activados (Kg/d)	Filtros (salida)			
	(mg/L)	(Kg/d)				(Kg/d)	(mg/L)		
DQO	3040	251.7	226.5	70.22	58.98	25.95	313.4	89	
DBO	2098	173.71	142.44	38.45	21.14	16.91	204.22	90	
SST	2660	220.24	182.79	62.14	48.46	22.29	269.20	89	
G y A	650	53.82	45.74	6.86	4.18	1.30	15.70	97	

N.A: no aplica.

Fuente: La autora, 2008.

En la tabla anterior se observa que la salida del efluente en todas las alternativas esta dentro de parámetros de la norma por amplio rango, dando como resultado un efluente apto para el reuso (ver tabla 49).

Tabla 49. Resumen de los parámetros de salida de las alternativas y puntos de reuso.

PARAMETROS	ALTERNATIVAS		
	A	B	C
pH (unidades)	8.14	8.6	7.4
Temperatura °C	21.3	20	20
DQO (mg/L)	245.77	580.07	313.40
DBO (mg/L)	390.1	354.71	204.22
SST (mg/L)	608	255.92	269.20
G y A (mg/L)	6.88	23.07	15.70
Fenoles (mg/L)	0.4	0.13	0.72
SAAM (mg/L)	6.9	5.33	0.32
Color UPC	50	15	20
Olor	aceptable	Aceptable	Aceptable
Conductividad micromhos/cm	800	200	70
Turbiedad (NTU)	25	5	3
PUNTOS DE REUSO*			
A	B	C	
Lavados en: recepción de materia prima, glicerina, torre barométrica, crema lava loza, planta de líquidos y retro lavados en filtros, teniendo en cuenta que para G y A, SAAM y fenoles, la alternativa no cumple con los parámetros requeridos, pero se puede reutilizar puesto que éstos parámetros no interfieren en el desarrollo normal de éstas actividades.	Solamente en la zona de saponificación, puesto que ésta alternativa no remueve en gran porcentaje grasas y aceites, lo cual es fundamental para el reuso del agua en las demás etapas.	Se podría reutilizar el agua en todas las etapas propuestas en la tabla 37, excepto el parámetro de G y A no es aceptable para los lavados, lo cual se debe a que el DAF utilizado es de aire disperso, y de acuerdo a lo encontrado en la literatura, si éste fuera de aire disuelto se podría obtener mayor remoción de G y A.	
Total de agua requerida: 86.53m ³	Total de agua requerida: 519 m ³ .	Total de agua requerida: 639.7 m ³ .	

Fuente: La autora, 2008.

La mejor alternativa de reuso se seleccionó con base en el estudio individual de cada una, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas mostradas en la tabla 48 y con los costos de las posibles soluciones técnicas mostrados en la tabla 47, teniendo en cuenta a su vez los parámetros de selección mencionados anteriormente y presentados en la tabla 50, en la que se comparan las tres alternativas propuestas para cada uno de los parámetros mencionados.

*Datos suministrados por el departamento de calidad de AZUL K S.A.

Tabla 50. Matriz de priorización: Comparación de las tres alternativas propuestas (A, B y C)

Factor de selección	Alternativa A (oxidación con Ca (ClO) ₂)				Alternativa B (oxidación con (H ₂ O ₂))				Alternativa C (Sistema DAF)				Ponderación		
													A	B	C
COSTOS															
-Operativos	1'069.022				19'418.758				1'784.320				2	5	2
-Equipos y mantenimiento	1'834.500				1'604.200				87'068.300				2	2	5
-Personal	2'745.000				2'745.000				1'830.000				3	3	2
CALIDAD DE AGUA Y PUNTOS DE REUSO														Ponderación	
	DQO	DBO	SST	G y A	DQO	DBO	SST	G y A	DQO	DBO	SST	G y A	A	B	C
Eficiencia de remoción	92	81.5	83	95	93.2	90.1	90.1	96.9	89	90	89	97	4	4	4
Grado de contaminación mg/l	245.77	390.1	608	6.88	580.07	354.71	255.92	23.07	313.4	204.22	269.20	15.70	4	4	4
Puntos de reuso	9				1				17				3	1	4
CONFIABILIDAD															
Resistencia a cargas choque de materia orgánica.	No se adapta fácil a cambios de flujo ni a cargas choque.				Se adapta con facilidad a cargas choque por su amplio espectro.				Es sensible a variaciones de temperatura y concentración de sólidos suspendidos. Tolera una carga contaminante alta.				2	2	5
Sensibilidad de operación intermitente	La operación puede ser intermitente sin causar dificultad.				La operación puede ser intermitente sin causar dificultad.				La operación puede ser intermitente sin causar dificultad.				2	2	2
Requerimientos de personal	Tres operarios en turnos de 8 horas cada uno.				Tres operarios en turnos de 8 horas cada uno.				Dos operarios en turnos de 8 horas cada uno.				5	5	1
Destreza operativa del personal.	Nivel técnico				Nivel técnico				Nivel técnico avanzado				3	3	1
Dependencia tecnológica u operación compleja	Dosificación sencilla				Dosificación por contacto, operación compleja por las propiedades fisicoquímicas del peróxido de hidrogeno.				Con alto nivel de dependencia tecnológica, condiciones óptimas de trabajo difíciles de alterar y operación sencilla.				1	1	5

FACTIBILIDAD y FLEXIBILIDAD						
Terreno disponible	1m ²	1m ²	8m ²	m	m	M
Ampliaciones futuras	La dosificación mediante bombas permite una ampliación de dosis del agente oxidante para un caudal mayor.	Es flexible y permite modificaciones futuras.	Se puede adaptar a modificaciones futuras, mediante la adición de equipos o tecnología innovadora.	4	4	4
GENERACION DE SUBPRODUCTOS Y LODOS						
Subproductos contaminantes	El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos tales como los metanos trihalogenados (MTH).	El peróxido de hidrógeno se descompone de forma exotérmica al agua y al oxígeno sin residuos tóxicos.	La generación de residuos en ésta alternativa se reduce a grasas y a lodos resultantes de la sedimentación con residuos de floculante y coagulante, los cuales dispondrían mediante una entidad externa (Rellenos de Colombia).	5	2	5
Tipos y cantidad de residuos.	Tanques de almacenamiento del reactivo los cuales pueden ser reusados.	Tanques de almacenamiento del reactivo, los cuales no pueden ser reusados por las características fisicoquímicas del peróxido de hidrogeno.	Tanques de almacenamiento del floculante y coagulante, los cuales pueden ser reusados.	2	3	2
Lodos y su peligrosidad.	Lodos peligrosos por la formación de (MTH).	Lodos no peligrosos por la sedimentación.	Lodos no peligrosos con residuos de floculante y coagulante por la sedimentación.	5	3	5
OTROS FACTORES						
Facilidad de manejo y almacenamiento.	Puede ser almacenado hasta por un	No es inflamable, pero es inestable y se descompone rápidamente a oxígeno y	Son sistemas con recirculación	3	3	5

	año sin que su composición inicial se altere. Muy corrosivo por lo que el almacenamiento debe ser adecuado para evitar daños por corrosión. Su elevado contenido de calcio genera incrustaciones.	agua con liberación de calor, puede causar combustión espontánea, es tóxico y muy irritante, su almacenamiento debe ser en recipientes atmosféricos. Puede explotar por fricción, calor o contaminación.	para la presurización, mezclan floculación, clarificación y engrosamiento de lodos en una sola operación. Es una Tecnología Avanzada de Flotación de fácil operación.			
Facilidad de combinación con otros procesos.	No es posible la combinación con el tratamiento de lodos activados puesto que el cloro residual en el agua produce lisis en los lodos biológicos.	Se adapta y se puede combinar con todos los dispositivos y procesos unitarios de la PTAR	Mejora de la calidad del efluente que se dirige al sistema biológico con una consecuente mejora de la calidad de agua descargada, siendo de fácil adecuación a los demás procesos de la PTAR.	1	5	4
Restricciones ambientales.	Genera olor a cloro concentrado.	No genera olor ni ruido excesivo	Genera ruido pero éste no es continuo ni excesivo.	3	1	5
Requerimientos y costos energéticos	Los costos y requerimientos energéticos se reducen a la poca energía consumida por las bombas.	Los costos y requerimientos energéticos se reducen a la poca energía consumida por las bombas.	Consumo elevado de energía eléctrica para la aireación.	2	2	5
Nivel de seguridad industrial	Debe ser adecuado para el manejo del reactivo, puesto que tiene efectos en la salud humana por su ingestión, inhalación o contacto.	Exige el uso de equipo de protección personal especial para la protección de la piel, la respiratoria y la de ojos.	La protección que actualmente se usa en la PTAR es adecuada, puesto que no interviene ningún otro tipo de reactivo.	3	5	1

Fuente: La autora, 2008.

Convenciones

- 1: Mínimo
- 2: Bajo
- 3: Moderado
- 4: Bueno
- 5: Máximo

De acuerdo a la matriz de priorización (tabla 50), en la cual se compararon las tres alternativas propuestas en cuanto a cada criterio de selección, se determinó que la alternativa de tratamiento que mejor se adapta a las diferentes condiciones de caudal y características fisicoquímicas de AZULK S.A., estudiadas en la realización del proyecto, es la C (sistema *DAF*), dando como resultado un efluente apto para su reuso en todas las etapas de producción de la empresa propuestas en la tabla 37.

Además presenta ventajas con respecto a las otras alternativas en cuanto a los requerimientos de personal, puesto que con esta alternativa, la PTAR se podría operar con dos personas solamente, en caso de automatizarla, con lo cual se ahorraría el salario de un operario. Con respecto a la generación de subproductos y residuos peligrosos, la alternativa C no genera más residuos de los que actualmente se manejan en la PTAR, ni tampoco genera subproductos extraños, puesto que este sistema no requiere de otro reactivo diferente a los que se manejan actualmente. Otra ventaja del sistema seleccionado es la flexibilidad y factibilidad de ampliaciones futuras y combinación con los demás procesos unitarios de la PTAR. Adicionalmente ésta alternativa de tratamiento resulta ser la que remueve mas grasas y aceites, lo cual es de vital importancia para el funcionamiento adecuado del tratamiento de lodos activados.

Con respecto a la alternativa A (oxidación con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$), el porcentaje de remoción es alto para todos los parámetros y sus costos de operación y mantenimiento son bajos, pero tiene varias desventajas en cuanto a la generación de subproductos como los trihalometanos (*THM*), los cuales resultan ser más difíciles de tratar que los residuos líquidos actuales; además, no es posible combinarla con el tratamiento de lodos activados puesto que el cloro residual generado en la oxidación destruye la membrana celular de la biomasa. Otra desventaja que presenta ésta alternativa es el aporte de color y turbiedad al efluente por lo cual se tendría que pensar en otra etapa para su remoción, y su reuso estaría más limitado o no se podría contemplar esta opción.

Por último, en cuanto a la alternativa B (oxidación con H_2O_2) se observó que presenta los mejores porcentajes de remoción de la mayoría de los contaminantes en el afluente de AZULK S.A, pero al mismo tiempo muestra desventajas en cuanto a los costos operativos puesto que el peróxido tiene un valor comercial elevado y para la oxidación de la materia orgánica presente en el afluente sería necesario el uso de una cantidad considerable de éste agente oxidante, causando un aumento continuo en los costos. También, el almacenamiento y manejo del peróxido es complicado por sus características fisicoquímicas y cuidados industriales, lo cual implica un riesgo mayor para el operario, además de presentar un porcentaje de remoción bajo en grasas y aceites, lo que reduce la posibilidad de reuso del efluente en las diferentes etapas del proceso productivo de AZULK S.A.

7. EVALUACION ECONOMICA.

En el presente capítulo se define la relación beneficio-costo (B/C) de la alternativa de tratamiento de aguas residuales industriales seleccionada en el capítulo anterior para el reuso del efluente en las diferentes etapas del proceso productivo en la empresa de jabones AZULK S.A.

7.1. COSTOS E INVERSION

La cantidad de costos se refiere a los recursos monetarios a los que la empresa renuncia para alcanzar un objetivo específico (tratamiento y reuso del agua residual industrial de AZULK S.A.); los cuales se describen en el anexo R; y la inversión representa la cantidad de dinero que la empresa coloca para obtener un rendimiento de éste o bien recibir dividendos que ayuden a aumentar el capital de la empresa⁴⁷.

7.2. BENEFICIOS

Son aquellos por los que se hace el proyecto, los cuales, en este caso específico, se reducen al ahorro de recursos hídricos debido al reuso del agua⁴⁸.

7.3. RELACION BENEFICIO/ COSTO.

Para llevar a cabo el estudio económico se utilizó el método relación beneficio-costos (B/C), el cual se halló mediante la relación de VPN ingresos/VPN costos, analizando a hoy la conveniencia de la inversión, hasta hacerlos a periodo cero (2008), tanto los ingresos y los egresos que se presentan a un interés dado.

A continuación se presenta la relación B/C obtenida del estudio económico realizado a la alternativa escogida C (tabla 51) (sistema DAF), para observar la procedencia de éstos datos remítase al anexo R.

⁴⁷ OYARZUN, Diego. Economía y medio ambiente. Tomo I. Bogotá. Mc Graw Hill. 1996.p.61.

⁴⁸ BACCA CURREA, Guillermo. Ingeniería Económica. Bogotá: Fondo educativo panamericano, 2005.

Tabla 51. Relación B/C.

TIO*	20%
VPN Ingresos	283.409.922
VPN Costos	206.337.233
Período de Repago	7
RB/C	1,37

*TIO= Tasa de interés de oportunidad.

De acuerdo a la tabla anterior se puede observar que la relación B/C muestra un valor mayor a 1, lo cual significa que los ingresos son mayores que los egresos y de ésta forma el proyecto es aconsejable en términos económicos. También significa que por cada peso invertido se logra recuperar 0,37 pesos y que la inversión se logra recuperar en el periodo 7, el cual corresponde al año 2015. Puesto que este indicador económico es un criterio de selección confiable, se corrobora una vez más que la alternativa seleccionada (el sistema *DAF*) es adecuada para las exigencias ambientales y económicas de la AZULK S.A., y que además, esta alternativa proporciona beneficios económicos y ambientales por el reuso del agua en las diferentes etapas del proceso productivo, ahorro en el pago de tasas retributivas y costos de alcantarillado. Por medio del cumplimiento de las metas ambientales, ésta alternativa genera beneficios sociales enfocados a la imagen institucional de la empresa.

8. CONCLUSIONES

El afluente a la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa de jabones AZULK S.A., es generado por los lavados realizados en las diferentes etapas de producción de la empresa, por el agua desechada de los procesos de evaporación, destilación y secado alcanzando 1350 m³/mes captado en el pozo de bombeo.

El comportamiento de la DBO y DQO, que resultó del análisis de las fuentes generadoras, es variable, lo que implica que el vertimiento se catalogue como orgánico biodegradable, u orgánico no biodegradable dependiendo de las actividades de proceso desarrolladas diariamente.

De acuerdo a las caracterizaciones en las fuentes de vertimiento, la temperatura de la mayoría de estas alcanza los 50 °C, causando un mal funcionamiento de las trampas grasas ya que están muy cerca de estas fuentes y no son capaces de retener la grasa, dejándola pasar al pozo de captación de la PTAR.

En el balance de cargas se determinó que la PTAR presenta actualmente un porcentaje de remoción del 75 % de carga contaminante difiriendo del porcentaje de remoción para el cual fue diseñada (85%), lo cual es causado por las condiciones de crecimiento de la empresa y así mismo de sus vertimientos.

En el diagnóstico técnico y operativo realizado en la PTAR de AZULK S.A. se encontraron algunas falencias, dentro de las cuales cabe resaltar las siguientes: la homogenización realizada es en línea, en donde la totalidad del caudal pasa por un tanque, lo cual no es suficiente para que el vertimiento tenga condiciones homogéneas, causando choques de carga y desestabilizando el tratamiento de la PTAR; la dosificación de floculante en el tratamiento fisicoquímico no es adecuada; en el tanque clarificador se determinó el mal funcionamiento causado por su diseño de fondo plano presentando un tiempo de retención mayor para la sedimentación, originando sobrenadantes que pasan a través de los orificios de la tubería ubicada en la superficie del tanque al tratamiento de lodos activados, el cual presenta deficiencias asociadas a la Sedimentabilidad, y la edad del lodo. En los filtros de arena y carbón activado se presentó una formación de caminos

preferenciales debido a que la superficie de contacto que tiene el agua con el lecho filtrante es pequeña, originando una colmatación de éstos y por ende una frecuencia de retrolavado en cortos períodos de tiempo (1 vez/cada 4 días).

De acuerdo a la primera campaña de caracterizaciones realizadas de forma puntual en las fuentes generadoras en la planta de producción, se concluye que los lavados realizados en la planta de crema lava loza, limpiador líquido, vacío I, II, aportan gran cantidad de carga contaminante desestabilizando con facilidad el tratamiento de agua en la PTAR, por lo cual se vio la necesidad de implementar el reuso del agua generada por estas etapas en la zona de saponificación.

En el estudio para la selección de la mejor alternativa, se tuvieron en cuenta criterios como costos, porcentajes de remoción, confiabilidad, flexibilidad, y generación de subproductos entre otros, con lo cual se determinó que la alternativa que cumple con estos criterios y con las condiciones de la empresa es el sistema *DAF*, obteniendo un efluente adecuado para el reuso en saponificación y en lavados, reduciendo de esta forma, el consumo de éste recurso en AZULK S.A. de 4085 m³/mes a 3445 m³/mes y así mismo su costo.

La relación beneficio – costo de la alternativa *DAF*, fue 1.37, por lo cual el proyecto es viable y aconsejable económicamente, presentando un periodo de repago a 7 años, lo que significa que los siguientes 3 años, en el horizonte de tiempo considerado (10 años), la empresa recibe mayores ingresos en forma de ahorro, puesto que la inversión ya se ha cancelado en su totalidad.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio microbiológico que permita el aislamiento y la adaptabilidad de los microorganismos encargados de la remoción de materia orgánica, a las características actuales del agua residual industrial de AZULK S.A.

Se debe considerar el aumento en la edad de los lodos de 1.5 a 7 días para promover la remoción completa de carga orgánica disminuyendo la relación A/M de 0.96 a 0.69 y así conseguir una mejor Sedimentabilidad.

Se sugiere operar y adecuar la PTAR a un caudal de $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$, y de ésta forma tratar en su totalidad el afluente, evitando costos adicionales por almacenamiento de agua cruda.

Es necesario adecuar un difusor de aire en el tanque homogenizador para obtener condiciones adecuadas del vertimiento hacia los demás dispositivos de tratamiento hacia la PTAR.

Para el reuso del efluente de la PTAR en el proceso productivo de AZULK S.A. se sugiere la implementación de una unidad de flotación por aire disuelto (*DAF*), diseñado para un caudal máximo de $3.45 \text{ m}^3/\text{h}$.

Realizar un plan de reuso para la empresa AZULK S.A. teniendo en cuenta las características del efluente y los puntos de reuso propuestos en el proyecto.

Se sugiere desarrollar un ensayo de tratabilidad a nivel piloto combinando un agente oxidante y el sistema *DAF*, para obtener mayores porcentajes de remoción en cuanto a fenoles, SAAM y DQO.

Se recomienda optimizar la unidad piloto *DAF*, para realizar pruebas posteriores, se evidenció que el sistema de aireación de burbujas no es eficiente, presentando tiempos de retención mayores a los establecidos en la literatura.

BIBLIOGRAFIA

ANDREW –VILLEGAS, Rafael. Optimizing Flocculator Power Input. Journal of Environmental Engineering Division, 1976. P. 251-280.

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Colombia. ACODAL, 1979. p.95

AZULK S.A. Departamentos de Control de Calidad, Contabilidad y Gestión Ambiental, 2007-2008.

BACCA CURREA, Guillermo. Ingeniería Económica. Bogotá: Fondo educativo panamericano, 2005.

BALDA AYALA, Roberto, Diseño de una guía para el registro de información técnica de visitas industriales en PTAR. Bogotá: Proyecto de investigación, 2006; p 106.

BARRY Field, OYARZUN Diego, Economía y medio ambiente. Tomo 1. Bogotá. Editorial: Mc Graw Hill. 1996. p. 61.

ECKENFELDER, Industrial Water Pollution Control, Boston. Editorial: Mc Graw Hill, 2000.

FRANZINI, Joseph, Mecánica de fluidos con aplicaciones en ingeniería. Novena Edición. Madrid. Editorial: Mc Graw Hill. 1997. P. 65-113.

KEMMER, Frank. Manual del agua su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Editorial: Mcgraw-hill. México. 1979.

LEONI Nadine, ROJAS Ivan, Estudio de la preoxidación por el cloro, dióxido de cloro o peróxido de hidrógeno como mejoramiento de los procesos convencionales utilizados para la potabilización del agua.

METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. Editorial: McGraw Hill, Tercera edición. España. 1995. P 125-487.

NEMEROW. Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Madrid: Edición Díaz de Santos S.A, 1998. p 581 - 583.

Página web; <http://www.lenntech.com/espanol/tratamientodeaguasresiduales.htm>

Página web; Ministerio del medio ambiente. www.minambiente.gov.co/.

Página web : AZULK S.A. <http://www.azulk.com/>

Página web: Enciclopedia libre Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/>

Página web: ACERCAR. Ventanilla de Asistencia Técnica Ambiental. <http://www.acercar.org.co>.

Página web: Evaluación del Peróxido de Hidrógeno en la Oxidación de Fenol. Juan C. Moreno, Víctor M. Sarria, Ángel D. Polo y Liliana Giraldo. Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Universidad de los Andes. <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n2/art10.pdf>

RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de aguas residuales industriales. Barcelona. Boixareu editores, 1989.

ROMERO ROJAS, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Editorial: Escuela colombiana de ingeniería. Bogotá, 2002. p 240-478.

SEOANEZ CALVO, Mariano .Depuración de las Aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas y de Bajo Costo. España. Mundi-Prensa, 2004.

TCHOBANOGLOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia, Mayo de 2000. p 32-38

_YAO.Theoretical Study of High Rate Sedimentation. Journal WPCF, p. 42 – 218 (feb 1970).

ANEXOS

ANEXO A

**PLANO DE TUBERÍAS HIDRÁULICAS DE LA EMPRESA DE JABONES
AZULK S.A.**

ANEXO B
Aforo de lavados mediante método de aforo y cuantificación de caudales.

FUENTES DE VERTIMIENTO	VOLUMEN RECOLECTADO (litros)	TIEMPO DEL AFORO (min)	TIEMPO TOTAL (min)	CANTIDAD DE AGUA (m ³ /mes)	CANTIDAD TOTAL DE AGUA POR ZONA (m ³ /mes)	FRECUENCIA
RECEPCIÓN DE M.P.						
- Lavado de pisos.	10	0.43	33	17.21	27.15	5 veces /sem
- Purga de los 7 silos.	6	0.63	17	9.94		2 veces /sem
GLICERINA						
- Lavado de pisos.	10	0.20	30.11	13.27	56.95	2 veces /sem
- Rebose pozo barométrico de evaporación.	0.8	0.98	60	0.4		2 veces /sem
- Salida condensados bomba marranito.	0.8	1.83	420	1.6		2 veces /sem
- Lavados calderín.	10	0.27	120	40		2 veces/sem
- Rebose piscina torre de evaporación.	0.8	1.53	180	1.2		3 veces/sem
- Rebose pozo barométrico destilación.	0.8	3.41	120	0.48		4 veces/sem
VACIO I						
- Rebose pozo barométrico.	0.2	0.17	60	0.07	0.87	1 vez/mes
- Lavado de pisos y equipos.	10	3.2	30	0.8		2 veces/ sem
VACIO II						
- Rebose pozo barométrico.	0.2	0.053	50	1.68	10.45	2 veces/ sem
- Lavado torre barométrica.	10	0.045	30	3.25		1 vez/2 mes
- Lavado de pisos y equipos.	9.71	0.3166	20	5.520		2 veces/ sem
PLANTA DE CREMAS						
- Lavado de traperos.	10	0.84	8	1.5	2.1	Todos los días

ANEXO C DETERMINACIÓN DE LA ALÍCUOTA Y SOPORTES DE CARACTERIZACIONES.

- Determinación de la alícuota.

La alícuota es la porción de muestra individual que formará parte de la muestra compuesta. La fórmula utilizada para determinar las alícuotas para la composición de la muestra es la siguiente:

- ◆ Cada 30 min. Se estima el caudal y se recolectan las muestras.
- ◆ Luego de terminar el muestreo se estima la sumatoria de caudales (l/min).
- ◆ Conociendo la cantidad de parámetros a analizar se determinó el volumen de muestra necesario y en n campo se compone la muestra deseada.

Una vez determinados los caudales instantáneos se estimaron los volúmenes de muestra a tomar para calcular el volumen total integrado de muestra.

$$\% \text{ de cada muestra} = \frac{\text{caudal de la muestra individual}}{\sum \text{caudales de todas las muestras}} \times 100$$

$$\text{porción unitaria ó Alícuota} = \frac{\% \text{ de cada muestra} \times \text{volumen total de muestra}}{100\%}$$

Luego se hace la sumatoria de todos los porcentajes de muestra y debe dar como resultado final 100 y la sumatoria de la alícuotas debe dar como resultado el volumen total de la muestra deseada.

Parámetros medidos in-situ (pozo de captación)

Hora	pH unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alícuota (ml)	Caudal (m³/h)
10:00 AM	6,03	16	476	209	0,439	4,4	305,2	1,581
10:30 AM	5,62	17	468	209	0,447	4,4	310,4	1,608
11:00 AM	5,68	19	489	209	0,427	4,2	297,1	1,539
11:30 AM	5,75	16	156	209	1,340	13,3	931,2	4,823
12:00 PM	5,4	16	343	209	0,609	6,1	423,5	2,194
12:30 PM	5,39	16	453	209	0,461	4,6	320,7	1,661
1:00 PM	5,05	16	678	209	0,308	3,1	214,3	1,110
1:30 PM	5,12	16	220	209	0,950	9,4	660,3	3,420
2:00 PM	5,31	16	514	209	0,407	4,0	282,6	1,464
2:30 PM	5,2	15	402	209	0,520	5,2	361,4	1,872
3:00 PM	5,18	15	196	209	1,066	10,6	741,1	3,839
3:30 PM	5,14	15	150	209	1,393	13,8	968,4	5,016
4:00 PM	5,52	14	376	209	0,556	5,5	386,3	2,001
4:30 PM	5,94	15	560	209	0,373	3,7	259,4	1,344
5:00 PM	5,68	15	840	209	0,249	2,5	172,9	0,896
5:30 PM	5,59	12	895	209	0,234	2,3	162,3	0,841
6:00 PM	5,4	11	716	209	0,292	2,9	202,9	1,051
Promedio	5,47	15,29			0,592			2,133
Sumatoria					10,071	100,0	7000,0	36,256
Máximo					1,393			5,016
Mínimo					0,234			0,841

Parámetros medidos in-situ (homogenizador)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composició n muestra %	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
7:00 AM	5,49	19.68	1,37	0,5	0,365	6,3	220,3	1,581
7:30 AM	6,3	17.9	2,93	0,92	0,314	5,4	189,6	1,608
8:00 AM	5,52	19.4	2,13	0,76	0,357	6,2	215,4	1,539
8:30 AM	5.67	19.3	2,2	0,75	0,341	5,9	205,8	4,823
9:00 AM	4,92	19.6	2,1	0,72	0,343	5,9	207,0	2,194
9:30 AM	5,44	20.0	2,95	0,95	0,322	5,6	194,4	1,661
10:00 AM	4.65	19.68	2,18	0,78	0,358	6,2	216,0	1,110
10:30 AM	5.57	18.8	2,68	0,89	0,332	5,7	200,5	3,420
11:00 AM	5,61	19.0	3,01	1	0,332	5,7	200,6	1,464
11:30 AM	5.8	20.0	2,58	0,86	0,333	5,8	201,3	1,872
12:00 PM	5.77	19.7	2,62	0,88	0,336	5,8	202,8	3,839
12:30 PM	5,86	19.9	2,14	0,76	0,355	6,1	214,4	5,016
1:00 PM	5,39	18.98	1,39	0,56	0,403	6,9	243,2	2,001
1:30 PM	5,67	19.78	2,97	0,98	0,330	5,7	199,2	1,344
2:00 PM	5.48	20	2,94	0,95	0,323	5,6	195,1	0,896
2:30 PM	4,69	20	2,99	0,99	0,331	5,7	199,9	0,841
3:00 PM	5.89	19	2,92	0,94	0,322	5,6	194,4	1,051
Promedio	5,49	19,67						2,133
Sumatoria					5,797	100,0	3500,0	36,256
Máximo					0,403			5,016
Mínimo					0,314			0,841

Parámetros medidos in-situ (tanque de floculación)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
3:00 PM	7,01	20,68	1,89	0,65	0,344	7,3	256,8	1,238
3:30 PM	7,5	20,2	2,8	0,76	0,271	5,8	202,7	0,977
4:00 PM	7,44	21,6	3,3	0,92	0,279	5,9	208,2	1,004
4:30 PM	7,5	22,95	2,6	0,73	0,281	6,0	209,7	1,011
5:00 PM	9,56	23,3	2,4	0,71	0,296	6,3	220,9	1,065
5:30 PM	8,2	23,67	3,48	0,96	0,276	5,9	206,0	0,993
6:00 PM	8,15	23,56	2,7	0,73	0,270	5,8	201,9	0,973
6:30 PM	8,57	23,4	4,1	1	0,244	5,2	182,1	0,878
7:00 PM	7,56	23,8	3,88	1	0,258	5,5	192,5	0,928
7:30 PM	8,54	23,3	3,68	0,95	0,258	5,5	192,8	0,929
8:00 PM	7,67	23,7	3,5	0,94	0,269	5,7	200,6	0,967
8:30 PM	8,43	23,9	2,68	0,75	0,280	6,0	209,0	1,007
9:00 PM	8,14	21,98	1,76	0,62	0,352	7,5	263,1	1,268
9:30 PM	8,91	21,78	2,83	0,76	0,269	5,7	200,6	0,967
10:00 PM	8,15	24,9	3,7	0,99	0,268	5,7	199,8	0,963
10:30 PM	8,55	25,6	4,2	1	0,238	5,1	177,8	0,857
11:00 PM	7,57	25,6	3,32	0,78	0,235	5,0	175,5	0,846
Promedio	8,09	23,17						0,992
Sumatoria					4,687	100,0	3500,0	16,872
Máximo					0,352			1,268
Mínimo					0,235			0,846

Parámetros medidos in-situ (tanque clarificador)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
11:10 PM	6,56	20,58	1,6	0,65	0,406	8,2	288,6	1,463
11:40 PM	6,5	21,6	2,7	0,76	0,281	5,7	200,0	1,013
12:10 AM	6,54	21,8	3,1	0,92	0,297	6,0	210,9	1,068
12:40 AM	7,3	22,95	2,5	0,73	0,292	5,9	207,5	1,051
1:10 AM	7,56	22,2	2,4	0,71	0,296	6,0	210,2	1,065
1:40 AM	7,2	22,37	3,88	0,96	0,247	5,0	175,8	0,891
2:10 AM	7,3	22,54	2,6	0,73	0,281	5,7	199,5	1,011
2:40 AM	6,57	22,3	4	1	0,250	5,1	177,6	0,900
3:10 AM	6,68	22,6	3,58	1	0,279	5,7	198,5	1,006
3:40 AM	7,68	22,6	3,68	0,95	0,258	5,2	183,4	0,929
4:10 AM	7,59	22,4	3,6	0,94	0,261	5,3	185,5	0,940
4:40 AM	6,52	22,5	2,6	0,75	0,288	5,9	205,0	1,038
5:10 AM	6,23	22,98	1,5	0,62	0,413	8,4	293,7	1,488
5:40 AM	7,21	22,4	2,65	0,76	0,287	5,8	203,8	1,032
6:10 AM	7,15	22,65	3,5	0,99	0,283	5,7	201,0	1,018
6:40 AM	6,55	22,5	3,94	1	0,254	5,2	180,3	0,914
7:10 AM	7,63	22,8	3,1	0,78	0,252	5,1	178,8	0,906
Promedio	6,99	22,34						1,043
Sumatoria					4,926	100,0	3500,0	17,734
Máximo					0,413			1,488
Mínimo					0,247			0,891

Parámetros medidos in-situ (tratamiento de lodos activados)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alícuota (ml)	Caudal (m³/h)
12:50 a.m.	6,03	24	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
01:20 a.m.	5,62	23,7	3,11	0,8	0,260	5,7	399,7	0,938
01:50 a.m.	5,78	23,6	3,1	0,9	0,294	6,4	450,4	1,057
02:20 a.m.	5,85	23,1	3,1	0,8	0,245	5,4	376,2	0,883
02:50 a.m.	6,65	24,9	3,1	0,7	0,231	5,1	353,9	0,830
03:20 a.m.	6	24,8	3,11	0,7	0,210	4,6	322,2	0,756
03:50 a.m.	5,05	24,7	3,12	0,6	0,178	3,9	273,2	0,641
04:20 a.m.	6,02	24,1	3,1	0,9	0,294	6,4	450,4	1,057
04:50 a.m.	6,1	23	3,12	0,8	0,244	5,3	373,8	0,877
05:20 a.m.	5,2	22	3,12	1,0	0,321	7,0	491,8	1,154
05:50 a.m.	5,89	25,7	3,11	0,7	0,210	4,6	322,2	0,756
06:20 a.m.	5,64	24,9	3,12	0,6	0,178	3,9	273,2	0,641
06:50 a.m.	5,62	23	3,12	0,9	0,292	6,4	447,6	1,050
07:20 a.m.	6	24,7	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
07:50 a.m.	5,78	24,6	3,12	1,0	0,321	7,0	491,8	1,154
08:20 a.m.	5,8	24,8	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
08:50 a.m.	6	24,1	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
Promedio	5,83	24,10			0,268			0,966
Sumatoria					4,562	100,0	7000,0	16,423
Máximo					0,322			1,158
Mínimo					0,178			0,641

Parámetros medidos in-situ (salida filtro)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/min)	% muestra	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
9:50 AM	5,5	18,4	30	4,0	8	3,1	116,9	0,48
10:20 AM	5,45	18,8	30	4,5	9	3,5	131,5	0,54
10:50 AM	5,41	18,7	30	4,0	8	3,1	116,9	0,48
11:20 AM	5,4	18,5	30	5,5	11	4,3	160,7	0,66
11:50 AM	5,37	18,2	30	9,5	19	7,4	277,6	1,14
12:20 PM	5,37	18,3	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
12:50 PM	5,35	18,1	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
1:20 PM	5,37	18,2	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
1:50 PM	5,37	18,4	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
2:20 PM	5,36	18,6	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
2:50 PM	5,3	18,6	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
3:20 PM	5,36	20	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
3:50 PM	5,21	20,2	30	8,0	16	6,2	233,8	0,96
4:20 PM	5,35	20,3	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
4:50 PM	5,25	20	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
5:20 PM	5,26	20	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
5:50 PM	5,24	19,3	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
Promedio	5,35	18,98			15,12			0,91
Sumatoria					257	100	3755,0	
máximo					19			1,14
Mínimo					8			0,48

RESULTADOS ANALQUIM

ANEXO B

Aforo de lavados mediante método de aforo y cuantificación de caudales.

FUENTES DE VERTIMIENTO	VOLUMEN RECOLECTADO (litros)	TIEMPO DEL AFORO (min)	TIEMPO TOTAL (min)	CANTIDAD DE AGUA (m ³ /mes)	CANTIDAD TOTAL DE AGUA POR ZONA (m ³ /mes)	FRECUENCIA
RECEPCIÓN DE M.P.						
- Lavado de pisos.	10	0.43	33	17.21	27.15	5 veces /sem
- Purga de los 7 silos.	6	0.63	17	9.94		2 veces /sem
GLICERINA						
- Lavado de pisos.	10	0.20	30.11	13.27	56.95	2 veces /sem
- Rebose pozo barométrico de evaporación.	0.8	0.98	60	0.4		2 veces /sem
- Salida condensados bomba marranito.	0.8	1.83	420	1.6		2 veces /sem
- Lavados calderín.	10	0.27	120	40		2 veces/sem
- Rebose piscina torre de evaporación.	0.8	1.53	180	1.2		3 veces/sem
- Rebose pozo barométrico destilación.	0.8	3.41	120	0.48		4 veces/sem
VACIO I						
- Rebose pozo barométrico.	0.2	0.17	60	0.07	0.87	1 vez/mes
- Lavado de pisos y equipos.	10	3.2	30	0.8		2 veces/ sem
VACIO II						
- Rebose pozo barométrico.	0.2	0.053	50	1.68	10.45	2 veces/ sem
- Lavado torre barométrica.	10	0.045	30	3.25		1 vez/2 mes
- Lavado de pisos y equipos.	9.71	0.3166	20	5.520		2 veces/ sem
PLANTA DE CREMAS						
- Lavado de traperos.	10	0.84	8	1.5	2.1	Todos los días

- Lavado de equipos.	10	3.6	11	0.6		Todos los días
PLANTA DE LÍQUIDOS						
- Lavado de equipos.	10	0.78	10	2.8	4.7	Todos los días
- Lavado de traperos e instrumentos.	10	1.62	14	1.9		Todos los días
CALDERAS						
- Purga de las 3 calderas	0.2	0.03	3.24	48	56.36	3 veces/día
- Grietas pozo calderas.	0.1	0.5166	1440	8.361		24 horas diarias
TOCADOR B						
- Lavados en cambio de formato	0.8	0.106	30	2	2	2 veces/ sem
LABORATORIO						
- Destilador.	0.2	2.56	720	0.48	25.85	12horas/2días
- Digestores para DQO	0.2	0.06	10	7.56		Diario
- Lavadero	0.2	0.32	1200	16.8		Diario
- Condensadores G y A	0.2	0.007	8	1		1 vez/ sem
PTAR						
- Retrolavado filtros	10	0.07	9.60	6	6	1 vez/ sem

ANEXO C DETERMINACIÓN DE LA ALÍCUOTA Y SOPORTES DE CARACTERIZACIONES.

- Determinación de la alícuota.

La alícuota es la porción de muestra individual que formará parte de la muestra compuesta. La fórmula utilizada para determinar las alícuotas para la composición de la muestra es la siguiente:

- ◆ Cada 30 min. Se estima el caudal y se recolectan las muestras.
- ◆ Luego de terminar el muestreo se estima la sumatoria de caudales (l/min).
- ◆ Conociendo la cantidad de parámetros a analizar se determinó el volumen de muestra necesario y en n campo se compone la muestra deseada.

Una vez determinados los caudales instantáneos se estimaron los volúmenes de muestra a tomar para calcular el volumen total integrado de muestra.

$$\% \text{ de cada muestra} = \frac{\text{caudal de la muestra individual}}{\sum \text{caudales de todas las muestras}} \times 100$$

$$\text{porción unitaria ó Alícuota} = \frac{\% \text{ de cada muestra} \times \text{volumen total de muestra}}{100\%}$$

Luego se hace la sumatoria de todos los porcentajes de muestra y debe dar como resultado final 100 y la sumatoria de la alícuotas debe dar como resultado el volumen total de la muestra deseada.

Parámetros medidos in-situ (pozo de captación)

Hora	pH unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alícuota (ml)	Caudal (m³/h)
10:00 AM	6,03	16	476	209	0,439	4,4	305,2	1,581
10:30 AM	5,62	17	468	209	0,447	4,4	310,4	1,608
11:00 AM	5,68	19	489	209	0,427	4,2	297,1	1,539
11:30 AM	5,75	16	156	209	1,340	13,3	931,2	4,823
12:00 PM	5,4	16	343	209	0,609	6,1	423,5	2,194
12:30 PM	5,39	16	453	209	0,461	4,6	320,7	1,661
1:00 PM	5,05	16	678	209	0,308	3,1	214,3	1,110
1:30 PM	5,12	16	220	209	0,950	9,4	660,3	3,420
2:00 PM	5,31	16	514	209	0,407	4,0	282,6	1,464
2:30 PM	5,2	15	402	209	0,520	5,2	361,4	1,872
3:00 PM	5,18	15	196	209	1,066	10,6	741,1	3,839
3:30 PM	5,14	15	150	209	1,393	13,8	968,4	5,016
4:00 PM	5,52	14	376	209	0,556	5,5	386,3	2,001
4:30 PM	5,94	15	560	209	0,373	3,7	259,4	1,344
5:00 PM	5,68	15	840	209	0,249	2,5	172,9	0,896
5:30 PM	5,59	12	895	209	0,234	2,3	162,3	0,841
6:00 PM	5,4	11	716	209	0,292	2,9	202,9	1,051
Promedio	5,47	15,29			0,592			2,133
Sumatoria					10,071	100,0	7000,0	36,256
Máximo					1,393			5,016
Mínimo					0,234			0,841

Parámetros medidos in-situ (homogenizador)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composició n muestra %	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
7:00 AM	5,49	19.68	1,37	0,5	0,365	6,3	220,3	1,581
7:30 AM	6,3	17.9	2,93	0,92	0,314	5,4	189,6	1,608
8:00 AM	5,52	19.4	2,13	0,76	0,357	6,2	215,4	1,539
8:30 AM	5.67	19.3	2,2	0,75	0,341	5,9	205,8	4,823
9:00 AM	4,92	19.6	2,1	0,72	0,343	5,9	207,0	2,194
9:30 AM	5,44	20.0	2,95	0,95	0,322	5,6	194,4	1,661
10:00 AM	4.65	19.68	2,18	0,78	0,358	6,2	216,0	1,110
10:30 AM	5.57	18.8	2,68	0,89	0,332	5,7	200,5	3,420
11:00 AM	5,61	19.0	3,01	1	0,332	5,7	200,6	1,464
11:30 AM	5.8	20.0	2,58	0,86	0,333	5,8	201,3	1,872
12:00 PM	5.77	19.7	2,62	0,88	0,336	5,8	202,8	3,839
12:30 PM	5,86	19.9	2,14	0,76	0,355	6,1	214,4	5,016
1:00 PM	5,39	18.98	1,39	0,56	0,403	6,9	243,2	2,001
1:30 PM	5,67	19.78	2,97	0,98	0,330	5,7	199,2	1,344
2:00 PM	5.48	20	2,94	0,95	0,323	5,6	195,1	0,896
2:30 PM	4,69	20	2,99	0,99	0,331	5,7	199,9	0,841
3:00 PM	5.89	19	2,92	0,94	0,322	5,6	194,4	1,051
Promedio	5,49	19,67						2,133
Sumatoria					5,797	100,0	3500,0	36,256
Máximo					0,403			5,016
Mínimo					0,314			0,841

Parámetros medidos in-situ (tanque de floculación)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
3:00 PM	7,01	20,68	1,89	0,65	0,344	7,3	256,8	1,238
3:30 PM	7,5	20,2	2,8	0,76	0,271	5,8	202,7	0,977
4:00 PM	7,44	21,6	3,3	0,92	0,279	5,9	208,2	1,004
4:30 PM	7,5	22,95	2,6	0,73	0,281	6,0	209,7	1,011
5:00 PM	9,56	23,3	2,4	0,71	0,296	6,3	220,9	1,065
5:30 PM	8,2	23,67	3,48	0,96	0,276	5,9	206,0	0,993
6:00 PM	8,15	23,56	2,7	0,73	0,270	5,8	201,9	0,973
6:30 PM	8,57	23,4	4,1	1	0,244	5,2	182,1	0,878
7:00 PM	7,56	23,8	3,88	1	0,258	5,5	192,5	0,928
7:30 PM	8,54	23,3	3,68	0,95	0,258	5,5	192,8	0,929
8:00 PM	7,67	23,7	3,5	0,94	0,269	5,7	200,6	0,967
8:30 PM	8,43	23,9	2,68	0,75	0,280	6,0	209,0	1,007
9:00 PM	8,14	21,98	1,76	0,62	0,352	7,5	263,1	1,268
9:30 PM	8,91	21,78	2,83	0,76	0,269	5,7	200,6	0,967
10:00 PM	8,15	24,9	3,7	0,99	0,268	5,7	199,8	0,963
10:30 PM	8,55	25,6	4,2	1	0,238	5,1	177,8	0,857
11:00 PM	7,57	25,6	3,32	0,78	0,235	5,0	175,5	0,846
Promedio	8,09	23,17						0,992
Sumatoria					4,687	100,0	3500,0	16,872
Máximo					0,352			1,268
Mínimo					0,235			0,846

Parámetros medidos in-situ (tanque clarificador)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
11:10 PM	6,56	20,58	1,6	0,65	0,406	8,2	288,6	1,463
11:40 PM	6,5	21,6	2,7	0,76	0,281	5,7	200,0	1,013
12:10 AM	6,54	21,8	3,1	0,92	0,297	6,0	210,9	1,068
12:40 AM	7,3	22,95	2,5	0,73	0,292	5,9	207,5	1,051
1:10 AM	7,56	22,2	2,4	0,71	0,296	6,0	210,2	1,065
1:40 AM	7,2	22,37	3,88	0,96	0,247	5,0	175,8	0,891
2:10 AM	7,3	22,54	2,6	0,73	0,281	5,7	199,5	1,011
2:40 AM	6,57	22,3	4	1	0,250	5,1	177,6	0,900
3:10 AM	6,68	22,6	3,58	1	0,279	5,7	198,5	1,006
3:40 AM	7,68	22,6	3,68	0,95	0,258	5,2	183,4	0,929
4:10 AM	7,59	22,4	3,6	0,94	0,261	5,3	185,5	0,940
4:40 AM	6,52	22,5	2,6	0,75	0,288	5,9	205,0	1,038
5:10 AM	6,23	22,98	1,5	0,62	0,413	8,4	293,7	1,488
5:40 AM	7,21	22,4	2,65	0,76	0,287	5,8	203,8	1,032
6:10 AM	7,15	22,65	3,5	0,99	0,283	5,7	201,0	1,018
6:40 AM	6,55	22,5	3,94	1	0,254	5,2	180,3	0,914
7:10 AM	7,63	22,8	3,1	0,78	0,252	5,1	178,8	0,906
Promedio	6,99	22,34						1,043
Sumatoria					4,926	100,0	3500,0	17,734
Máximo					0,413			1,488
Mínimo					0,247			0,891

Parámetros medidos in-situ (tratamiento de lodos activados)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Composición muestra %	Alícuota (ml)	Caudal (m³/h)
12:50 a.m.	6,03	24	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
01:20 a.m.	5,62	23,7	3,11	0,8	0,260	5,7	399,7	0,938
01:50 a.m.	5,78	23,6	3,1	0,9	0,294	6,4	450,4	1,057
02:20 a.m.	5,85	23,1	3,1	0,8	0,245	5,4	376,2	0,883
02:50 a.m.	6,65	24,9	3,1	0,7	0,231	5,1	353,9	0,830
03:20 a.m.	6	24,8	3,11	0,7	0,210	4,6	322,2	0,756
03:50 a.m.	5,05	24,7	3,12	0,6	0,178	3,9	273,2	0,641
04:20 a.m.	6,02	24,1	3,1	0,9	0,294	6,4	450,4	1,057
04:50 a.m.	6,1	23	3,12	0,8	0,244	5,3	373,8	0,877
05:20 a.m.	5,2	22	3,12	1,0	0,321	7,0	491,8	1,154
05:50 a.m.	5,89	25,7	3,11	0,7	0,210	4,6	322,2	0,756
06:20 a.m.	5,64	24,9	3,12	0,6	0,178	3,9	273,2	0,641
06:50 a.m.	5,62	23	3,12	0,9	0,292	6,4	447,6	1,050
07:20 a.m.	6	24,7	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
07:50 a.m.	5,78	24,6	3,12	1,0	0,321	7,0	491,8	1,154
08:20 a.m.	5,8	24,8	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
08:50 a.m.	6	24,1	3,11	1,0	0,322	7,0	493,4	1,158
Promedio	5,83	24,10			0,268			0,966
Sumatoria					4,562	100,0	7000,0	16,423
Máximo					0,322			1,158
Mínimo					0,178			0,641

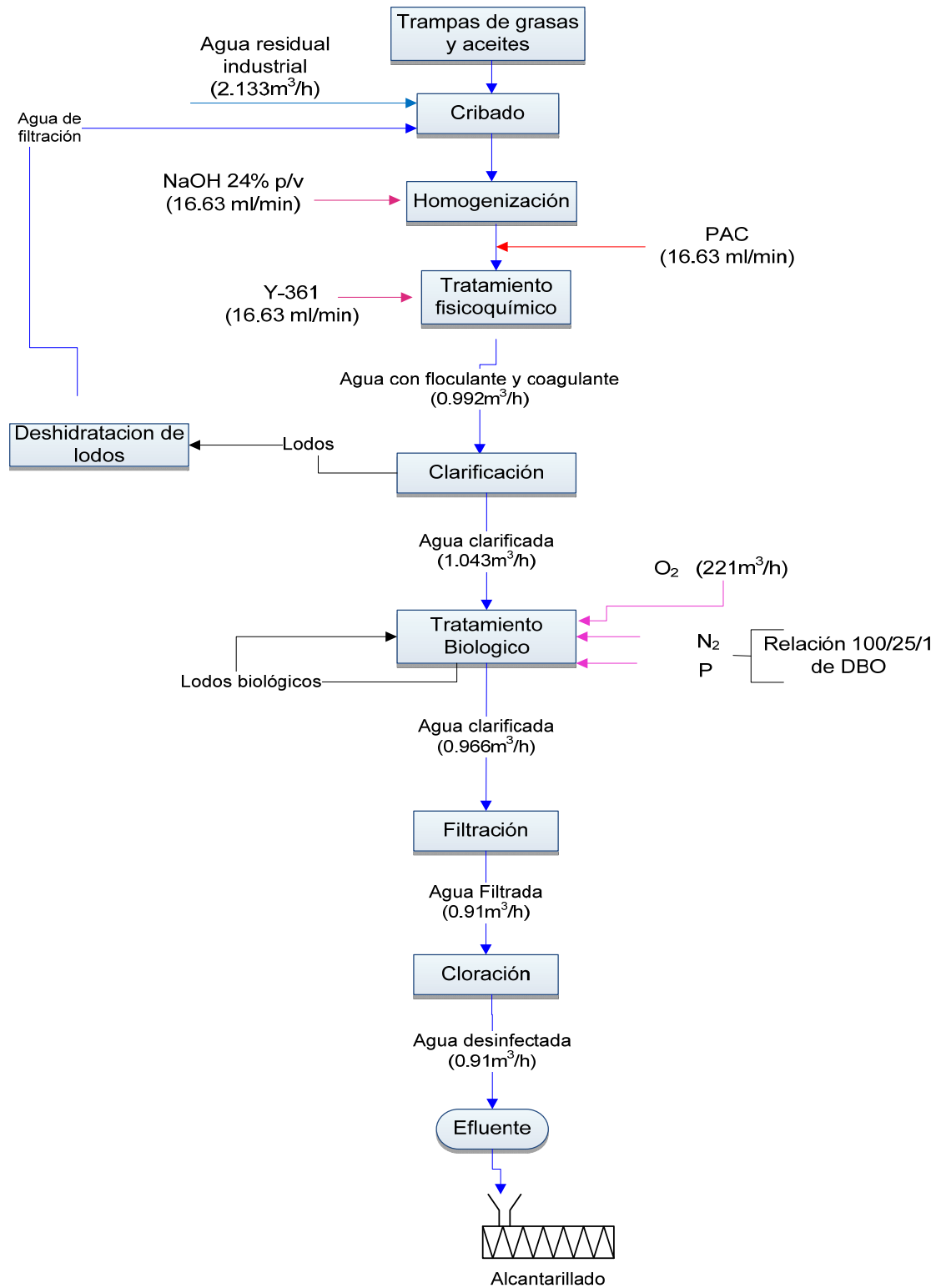
Parámetros medidos in-situ (salida filtro)

Hora	Ph unidades	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/min)	% muestra	Alicuota (ml)	Caudal (m³/h)
9:50 AM	5,5	18,4	30	4,0	8	3,1	116,9	0,48
10:20 AM	5,45	18,8	30	4,5	9	3,5	131,5	0,54
10:50 AM	5,41	18,7	30	4,0	8	3,1	116,9	0,48
11:20 AM	5,4	18,5	30	5,5	11	4,3	160,7	0,66
11:50 AM	5,37	18,2	30	9,5	19	7,4	277,6	1,14
12:20 PM	5,37	18,3	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
12:50 PM	5,35	18,1	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
1:20 PM	5,37	18,2	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
1:50 PM	5,37	18,4	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
2:20 PM	5,36	18,6	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
2:50 PM	5,3	18,6	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
3:20 PM	5,36	20	30	9,0	18	7,0	263,0	1,08
3:50 PM	5,21	20,2	30	8,0	16	6,2	233,8	0,96
4:20 PM	5,35	20,3	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
4:50 PM	5,25	20	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
5:20 PM	5,26	20	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
5:50 PM	5,24	19,3	30	7,5	15	5,8	219,2	0,9
Promedio	5,35	18,98			15,12			0,91
Sumatoria					257	100	3755,0	
máximo					19			1,14
Mínimo					8			0,48

RESULTADOS ANALQUIM

ANEXO D

Diagrama de Bloques y diagrama de tuberías e instrumentos de la PTAR



ANEXO E
Soporte análisis de grasas y aceites

SITIO MUESTREO	CANTIDAD ml	PESO DEL BALON A 105°C	PESO BALON +RESIDUO	PESO DEL RESIDUO	RESULTADO EN ppm
Entrada a T.G glicerina	200	114.0644	117.7929	3.7285	18,642.5000
Salida a T.G glicerina	200	102.3035	107.5646	5.2611	26,305.5000
T.G Vacio salida	200	106.2329	106.7086	0.4757	2,378.5000
T.Grasa #3	200	105.7311	111.4680	5.7369	28,684.5000
T. Grasa #2	200	106.2276	106.4200	0.1924	962.0000
Panel A PTAR	200	114.0600	116.2812	2.2212	11,106.0000
Panel B PTAR	200	106.2355	107.5131	1.2776	6,388.0000
Panel C PTAR	200	102.3030	103.9730	1.6700	8,350.0000
Pozo de captación	200	109.8986	110.0644	0.1658	829.0000
T.Grasa #1	200	106.2398	106.2548	0.0150	75.0000

ANEXO F

Verificación del comportamiento hidráulico de la tubería de coagulación

VARIABLE	SÍGLA	UNIDADES	VALOR	
			Q=0.000276 m ³ /s	Q=0.00069 m ³ /s
Velocidad del agua	V	m/s	0.24	0.697
Volumen de la tubería	v'	m ³	0.01	0.01
Diámetro de la tubería	D	m	0.0381	0.0381
Densidad del agua (28°C)	ρ	Kg/m ³	996.22	996.22
Viscosidad dinámica del agua (28°C)	μ	N*s/m ²	0.007808	0.007808
Gravedad	G	m/s ²	9.81	9.81

Número de Reynolds (Re)

El número de Reynolds se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu}$$

Donde el número de Reynolds para caudal actual (0.000276 m³/s) es:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu} = \frac{0.038m * \frac{0.24m}{s} * 996.22 \frac{Kg}{m^3}}{0.7808 \times 10^{-3} N * \frac{s}{m^2}}$$

$$= 11666.80 \quad \text{FLUJO TURBULENTO}$$

Para el caudal de diseño (0.00069 m³/s) es:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu} = \frac{0.038m * \frac{0.697m}{s} * 996.22 \frac{Kg}{m^3}}{0.7808 \times 10^{-3} N * \frac{s}{m^2}}$$

$$= 29517.48 \quad \text{FLUJO TURBULENTO}$$

Tiempo de retención (TR)

El tiempo de retención se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{V}{Q}$$

Donde el tiempo de retención caudal actual (0.000276 m³/s) es:

$$TR = \frac{0.01\text{m}^3}{0.992\text{m}^3/\text{h}} = 0.01\text{h} = 36.29\text{s}$$

Para el caudal de diseño (0.00069 m³/s) es:

$$TR = \frac{0.01\text{m}^3}{2.5\text{m}^3/\text{h}} = 0.004\text{h} = 14.40\text{s}$$

Determinación de pérdidas por fricción (hl)

Las pérdidas por fricción se determinan aplicando la siguiente ecuación:

$$hl = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

f: factor de fricción

L: longitud de la tubería

D: Diámetro de la tubería

V: Velocidad del agua

g: Gravedad

Donde las pérdidas por fricción al caudal actual (0.000276 m³/s) son:

$$f = 0.3164 * Re^{-0.25} = 0.03044$$

$$h_l = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0.03044 * \frac{13.46\text{m}}{0.0381\text{m}} * \frac{\left(\frac{0.24\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.03157$$

Para el caudal de diseño (0.00069 m³/s) son:

$$f = 0.3164 * \text{Re}^{-0.25} = 0.02414$$

$$h_l = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0.02414 * \frac{13.46\text{m}}{0.0381\text{m}} * \frac{\left(\frac{0.697\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.16026$$

Determinación de pérdidas por accesorios h

Las pérdidas por accesorios se determinan aplicando la siguiente ecuación:

$$h = K \frac{V^2}{2 * g}$$

$$K (6 \text{ codo } 90^\circ) = 0.75$$

$$K(1 \text{ válvula de bola}) = 10$$

Donde las pérdidas por fricción al caudal actual (0.000276 m³/s) son:

$$h = K \frac{V^2}{2 * g} = 0.4257$$

Para el caudal de diseño (0.00069 m³/s) son:

$$h = K \frac{V^2}{2 * g} = 0.27249$$

Pérdidas totales (hf)

$$h_f = h_l + h$$

Para caudal actual (0.000276 m³/s):

$$h_f = 0.03157 + 0.4257 = 0.07414$$

Para el caudal de diseño (0.00069 m³/s):

$$h_f = 0.16026 + 0.27249 = 0.43275$$

Gradiente hidráulico (G)

$$G = \sqrt{\frac{\rho * g * h_f}{\mu * t}}$$

El gradiente hidráulico manejado con el caudal actual (0.000276 m³/s) es:

$$G = \sqrt{\frac{\rho * g * h_f}{\mu * t}} = \sqrt{\frac{996.22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} * 0.07414\text{m}}{0.007808 \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2} * 36.29\text{s}}} = 159.9097\text{s}^{-1}$$

El gradiente hidráulico manejado con el caudal de diseño (0.00069 m³/s) es:

$$G = \sqrt{\frac{\rho * g * h_f}{\mu * t}} = \sqrt{\frac{996.22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81\text{m}}{\text{s}^2} * 0.43275\text{m}}{0.007808 \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2} * 14.40\text{s}}} = 613.309\text{s}^{-1}$$

ANEXO G

Verificación del comportamiento hidráulico en el tanque de floculación

VARIABLE	SÍGLA	UNIDADES	VALOR	
			Q=0.000276 m ³ /s	Q=0.00069 m ³ /s
Velocidad del agua	V	m/s	0.24	0.697
Volumen de la tubería	v'	m ³	0.85	0.85
Diámetro de la tubería	D	m	0.0381	0.0381
Densidad del agua (28°C)	P	Kg/m ³	996.22	996.22
Viscosidad dinámica del agua (28°C)	μ	N*s/m ²	0.007808	0.007808

Número de Reynolds (Re)

El número de Reynolds se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu}$$

Donde el número de Reynolds para caudal actual (0.000276 m³/s) es:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu} = \frac{0.038m * \frac{0.24m}{s} * 996.22 \frac{Kg}{m^3}}{0.7808 \times 10^{-3} N * \frac{s}{m^2}}$$

$$= 11666.80 \quad \text{FLUJO TURBULENTO}$$

Para el caudal de diseño (0.00069 m³/s) es:

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu} = \frac{0.038m * \frac{0.697m}{s} * 996.22 \frac{Kg}{m^3}}{0.7808 \times 10^{-3} N * \frac{s}{m^2}}$$

$$= 29517.48 \quad \text{FLUJO TURBULENTO}$$

Potencia del agitador (P)

La potencia del agitador para el régimen turbulento se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$P = K_t * n^3 * D^5 * \rho \quad (\text{Watt})$$

Donde :

Kt: Constante de agitación

n: velocidad de rotación en revoluciones por segundo (rps) (s^{-1})

D: diámetro del rodete (m)

ρ : Densidad del agua a 28 °C

$$P = K_t * n^3 * D^5 * \rho = 2.25 * (0.53s^{-1})^3 * (0.25m)^5 * \frac{996.22Kg}{m^3} = 0.32589 \text{ watt}$$

Potencia impartida por unidad de volumen (W)

$$W = \frac{P}{V} \quad (\text{watt}/m^3)$$

$$W = \frac{0.32589 \text{ watt}}{0.85 m^3} = 0.3834 \text{ watt}/m^3$$

Tiempo de retención (TR)

El tiempo de retención se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{V}{Q}$$

Donde el tiempo de retención caudal actual ($0.000276 m^3/s$) es:

$$TR = \frac{0.85m^3}{0.992 m^3/h} = 0.857h = 51.41min$$

Para el caudal de diseño ($0.00069 m^3/s$) es:

$$TR = \frac{0.85m^3}{2.5m^3/h} = 0.34h = 20.40min$$

Gradiente hidráulico (G)

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}}$$

Donde:

W: Potencia impartida por unidad de volumen (watt/m³)

μ: Viscosidad dinámica del agua a 28°C. (N*s/m²)

El gradiente hidráulico manejado con el caudal actual (0.000276 m³/s) es:

$$G = \sqrt{\frac{0.38340 \text{ watt/m}^3}{0.007808 (\text{N} * \text{s/m}^2)}} = 22.15 \text{ s}^{-1}$$

ANEXO H

Comportamiento hidráulico del tratamiento de lodos activados

Informe de caracterizaciones

VARIABLE	RESULTADO
So (DBO agua residual cruda, mg/L)	1948
Carga DBO (g/d)	30275,29
Q (m ³ /d)	23,616
V (m ³)	17,48
X (mg/L)	2740
Qw (m ³ /d)	6,6
Qe (m ³ /d)	23,184
Xe (mg/L)	620
Xr (mg/L)	3600
Se(mg/L)	1148
O.D (mg/L)	0.85

1. Relación Alimento Masa

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * So}{V * X} = 0,96 \text{ gDBO/gSSVLM}$$

Donde:

A/M: relación alimento masa

Q: caudal de aguas residuales crudas, m³/d

V: volumen del tanque de aireación, m³

X: SSVLM, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tan que de aireación.

So: DBO del agua residual cruda, mg/L

θ : Tiempo de retención

2. Tiempo de retención

$$\theta = \frac{V}{Q} = 17,76h$$

3. Carga orgánica volumétrica

$$COV = \frac{QSo}{V} = 2631.81 \text{ gDBO/m}^3$$

Donde:

COV: carga orgánica volumétrica

4. Producción de lodo (base seca)

El reactor produce diariamente una masa de lodo en función de la carga diaria de DBO5, mediciones realizadas en el tanque de lodos activados indican que se genera una carga promedio de 40 Kg/día.

$$\text{Lodo seco} = 40 \text{ Kg/día.}$$

5. Volumen de lodos (base húmeda)

De acuerdo a la producción de lodo diario se recircula un volumen 6.6 m³/día de la celda de sedimentación hacia el reactor.

$$Q_w = 6.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

6. Edad de lodos

$$\theta_c = \frac{V * X}{Q_w * X_r + (Q - Q_w) * X_e} = 1,5 \text{ dias}$$

Donde:

θ_c : Edad de los lodos, d

Q_w : Caudal de lodo dispuesto, m³/d

X_r : Concentración de SSV en el lodo dispuesto, mg/L

Q : caudal agua residual cruda, m³/d

X_e : concentración de SSV en el efluente tratado, mg/L

X : SSVLM, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tan que de aireación.

V : volumen del tanque de aireación, m³

7. Sólidos necesarios para el tratamiento

$$Kg \text{ SSLM} = \frac{\frac{Kg \text{ DBO}}{A/M}}{1000} = 31,53 \text{ Kg SSLM}$$

Donde:

Kg SSLM: kilogramos de sólidos suspendidos en el licor de mezcla.

8. Oxígeno requerido

Donde:

OD: oxígeno requerido

Se: DBO del efluente mg/L

Coefficientes definidos por literatura¹: 1,5 y 1,42

$$DO = 1,5 * Q * (So - Se) - 1,42 * Xr * Qw$$

$$DO = \frac{1,5 * 23,616 * (1948 - 531.86) - 1,42 * 3600 * 6,6}{1000} = \frac{16,43Kg O_2}{d}$$

9. Caudal de aire en condiciones normales

$$Q_{aire} = 6.243 m^3/h$$

10. Tiempo de aireación

$$\Theta = 2.8 \text{ h/día}$$

11. IVL (Índice volumétrico de lodos)

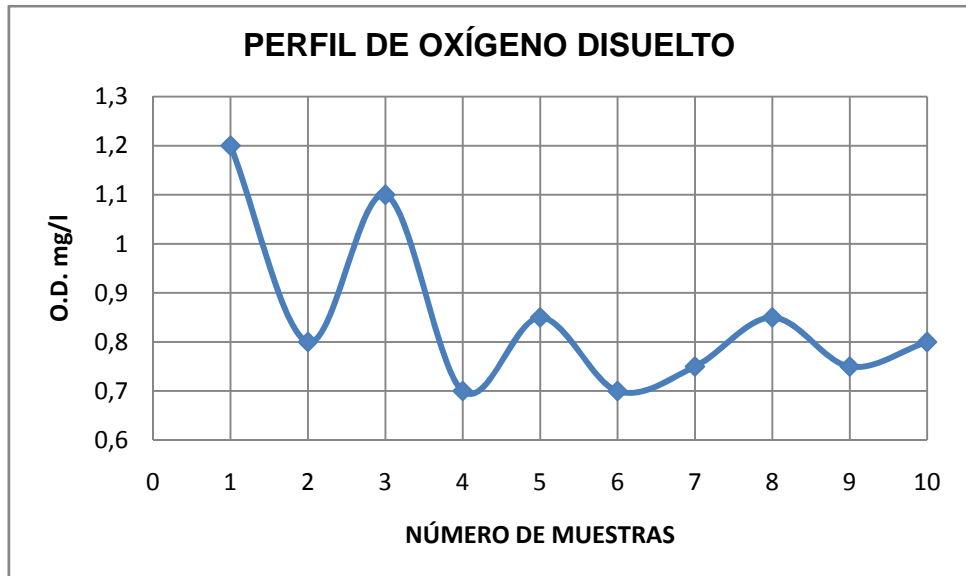
$$\frac{\text{volumen sedimentado} * 1000}{X} = 156,80 \text{ ml/g}$$

Donde:

Volumen sedimentado: 426,43mg/l

¹ ROMERO ROJAS, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Bogotá. Escuela de ingeniería, 2000. p.422-500.

PERFIL DE OXIGENO DISUELTO



CANTIDAD DE MUESTREOS	HORA	O.D. mg/l
1	10:00 am	1.2
2	10:30 am	0.8
3	11:00 am	1.1
4	11:30 am	0.7
5	12:00 m	0.85
6	12:30 pm	0.7
7	1:00 pm	0.75
8	1:30 pm	0.85
9	2:00 pm	0.75
10	2:30 pm	0.8
PROMEDIO		0.85

Según los datos encontrados teóricamente, para el proceso de lodos activados se requieren mínimo 2 mg/l de oxígeno disuelto en el efluente, como se observa, el promedio es de 0.85 mg/l, esto indica condiciones anóxicas que repercutirán en la remoción incompleta de la materia orgánica y el proceso de nitrificación se verá reducido.

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

DBO: 1948 mg/l

Q: 23.184 m³/día

NTK: 5.04 mg/l

P: 0.12 mg/l

$$N_{requerido} = \frac{1948 \frac{mg}{l}}{100/3} = 58.44 \text{ mg/l}$$

$$P_{requerido} = \frac{1948 \frac{mg}{l}}{100/0.7} = 13.636 \text{ mg/l}$$

$$N_{necesario} = 58.44 \frac{mg}{l} - 5.04 \frac{mg}{l} = 53.4 \frac{mg}{l}$$

$$P_{necesario} = 13.636 \frac{mg}{l} - 0.12 \frac{mg}{l} = 13.51 \frac{mg}{l}$$

Para el caudal actual 23.184 m³/día se necesitan:

$$N_{requerido} = 53.4 \frac{mg}{l} * 23.184 \frac{m^3}{día} * \frac{1000 \text{ l}}{m^3} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} = 1.2380 \text{ Kg/d}$$

$$P_{requerido} = 13.51 \frac{mg}{l} * 23.184 \frac{m^3}{día} * \frac{1000 \text{ l}}{m^3} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} = 0.31 \text{ Kg/d}$$

Por lo cual la correcta dosificación es:

Urea: 46%

Acido fosfórico: 85%

- Urea (NH₂)₂ CO ----- pm: 60.06g

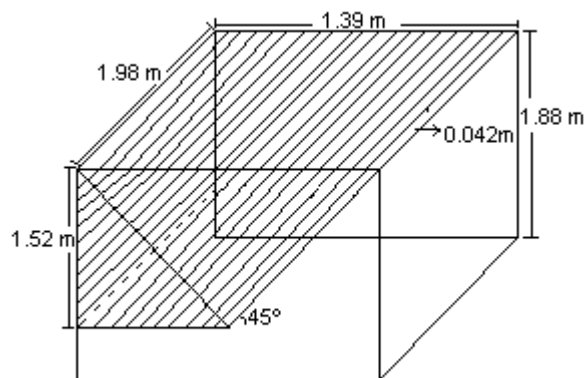
$$(NH_2)_2 CO = \frac{1.2380 \text{ kg/d} * 60.06 \text{ g}}{14 \text{ g} * 0.46} = \frac{74.35}{6.44} = 11.34 \text{ Kg/día}$$

- Acido fosfórico H₃PO₄ ----- pm: 97.99g

$$H_3PO_4 = \frac{0.31 \text{ kg/d} * 97.99 \text{ g}}{30.97 \text{ g} * 0.85} = \frac{30.37}{26.32} = 1.15 \text{ Kg/día}$$

ANEXO I

Verificación del comportamiento hidráulico del sedimentador secundario en la PTAR de AZULK S.A.



Ancho	1.39 m
Largo	1.98 m
Profundidad	1.88 m
Altura ocupada por los paneles	1.24m
Volumen de la unidad	5.17 m ³
Área ocupada por los paneles	2.75 m ²
Inclinación de los paneles	45°
Espacio entre paneles	0.042m
Caudal	0.966m ³ /h

Carga superficial (qs)

$$q_s = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{d)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

Para el caudal actual (23.32 m³/d)

$$q_s = \frac{23.32 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{2.75 \text{ m}^2} = 8.48 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

Para el caudal de diseño (59.61 m³/d)

$$q_s = \frac{59.61 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{2.75 \text{ m}^2} = 21.67 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

Área de sedimentación acelerada (A₀)

$$A_0 = 2.75 \text{ m}^2 * \cos 30^\circ = 2.38 \text{ m}^2$$

Velocidad ascensional o velocidad del agua en la zona de alta velocidad (V₀)

$$V_0 = \frac{Q}{A_0}$$

Para el caudal actual (23.32 m³/d)

$$V_o = \frac{\frac{23.32 \text{ m}^3}{\text{d}}}{2.38 \text{ m}^2} = 9.79 \frac{\text{m}}{\text{d}} = 0.01133 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0.40 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

Para el caudal de diseño (59.61 m³/d)

$$V_o = \frac{\frac{56.61 \text{ m}^3}{\text{d}}}{2.38 \text{ m}^2} = 25.04 \frac{\text{m}}{\text{d}} = 0.02899 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 1.04 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

Velocidad crítica de sedimentación (V_{sc})

$$V_{sc} = \frac{Sc * V_o}{\text{Sen } \theta + L * \cos \theta}$$

Donde:

V_{sc}: Velocidad crítica de sedimentación.

Sc: Factor de configuración (11/8 para ductos con sección transversal cuadrada).

V_o: Velocidad del agua en la zona de alta velocidad.

θ = Ángulo de inclinación de las placas en grados.

L= Longitud relativa (longitud de las placas /separación de las placas paralelas.

$$\text{Longitud de las placas (l)} = \frac{1.24 \text{ m}}{\text{sen } 45^\circ} = 1.753 \text{ m}$$

Para el caudal actual (23.32 m³/d)

$$V_{sc} = \frac{\frac{11}{8} * \frac{9.79 \text{ m}}{\text{d}}}{\text{sen } 45^\circ + \frac{1.753 \text{ m}}{0.042 \text{ m}} * \cos 45^\circ} = \frac{0.4454 \text{ m}}{\text{d}} = \frac{0.00052 \text{ cm}}{\text{s}}$$

Para el caudal de diseño (59.61 m³/d)

$$V_{sc} = \frac{\frac{11}{8} * \frac{25.04 \text{ m}}{\text{d}}}{\text{sen } 45^\circ + \frac{1.753 \text{ m}}{0.042 \text{ m}} * \cos 45^\circ} = \frac{1.13 \text{ m}}{\text{d}} = \frac{0.00132 \text{ cm}}{\text{s}}$$

Tiempo de detención en la zona de alta velocidad (t)

$$t = \frac{l}{V_o}$$

Para el caudal actual (23.32 m³/d)

$$t = \frac{175.3 \text{ cm}}{0.01133 \text{ cm/s}} = 15472.19\text{s} = 257.86\text{min} = 4.29\text{h}$$

Para el caudal de diseño (59.61 m³/d)

$$t = \frac{175.3 \text{ cm}}{0.02899 \text{ cm/s}} = 6046.91\text{s} = 100.78\text{min} = 1.67 \text{ h}$$

Eficiencia teórica de remoción

$$\text{Eficiencia} = 1 - \frac{V_{sc}}{V_o}$$

Para el caudal actual (23.32 m³/d)

$$\text{Eficiencia} = 1 - \frac{0.4454\text{m/d}}{9.79 \text{ m/d}} = 0.95 = 95\%$$

Para el caudal de diseño (59.61 m³/d)

$$\text{Eficiencia} = 1 - \frac{1.13\text{m/d}}{25.04 \text{ m/d}} = 0.95 = 95\%$$

ANEXO J

Ensayos de jarras

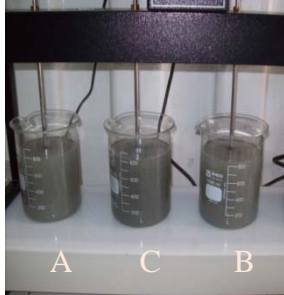


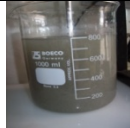
Descripción del ensayo de Jarras

El ensayo de jarras se desarrollo en el siguiente orden:



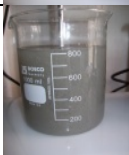


1. Se hallo el mejor desempeño en cuanto al tipo del coagulante, dejando las demás variables constantes con respecto a lo que actualmente se está manejando en la PTAR (NaOH y dosis de floculante).
2. Luego de tener definido el tipo de coagulante se evaluó el mejor desempeño de la dosis de coagulante, dejando constantes las demás variables (tipo de coagulante y NaOH y el tipo de floculante).
3. Después de tener definidos el tipo y la dosis de coagulante se procedió a evaluar el mejor desempeño del tipo de floculante, dejando constantes las anteriores variables. (la dosis y tipo de coagulante y NaOH.
4. De acuerdo a los anteriores ensayos se definió la dosis de floculante y por último se evaluó la dosis adecuada de NaOH para obtener el pH de mejor desempeño.

A continuación se presentan tablas en las cuales se describe cada uno de los ensayos de jarras efectuados, en las cuales el sombreado azul corresponde a la dosis de cada reactivo considerada como óptima.

PRIMERA PRUEBA DE JARRAS PARA SELECCIÓN DEL TIPO DE COAGULANTE.

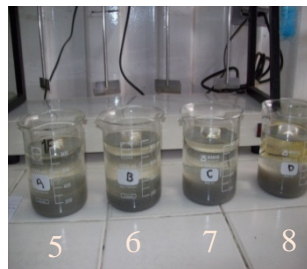




AGUA CRUDA		AGUA TRATADA								FOTO	
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPOS DE COAGULANTE				OBSERVACIONES					
		TIPO A: Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ TIPO B: Policloruro de aluminio PAC $Al_2(OH)_5Cl \cdot 23 H_2O$ TIPO C: Hipoclorito de calcio $Ca(COCl)_2$				Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos Volumen 1L					
Jarra No	pH (unidades)	SOLUCION PATRON AÑADIDA MI	Coagulante (ppm)	TIPO COAGULANTE	Tiempo de formación del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color aparente UPC	Turbiedad UNT		
1	9,4	0.6	780	A	4 minutos	6	7.0	150	50		
2	9,4	0.6	780	B	2 minutos	8	6.5	150	50		
3	9,4	0.6	780	C	5 minutos	2	6.8	150	60		

SEGUNDA PRUEBA DE JARRAS PARA DOSIS DE COAGULANTE.

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA								FOTO	
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPOS DE COAGULANTE				OBSERVACIONES					
		TIPO B: Policloruro de aluminio PAC $Al_2(OH)_5Cl \cdot 23 H_2O$				Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos Volumen 1L					
Jarra No	pH (unidades)	SOLUCION PATRON AÑADIDA MI	Coagulante (ppm)	TIPO COAGULANTE	Tiempo de formación del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color UPC	Turbiedad UNT		
1	9.4	0.3	390	B	3 minutos	2	7.5	90	48		
2	9.4	0.33	433.3	B	3 minutos	2	7.2	80	45		
3	9.4	0.37	476.6	B	2 minutos	4	6.8	80	45		
4	9.4	0.4	520	B	1.5 minutos	6	6.5	75	40		

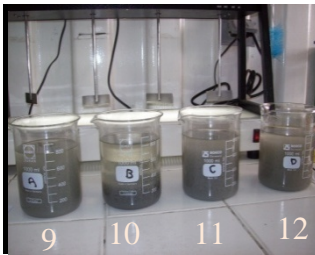




De las anteriores dosis la que tuvo un mejor desempeño fue la 4, pero se subió el rango de dosificación para encontrar el adecuado.

TERCERA PRUEBA DE JARRAS 2 PARA DOSIS DE COAGULANTE.

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA								FOTO	
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPOS DE COAGULANTE				OBSERVACIONES					
		TIPO B: Policloruro de aluminio PAC $Al_2(OH)_5Cl \cdot 23 H_2O$				Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos Volumen 1L					
		Jarra No	pH (unidades)	SOLUCION PATRON AÑADIDA MI	Coagulante (ppm)	TIPO COAGULANTE	Tiempo de formación del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color UPC	Turbiedad UNT
5	9.4	0.4	530	B	2 minutos	6	6.0	50	35		
6	9.4	0.44	570	B	2 minutos	6	6.3	40	30		
7	9.4	0.47	610	B	2 minutos	8	6.4	30	28		
8	9.4	0.5	650	B	0.8 minutos	6	6.4	30	25		

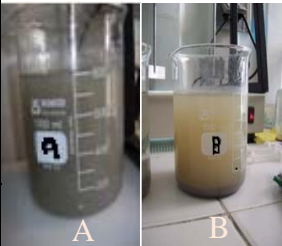


De las anteriores dosis la que tuvo un mejor desempeño fue la 8, pero se subió el rango de dosificación para encontrar el adecuado.

PRUEBA DE JARRAS 3 PARA DOSIS DE COAGULANTE.

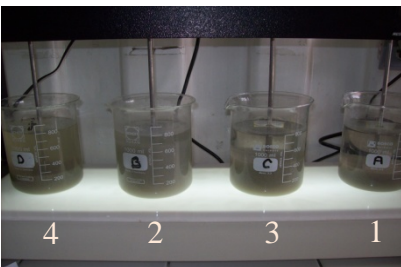


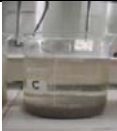

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA								FOTO	
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPOS DE COAGULANTE				OBSERVACIONES					
		TIPO B: Policloruro de aluminio PAC $Al_2(OH)_5Cl \cdot 23 H_2O$				Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos Volumen 1L					
Jarra No	pH (unidades)	SOLUCION PATRON AÑADIDA MI	Coagulante (ppm)	TIPO COAGULANTE	Tiempo de formación del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color UPC	Turbiedad UNT		
9	9.4	0.53	680	B	2 .5minutos	6	5.8	30	30		
10	9.4	0.55	713.3	B	2.3 minutos	6	6.0	32	30		
11	9.4	0.58	746.6	B	2 minutos	6	6.0	38	35		
12	9.4	0.6	780	B	2.6 minutos	4	5.5	45	42		

De acuerdo a las dosis de coagulante aplicadas a las jarras anteriores se determino que la de mejor desempeño fue la número 8, puesto que de la jarra número 9 en adelante la dosis fue más alta y bajo el desempeño del coagulante, por esta razón la 8 se escogió como la dosis óptima de coagulante.

PRIMERA PRUEBA DE JARRAS PARA SELECCIÓN DEL TIPO DE FLOCULANTE.




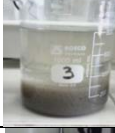

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA									FOTO
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPOS DE FLOCULANTE				OBSERVACIONES					
		TIPO A: polímero anicónico y-380 TIPO B: polímero catiónico y-360				Mezcla rápida (coagulación) Mezcla lenta (floculación) 100rpm durante segundos 32 rpm durante 50 minutos					
						Volumen 1L Sedimentación: 15min					
Jarra No	pH (unidades)	SOLUCION PATRON AÑADIDA ml	Coagulante (ppm)	TIPO FLOCULANTE	DOSIS	Tiempo de aglomeración del floc	Índice de Wilcomb	pH unidades	Color aparente UPC	Turbiedad UNT	
1	9,4	0.5	780	A	0.6	2 minutos	8	7.0	25	20	
2	9,4	0.5	780	B	0.6	3 minutos	4	6.5	30	35	

SEGUNDA PRUEBA DE JARRAS PARA DOSIS DE FLOCULANTE.

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA								FOTO		
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPO DE FLOCULANTE			OBSERVACIONES							
		TIPO A: polímero anicónico y-380 550 cps			Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos		Mezcla lenta (floculación) 32 rpm durante 50 minutos					
		TIPO DE COAGULANTE		DOSIS								
		TIPO: B PAC		0.6ml de la solución patrón		Sedimentación: 15min Volumen 1L						
Jarra No	pH (unidades)	SOLUCION PATRON AÑADIDA MI	floculante (ppm)	TIPO FLOUCULANTE	Tiempo de Aglomeración del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color UPC	Turbiedad UNT			
1	9.4	0.2	280	A	3 minutos	2	6.0	30	25			
2	9.4	0.4	560	A	2 minutos	6	6.4	28	23			
3	9.4	0.6	840	A	2 minutos	6	6.0	25	20			
4	9.4	0.8	1120	A	3 minutos	4	6.0	26	25			

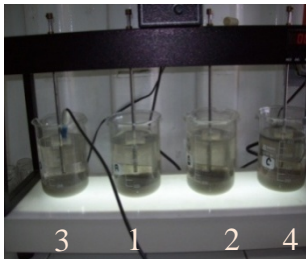




De las anteriores dosis la que tuvo un mejor desempeño fue la 3, pero el rango de dosificación cambio a uno más cercano para encontrar la dosificación adecuada.

PRUEBA DE JARRAS 2 PARA DOSIS DE FLOCULANTE.

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA								FOTO				
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPO DE FLOCULANTE			OBSERVACIONES									
		TIPO A: polímero anicónico y-380 550 cps			Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos		Mezcla lenta (floculación) 32 rpm durante 50 minutos							
		TIPO DE COAGULANTE		DOSIS										
		TIPO: B PAC		0.6ml de la solución patrón	Sedimentación: 15min Volumen 1L									
Jarra No	pH (unidades)	SOLUCION PATRON AÑADIDA MI	floculante (ppm)	TIPO FLOUCULANTE	Tiempo de Aglomeración del floc	Índice de Wilcomb	pH (unidades)	Color UPC	Turbiedad UNT	1	2	3	4	
1	9.4	0.45	630	A	2.5 minutos	6	6.5	26	25					
2	9.4	0.5	700	A	2 minutos	8	6.7	26	23					
3	9.4	0.55	770	A	2 minutos	10	6.7	25	20					
4	9.4	0.6	840	A	2 minutos	8	6.6	26	25					






De las anteriores dosis la que tuvo un mejor desempeño fue la 3.

PRUEBA DE JARRAS PARA DOSIS DE NaOH.

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA							FOTO	
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPO DE FLOCULANTE		DOSIS	OBSERVACIONES					
		TIPO A: polímero anicónico y-380 550 cps		0.55ml de la solución patrón	Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos Mezcla lenta (floculación) 32 rpm durante 50 minutos					
		TIPO DE COAGULANTE		DOSIS						
		TIPO: B PAC		0.6ml de la solución patrón	Sedimentación: 15min Volumen 1L					
Jarra No	pH unidades	DOSIS NaOH ml	Índice de Wilcomb	Tiempo de Aglomeración del floc	pH unidades	Color UPC	Turbiedad UNT			
1	8.5	0.8	10	1.0 minutos	7.0	20	25			
2	8.1	0.6	8	1.5 minutos	6.7	25	23			
3	7.5	0.7	6	1.6 minutos	6.7	25	20			
4	7.0	0.5	6	2 minutos	6.6	26	25			

Se empezó a ensayar con pH alto puesto que las anteriores pruebas muestran una disminución de éste al adicionar el coagulante y se dejaron constantes: tipo y dosis de floculante y coagulante, de acuerdo a lo encontrado anteriormente, la que mejor desempeño tuvo fue la 1 pero se decidió reducir el rango para encontrar la dosificación adecuada.

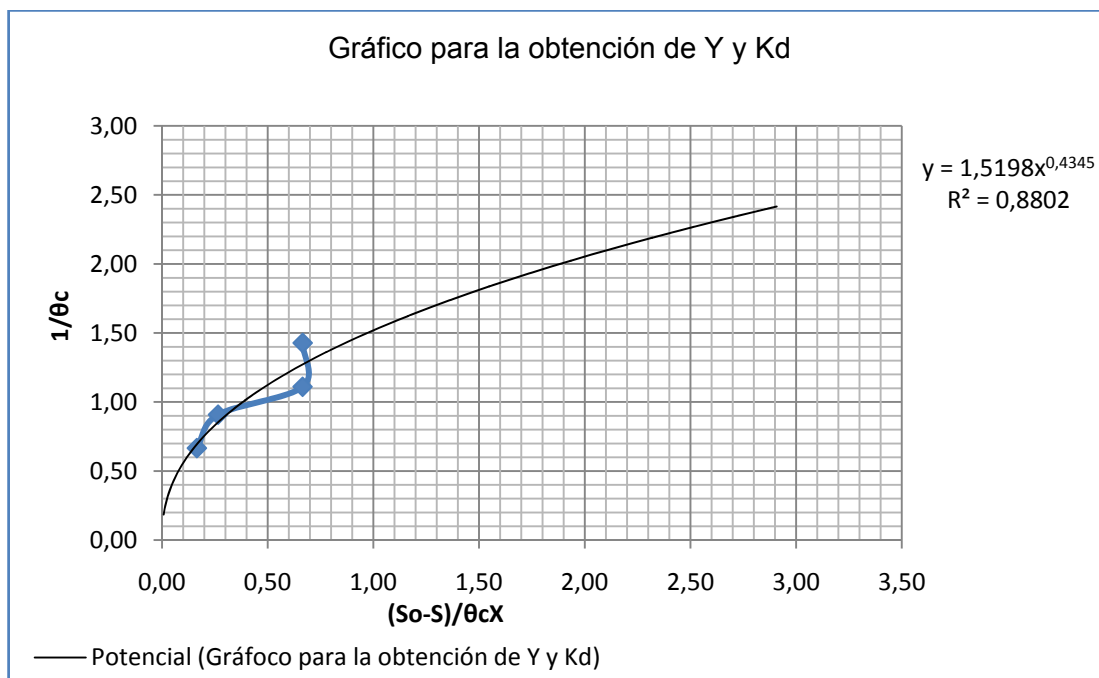
PRUEBA DE JARRAS 2 PARA DOSIS DE NaOH.

AGUA CRUDA		AGUA TRATADA						FOTO					
Fuente: PTAR AZULK Punto muestreo: homogenizador		TIPO DE FLOCULANTE		DOSIS	OBSERVACIONES								
		TIPO A: polímero anicónico y-380 550 cps		0.55ml de la solución patrón	Mezcla rápida (coagulación) 100rpm durante 37 segundos Mezcla lenta (floculación) 32 rpm durante 50 minutos								
		TIPO DE COAGULANTE		DOSIS									
		TIPO: B PAC		0.6ml de la solución patrón	Sedimentación: 15min Volumen 1L								
Jarra No	pH unidades	DOSIS NaOH ml	Índice de Wilcomb	Tiempo de Aglomeración del floc	pH unidades	Color UPC	Turbiedad UNT						
5	9.0	0.9	8	1.2 minutos	7.0	25	25						
6	9.2	0.95	8	1.5 minutos	7.1	27	23						
7	9.4	1	6	2 minutos	7.5	25	26						
8	9.6	1.2	6	2 minutos	7.9	29	25						

De acuerdo a los diferentes ensayos de jarras mostrados en las tablas anteriores se puede observar que el pH escogido como óptimo es el correspondiente a la jarra 5, puesto que los que se ensayaron con un pH mayor mostraron deficiencias en la clarificación, teniendo en cuenta que las demás variables son constantes.

ANEXO K

Optimización del tratamiento de lodos activados



Pendiente = $Y = 1,519$

Intersección = $K_d = 0,2 \text{ d}^{-1}$

Informe de caracterizaciones

VARIABLE	RESULTADO
S_o (DBO agua residual cruda, mg/L)	2100
Carga DBO (g/d)	116880
Q (m ³ /d)	60
X (mg/L)	2740
X_r (mg/L)	3600
SS (mg/L)	978
K_d	0,2
Y	1,519
K_s	73563,42
K	7,14
Porción volátil de sólidos totales	80%
S (mg/L))	1415

1. DBO soluble del efluente

$$Se = DBO_e - 0,63 * SS$$

$$Se = 798,86 \text{mg/L}$$

2. Biomasa del reactor

$$XV = \frac{\theta_c * Y * Q * (S_o - S)}{1 + K_d * \theta_c} = 182,09 \text{ kg SSV}$$

3. Volumen del reactor

$$V = \frac{X * V}{X} = 66,5 \text{m}^3$$

4. Producción de lodo

$$Px = \frac{Y * Q * (S_o - S)}{1 + K_d * \theta_c} = 26,01 \text{Kg SSV/d}$$

5. Producido de sólidos totales de desecho

$$\text{Lodo seco} = \frac{Px}{0,8} = 32,5 \text{kg/d}$$

6. Caudal de lodos de desecho

$$Q_w = \frac{\text{lodo seco}}{X_r} = 9,03 \text{m}^3/\text{d}$$

7. Tiempo de retención hidráulico

$$\theta = \frac{V}{Q} = 26,6 \text{ h}$$

8. Oxígeno requerido

Donde:

OD: oxígeno requerido

Se: DBO del efluente mg/L

Coeficientes definidos por literatura : 1,5 y 1,42

$$DO = 1,5 * Q * (So - Se) - 1,42 * Xr * Qw$$

$$DO = \frac{1,5 * 60 * (1948 - 531.86) - 1,42 * 3600 * 6,6}{1000} = \frac{70,94 \text{ Kg } O_2}{d}$$

9. Relación Alimento Masa

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * So}{V * X} = 0,69 \text{ gDBO/gSSVLM}$$

Donde:

A/M: relación alimento masa

Q: caudal de aguas residuales crudas, m³/d

V: volumen del tanque de aireación, m³

X: SSVLM, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tan que de aireación.

So: DBO del agua residual cruda, mg/L

θ: Tiempo de retención

10. Carga orgánica volumétrica

Donde:

COV: carga orgánica volumétrica

$$COV = \frac{QSo}{V} = 1895,98 \text{ gDBO}/m^3$$

11. Sólidos necesarios para el tratamiento

$$Kg \text{ SSLM} = \frac{\frac{Kg \text{ DBO}}{A/M}}{1000} = 182,09 \text{ Kg SSLM}$$

Donde:

Kg SSLM: kilogramos de sólidos suspendidos en el licor de mezcla.

12. Caudal de aire en condiciones normales

$$Q_{aire} = \frac{DO}{0,232P * (1,20)} = 254,80 \text{ m}^3/d$$

13. caudal de aire para una eficiencia de transferencia de oxígeno del equipo de aireación del 7%.

$$Q_{aire} = \frac{254,80}{0,07} = 3639,96 \text{ m}^3/d$$

14. Volumen de aire requerido por unidad de DBO aplicada

$$\frac{Q_{aire}}{DBO} = \frac{3639,96}{126000} = 28,89 \text{ m}^3/Kg$$

ANEXO M

Tablas ensayos de jarras de los dos oxidantes

PRUEBAS DE JARRAS 1. PARA DOSIS DE HIPOCLORITO DE CALCIO.

PARAMETROS DE INTERES	JARRA 1			JARRA 2			JARRA 3			JARRA 4		
	20ml/200ppm			40ml/400ppm			60ml/600ppm			80ml/800ppm		
	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción
pH (unidades)	5.7	8.0	-----	5.5	7.8	-----	5.6	7.5	-----	5.7	7.7	-----
T (°C)	19.8	21	-----	19.6	20.7	-----	19.7	20.4	-----	19.5	20	-----
Fenoles (mg/L)	1.07	0.52	51.4	1.07	0.56	47.6	1.07	0.73	32	1.07	0.83	22.4
DBO (mg/L)	2118	1825.3	13.3	2098	1867.2	11	2098	1909.2	9	2098	1951.1	7
DQO (mg/L)	3080	2827.2	8.1	3040	2842.4	6.5	3040	2888	5	3040	3009.6	1
G y A (mg/L)	159.5	141.9	11	159.5	145.2	9	159.5	147.5	7.5	159.5	151.5	5
SAAM (mg/L)	8.7	7.4	14.9	8.7	7.48	14	8.7	7.57	13	8.7	7.92	9
Sólidos totales (mg/L)	3560	4094	-15	3560	4165.2	-17	3560	4272	-20	3560	4343.2	- 22

De acuerdo a los porcentajes de remoción obtenidos con las dosis propuestas en la tabla anterior se observo que la dosis de mejor desempeño fue la propuesta en las jarras 1 y 2, por lo cual se disminuyo el rango de dosis y se ensayo.

PRUEBAS DE JARRAS 2 PARA DOSIS DE HIPOCLORITO DE CALCIO.

PARAMETROS DE INTERES	JARRA 5			JARRA 6			JARRA 7			JARRA 8		
	24.5ml/245ppm			29ml/290ppm			33.5ml/335ppm			38ml/380ppm		
	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción
pH (unidades)	5.5	7.8	-----	5.7	7.8	-----	5.7	8.0	-----	6.0	7.9	-----
T (°C)	20	20.7	-----	20.6	20.7	-----	21	20.4	-----	19.7	20	-----
Fenoles (mg/L)	1.1	0.44	60	1.1	0.47	57.2	1.1	0.66	40	1.1	0.77	30
DBO (mg/L)	2200	1881	14.5	2200	1914	13	2200	1980	10	2200	2024	8
DQO (mg/L)	3234	2942.9	9	3234	2952.6	8.7	3234	2975.3	8	3234	2088.8	6.5
G y A (mg/L)	160	134.4	16	160	136	15	160	137.6	14	160	141	11.8
SAAM (mg/L)	8.4	6.8	18	8.4	7	16.6	8.4	7.14	15	8.4	7.03	13
Sólidos totales (mg/L)	3720	422.2	-13.5	3720	4248.2	-14.2	3720	4278	-15	3720	4389.6	-18

Los anteriores resultados demostraron una buena remoción en cuanto a parámetro de fenoles y en los siguientes fue menor, se observó que la dosis a la que presentaba una remoción mayor se encontraba entre la dosis de hipoclorito utilizada en de la jarra 5 y la jarra 6 por lo cual se decidió disminuir aun más el rango de dosificación y así encontrar la de mejor desempeño.

PRUEBAS DE JARRAS 3 PARA DOSIS DE HIPOCLORITO DE CALCIO.

PARAMETROS DE INTERES	JARRA 9			JARRA 10			JARRA 11			JARRA 12		
	25.12ml/251.2ppm			25.75ml/257.5ppm			26.37ml/263.7ppm			27ml/270ppm		
	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción
pH (unidades)	5.49	8.20	-----	5.49	8.14	-----	5.49	8.0	-----	5.49	7.9	-----
T (°C)	19.67	21.7	-----	19.67	21.3	-----	19.67	20.8	-----	19.67	20	-----
Fenoles (mg/L)	1.07	0.41	61.7	1.07	0.4	63	1.07	0.53	50.5	1.07	0.57	46.7
DBO (mg/L)	2098	1783.3	15	2098	1770.7	15	2098	1825	13	2098	1904	9.2
DQO (mg/L)	3040	2751	9.5	3040	2736	10	3040	2766	9	3040	2827	7
G y A (mg/L)	159.5	132.4	17	159.5	131.4	17.6	159.5	134.8	15.5	159.5	138.7	13
SAAM (mg/L)	8.7	7.0	19.5	8.7	6.9	20.2	8.7	7.2	17.2	8.7	7.4	14.9
Sólidos totales (mg/L)	3560	4069	-14.3	3560	3987.2	- 12	3560	4083.3	-14.7	3560	4129	-16

En la anterior tabla se puede observar que la dosis establecida como óptima se obtuvo en la jarra número 10, puesto que se siguió ensayando con dosis un poco más bajas que ésta y su porcentaje de remoción disminuyó.

PRUEBAS DE JARRAS 1 PARA DOSIS DE PEROXIDO DE HIDROGENO

PARAMETROS DE INTERES	JARRA 1			JARRA 2			JARRA 3			JARRA 4		
	0.29ml / 200ppm			0.57ml / 400ppm			0.86ml / 600ppm			1.14ml / 800ppm		
	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción
pH (unidades)	5.50	8.0	-----	5.70	7.8	-----	5.50	8.0	-----	5.75	8.2	-----
T (°C)	18.6	20	-----	19.0	20.9	-----	19.6	20.8	-----	19.6	20	-----
Fenoles (mg/L)	1.18	0.35	70	1.18	0.29	75.4	1.18	0.25	78.8	1.18	0.22	81.3
DBO (mg/L)	3510	2848	18.8	3510	2808	20	3510	2702.7	23	3510	2611.4	25.6
DQO (mg/L)	8560	7276	15	8560	7104.8	17	8560	6890.8	19.5	8560	6762.4	21
G y A (mg/L)	750	562.5	25	750	547.5	27	750	525	30	750	487.5	35
SAAM (mg/L)	8.6	6.2	28	8.6	6.02	30	8.6	5.76	33	8.6	5.7	33.7
Sólidos totales (mg/L)	2560	1792	30	2560	1780	30.5	2560	1702.4	33.5	2560	1664	35

Los ensayos de jarras con este reactivo se desarrollaron por medio de dosificación por contacto, teniendo en cuenta que el peróxido reacciona fácilmente con el medio ambiente y así mismo se reduce su acción oxidante y por esta razón se dosifico tal como lo entrega el proveedor sin hacer ningún tipo de disolución ni solución patrón. De acuerdo a los resultados de los ensayos de jarras mostrados en la tabla anterior, los porcentajes de remoción son más altos que los obtenidos en el ensayo de jarras con la dosis escogida como óptima con el hipoclorito de calcio; y en cuanto a la dosificación de peróxido de hidrogeno se observa que la jarra número 4 es la que muestra porcentajes de remoción más altos por lo cual se decide hacer un nuevo ensayo de jarras para aumentar la dosis y así mismo la remoción en los diferentes parámetros analizados.

PRUEBAS DE JARRAS 2 PARA DOSIS DE PEROXIDO DE HIDROGENO

PARAMETROS DE INTERES	JARRA 5			JARRA 6			JARRA 7			JARRA 8		
	1.43ml /1000ppm			1.72ml / 1200ppm			2.0ml / 1400ppm			2.3ml / 1600ppm		
	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción
pH (unidades)	5.57	8.3	-----	5.45	7.8	-----	5.67	8.0	-----	5.7	8.2	-----
T (°C)	18.7	21	-----	19.2	20.9	-----	18.1	19.8	-----	19.7	20	-----
Fenoles (mg/L)	1.1	0.2	81.8	1.1	0.16	85.5	1.1	0.202	81.6	1.1	0.21	80.9
DBO (mg/L)	3515	2565.9	27	3515	2425.4	31	3515	2636.3	24.9	3515	2680.9	24.8
DQO (mg/L)	8565	6423.8	25	8565	6252.5	27	8565	6295.3	26.5	8565	6355.2	25.8
G y A (mg/L)	730	459	37.1	730	438	40	730	460.6	36.9	730	467.2	36
SAAM (mg/L)	8.3	5.4	34.9	8.3	5.3	36.1	8.3	5.52	33.5	8.3	5.6	33
Sólidos totales (mg/L)	2572	1620.4	37	2572	1517.5	41	2572	1628.1	36.7	2572	1638.4	36.3

De la tabla anterior se observa que los porcentajes de remoción más altos están entre las jarras 5 y 6 por lo cual se propone otro ensayo con un rango más pequeño entre 1000 y 1200ppm, para así encontrar la dosis mínima óptima de peróxido.

PRUEBAS DE JARRAS 3 PARA DOSIS DE PEROXIDO DE HIDROGENO

PARAMETROS DE INTERES	JARRA 9			JARRA 10			JARRA 11			JARRA 12		
	1.48 ml /1040ppm			1.54ml / 1080ppm			1.6ml / 1120ppm			1.7ml / 1160ppm		
	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción	Entrada	Salida	%de remoción
pH (unidades)	5.77	8.3	-----	5.8	7.88	-----	5.8	8.6	-----	5.73	8.2	-----
T (°C)	19.0	21	-----	19.7	21.0	-----	19.3	20	-----	19.5	20	-----
Fenoles (mg/L)	1.15	0.19	83.5	1.15	0.15	86.9	1.15	0.13	88.7	1.15	0.21	81.7
DBO (mg/L)	3570	2499	30	3570	2356.2	34	3570	2320.5	35	3570	2570.4	28
DQO (mg/L)	8498	6033.6	29	8498	5900	30.5	8498	5651.2	33.5	8498	5948.6	30
G y A (mg/L)	735	459.4	37.5	735	426.3	42	735	404.25	45	735	465.3	36.7
SAAM (mg/L)	8.6	5.42	37	8.6	5.4	37.2	8.6	5.33	38	8.6	5.6	34.8
Sólidos totales (mg/L)	2592	1581.1	39	2592	1547.4	40.3	2592	1451.5	44	2592	1633	37

De acuerdo con los resultados obtenidos de las diferentes dosificaciones de peróxido en la tabla anterior se puede observar que la jarra numero 11 fue la que demostró un porcentaje de remoción mayor con una dosis mínima del oxidante, puesto que en la jarra numero 12 se utilizo un poco mas de oxidante y los porcentajes de remoción bajaron, por lo cual se adopta como dosis óptima la implementada en la jarra numero 11.

ANEXO N

**HOJAS DE SEGURIDAD DEL HIPOCLORITO DE CALCIO ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) Y
DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H_2O_2)**

ANEXO O

FOTOGRAFIAS DAF



Foto 1 .Unidad DAF



Foto 2. Fedwall



Foto 3 .Unidad DAF



Foto 4. Tanque de captación



Foto 5 .Difusor



Foto 6 .Remoción de grasas



Foto 7 .Barredor



Foto 8 .Agua de entrada DAF



Foto 9 .Agua de salida
DAF

ANEXO R. Descripción de relación b/c, costos e inversión

Años	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Periodos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Ahorro en tasas retributivas		1.287.902,74	1,00	1.239.264,24	1.215.732,74	1.192.707,53	1.170.175,05	1.148.122,23	1.126.536,44	1.105.405,47	1.084.717,53
Ahorro en consumo.		42.240.000,00	43.955.057,16	45.739.750,25	47.596.906,65	49.529.468,57	51.540.497,69	53.633.179,98	55.810.830,77	58.076.900,02	60.434.977,76
Ahorro por alcantarillado		16.350.786,00	17.014.641,73	17.705.450,57	18.424.306,83	19.172.349,26	19.950.762,85	20.760.780,68	21.603.685,92	22.480.813,83	23.393.553,88
Total de ahorro		59.878.688,74	60.969.699,90	64.684.465,06	67.236.946,22	69.894.525,36	72.661.435,59	75.542.082,89	78.541.053,14	81.663.119,33	84.913.249,17
Costos											
Honorarios operarios		1.929.507	2.034.424	2.145.046	2.261.683	2.384.662	2.514.329	2.651.046	2.795.197	2.947.186	3.107.439
Reactivos		1.864.614	1.948.522	2.036.206	2.127.835	2.223.587	2.323.649	2.428.213	2.537.483	2.651.669	2.770.994
Cmantenimiento		3.344.000	3.494.480	3.651.732	3.816.060	3.987.782	4.167.232	4.354.758	4.550.722	4.755.504	4.969.502
Depreciación		8.693.500	8.693.500	8.693.500	8.693.500	8.693.500	8.693.500	8.693.500	8.693.500	8.693.500	8.693.500
S.P. Energía		26.929.099	28.366.103	29.803.106	31.240.110	32.677.114	34.114.117	35.551.121	36.988.124	38.425.128	39.862.132
Tasa retributiva		952.521	926.298	901.003	876.595	853.039	830.298	808.339	787.128	766.635	746.831
Toal Costo		43.713.241	45.463.327	47.230.592	49.015.783	50.819.685	52.643.125	54.486.976	56.352.153	58.239.623	60.150.399
Inverisón											
Desmonte	5.403.683										
Prov. Obra	3.550.228										
Sist. DAF	86.935.000										
Tubería	4.158.000										
Otros	25.540.000										
Transporte	608.200										
Total Inversión	126.195.111										
F.C.N	-126.195.111	16.165.448	15.506.373	17.453.873	18.221.164	19.074.841	20.018.310	21.055.107	22.188.900	23.423.497	24.762.851

porcentaje para la proyeccion	
DBO	SST
-1,74%	-4,88%

Años	Kg /día	
	DBO	SST
1998	71,16	49,92
2008	58,68	28,8

PAGO TASA RETRIBUTIVA CON EL SISTEMA DAF											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tasas retributivas	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
DBO (Kg /día)	20,31	19,96	19,61	19,27	18,93	18,61	18,28	17,96	17,65	17,35	17,04
SST (Kg /día)	23,45	22,31	21,22	20,18	19,20	18,26	17,37	16,52	15,72	14,95	14,22
DBO (\$/Kg)	88,48	644.517,40	633.317,35	622.311,93	611.497,76	600.871,51	590.429,92	580.169,77	570.087,92	560.181,27	550.446,77
SST (\$/Kg)	37,83	308.003,39	292.980,66	278.690,65	265.097,63	252.167,60	239.868,23	228.168,76	217.039,92	206.453,89	196.384,19
TOTAL tasas retributivas		952.520,79	926.298,01	901.002,58	876.595,39	853.039,11	830.298,15	808.338,53	787.127,84	766.635,16	746.830,95

PAGO DE TASA RETRIBUTIVA CON EL SISTEMA ACTUAL											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
tasas retributivas	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
DBO	58,68	57,66	56,66	55,67	54,71	53,76	52,82	51,90	51,00	50,12	49,24
SST	28,80	27,40	26,06	24,79	23,58	22,43	21,34	20,29	19,30	18,36	17,47
DBO	88,48	1.862.150,71	1.829.791,34	1.797.994,30	1.766.749,81	1.736.048,27	1.705.880,24	1.676.236,45	1.647.107,79	1.618.485,32	1.590.360,23
SST	37,83	378.272,82	359.822,72	342.272,52	325.578,32	309.698,37	294.592,97	280.224,32	266.556,49	253.555,31	241.188,26
TOTAL tasas retributivas		2.240.423,53	2.189.614,07	2.140.266,82	2.092.328,13	2.045.746,64	2.000.473,20	1.956.460,77	1.913.664,29	1.872.040,63	1.831.548,49
AHORRO EN TASA RETRIBUTIVA		1.287.902,74	1.263.316,06	1.239.264,24	1.215.732,74	1.192.707,53	1.170.175,05	1.148.122,23	1.126.536,44	1.105.405,47	1.084.717,53

periodos	año	valor KW
1	1998	153,28
2	1999	164,32
3	2000	182,66
4	2001	173,42
5	2002	167,58
6	2003	180,14
7	2004	222,79
8	2005	294,66
9	2006	283,41
10	2007	304,63
11	2008	302,42
12	2009	324,76
13	2010	342,09
14	2011	359,42
15	2012	376,75
16	2013	394,08
17	2014	411,41
18	2015	428,74
19	2016	446,07
20	2017	463,4
21	2018	480,73

Proyecciones del valor de la energía al año 2018

años	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
\$ Energia	26929099	28366103	29803106	31240110	32677114	34114117	35551121	36988124,4	38425128	39862132



AHORRO POR REUSO DEL AGUA EN ALCANTARILLADO

años	1998	67363524
valor	2008	104364000

porcentaje para la proyección
4%

	PAGO ALCANTARILLADO CON EL SISTEMA DAF										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
\$ /m ³	88013214	91586624,88	95305119	99174588	103201159,8	107391214	111751388	116288589	121010004	125923112	131035697
	PAGO ALCANTARILLADO CON EL SISTEMA ACTUAL										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
\$ /m ³	104364000	108601266,6	113010570	117598895	122373509	127341977	132512169	137892275	143490818	149316666	155379049
AHORRO EN ALCATARILADO	16350786	17014641,73	17705450,6	18424306,8	19172349,26	19950762,8	20760780,7	21603685,9	22480813,8	23393553,9	24343351,9

AHORRO POR REUSO DEL AGUA EN CONSUMO

años	1998	174021000
valor	2008	269610000

porcentaje para la proyeccion
4%

	PAGO AGUA CON EL SISTEMA ACTUAL										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
\$ /m ³	269610000	280556888,3	291948249,6	303802130,7	316137311,1	328973332,9	342330531,6	356230068,3	370693963,4	385745131,5	401407417,3
	PAGO AGUA CON EL SISTEMA DAF										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
\$ /m ³	227370000	236601831,1	246208499,4	256205224,1	266607842,5	277432835,2	288697351,6	300419237,5	312617063,4	325310153,7	338518617,5
AHORRO EN CONSUMO DE AGUA	42240000	43955057,16	45739750,25	47596906,65	49529468,57	51540497,69	53633179,98	55810830,77	58076900,02	60434977,76	62888799,77

ANEXO Q
Descripción de costos e inversión

Costos

CONCEPTO	DESCRIPCION	VALOR
Honorarios/mes	2 operarios	1830000
Reactivos /mes	Coagulante y floculante	1784320
Energía/mes		2106513
Mantenimiento	Pintura, lubricación, revisiones.	800000
Tasas retributivas/mes	DBO	53910
	SST	26624
Costo de m ³ agua (2008)	Precio de m ³ de agua en AZULK	5500
Alcantarillado	Precio de alcantarillado por mes.	8697000






CONCEPTO	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR
Desmonte	Desmonte de tanques de floculación, clarificación, estructura metálica, tuberías y bombas		5403683
Provisionales de obra	Cerramiento en tela, red provisional de agua de 1,50m y red provisional eléctrica de 1,50m		3550228
Sistema DAF	Tanque de mezcla, agitador, DAF, tanques de almacenamiento de químicos, plataforma de trabajo, escalera y bombas de alta presión		86935000
Tubería sistema DAF			4148000
Transporte de equipo al sitio de la obra.			608200
Otros	Ingeniería, arranque, capacitación, visita posventa, manual de operación y planos.		25540000

ANEXO P. Pruebas preliminares al ensayo piloto con el DAF.

Pruebas Hidráulicas: Las pruebas se hacen con el fin de analizar si el sistema DAF tiene pérdidas Hidráulicas, ya que éstas causan una disminución de la eficiencia del sistema, la prueba se llevó a cabo arrancando el sistema con agua potable(para mayor facilidad) y verificando el funcionamiento de cada uno de los dispositivos que conforman el sistema DAF. (Ver tabla 43):

Tabla 43. Pruebas hidráulicas en el DAF.

EQUIPO	FUNCIONAMIENTO	FOTO
Bomba Dosificadora	Se verifica que no contenga fugas del coagulante, lo cual fue positivo y se corrigió con un aditamento de Teflón ayudando a dar presión al sistema de bombeo.	
Bomba Sumergible	La bomba sumergible tiene como objetivo extraer agua del tanque homogenizador, en este caso se verifica que esté en funcionamiento y logre trasladar el agua hasta el serpentín y continuar el proceso.	
Tanque de Homogenización	El tanque homogenizador tiene como objetivo igualar las condiciones del efluente con la soda, se verificó que no tuviera fugas en la parte baja, lo cual puede ocurrir por el desgaste del material o el manejo inadecuado.	
Tablero control de	El tablero de control es la parte central del manejo del sistema su fuente es eléctrica, se verifica que todos los ordenadores funcionen correctamente y cumplan con su función.	

Barredor	Básicamente el barredor trabaja con un motor eléctrico, se verifica la conexión eléctrica y el transformador como la entrada de energía. Se observó que la paleta del barredor era muy ancha y de material muy rígido lo cual impedía un buen funcionamiento, por ésta razón se decidió colocar un soporte en la parte superior del sistema y de ésta forma evitar obstrucciones en el paso de la paleta alrededor del tanque para recoger las grasas flotantes.	
Extracción de lodos	La extracción de lodos se hace cuando hay acumulación de sedimentos esto se hace periódicamente como medida preventiva y se verifica el buen funcionamiento de la válvula.	
Válvulas	Se verifican todas las válvulas del sistema (tubería de agua y la de aireación), por otra parte se confirma la interconexión que por desgaste y/o uso presentan fugas, en este caso cotejamos los agujeros del inyector de aire y su capacidad.	

Fuente: La autora, 2008

Pre ensayo

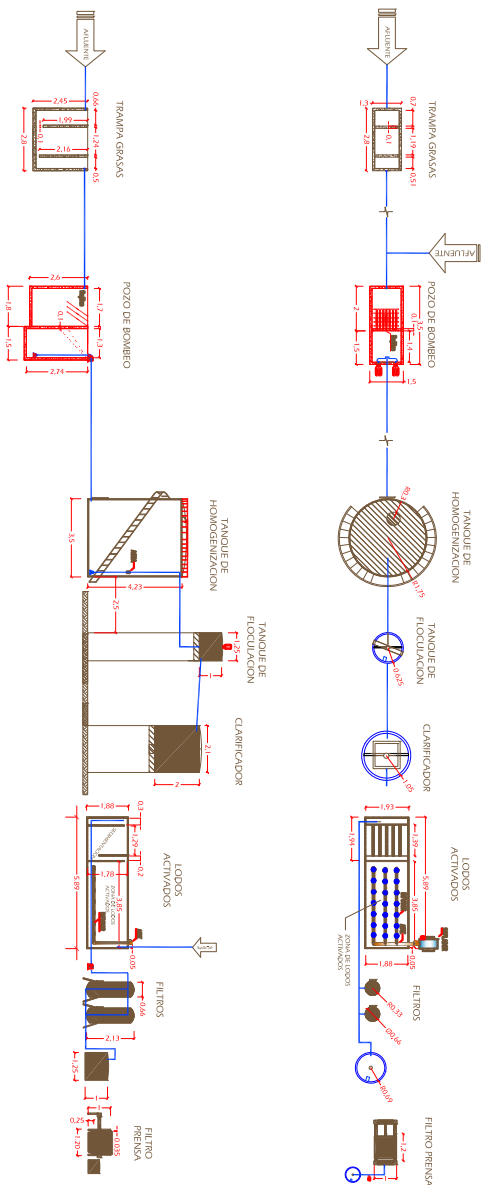
Después de terminadas las pruebas hidráulicas se realizó un pre ensayo con agua proveniente del homogenizador de la empresa de jabones AZULK S.A, en el cual se tuvo en cuenta el mantenimiento y el funcionamiento del sistema, buscando mejorar las características de operación así:

- El mezclador tubular se lavó con agua a presión.
- Antes de empezar el arranque del DAF este se lavó para eliminar residuos presentes del tratamiento anterior.
- Se aplicó anticorrosivo para evitar las oxidaciones.
- Se realizó mantenimiento al motor aplicando aceite a éste.
- La bomba sumergible se limpió puesto que podría tener Sólidos Suspendidos por el tipo de agua a tratar.

Después del alistamiento de la unidad se procedió a introducir 200 L del agua recolectada en AZULK S.A. en el tanque homogenizador del sistema, en el cual se verificó y corrigió el pH del agua con la adición de NaOH, hasta obtener un pH de 8, luego se dosificó el coagulante PAC (Policloruro de aluminio),

teniendo en cuenta los ensayos de jarras realizados en la PTAR (ver capítulo 5) y la dosis óptima obtenida, mediante una bomba dosificadora a 0.66 ml/min, garantizando la mezcla rápida con un serpentín; durante la investigación se vio la necesidad de aplicar Floculante puesto que el floc formado por el coagulante no tenía suficiente peso para su sedimentación, el cual fue añadido en el *fedwell* por medio de un tanque de dosificación que garantizó el caudal de 0.78ml/min en cual se homogenizó el floculante con el agua; después de que el agua ingresó al sistema *DAF* se dejó trabajando durante 1 hora y de esta forma se finalizó el pre ensayo y se continuo con el arranque de la prueba a nivel piloto, la cual consistió en adicionarle tres cochadas de agua al sistema y caracterizar cada una de éstas a la salida del tratamiento, garantizando de esta forma una muestra más representativa.

PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES AZULK S.A.



NOTAS GENERALES

PLANTA DE TRATAMIENTO
AZULK S.A.

DEPARTAMENTO
CUNDINAMARCA

CIUDAD
BOGOTÁ

LISTA DE PLANOS

Nº	PLANO	DESCRIPCION	ACTUAL	REF.
1	PTAR	VISTA PLANTA Y PERFIL		

LISTA DE MODIFICACIONES

REVISION	DESCRIPCION	FECHA

JENNIFER ROJAS FLORES

UNIVERSIDAD:

AMERICA

PROYECTO:
MEDIOAMBIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA SU REUSO EN AZULK S.A.

CONTIENE:
VISTA CORTE Y PLANTA DE LA PTAR

ESCALA:

FECHA:

AZULK N°:

VO BO CLIENTE:

PROYECTO:

DISEÑO:

PROYECTO DE GRADO DE
INGENIERIA QUIMICA

JENNIFER ROJAS FLORES

LICENCIA PROFESIONAL:

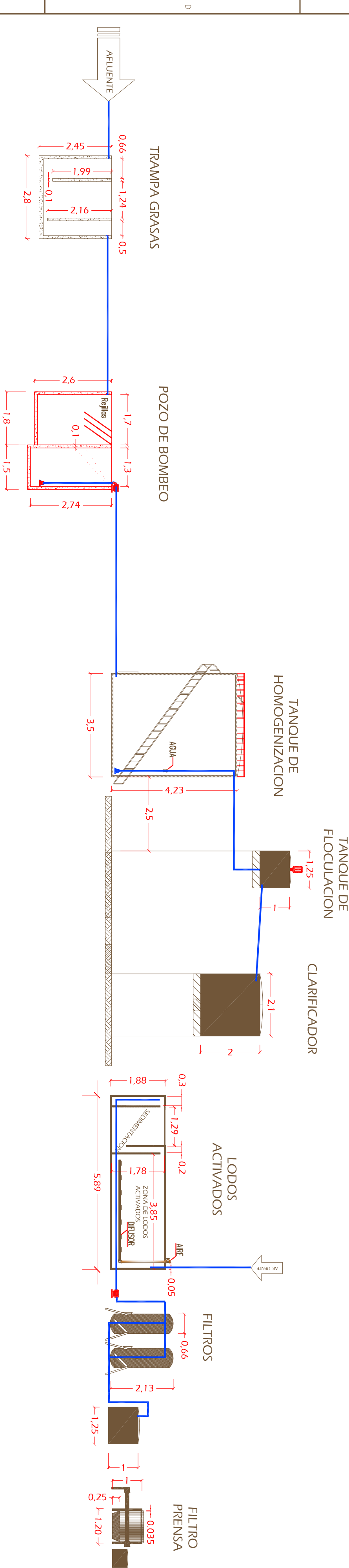
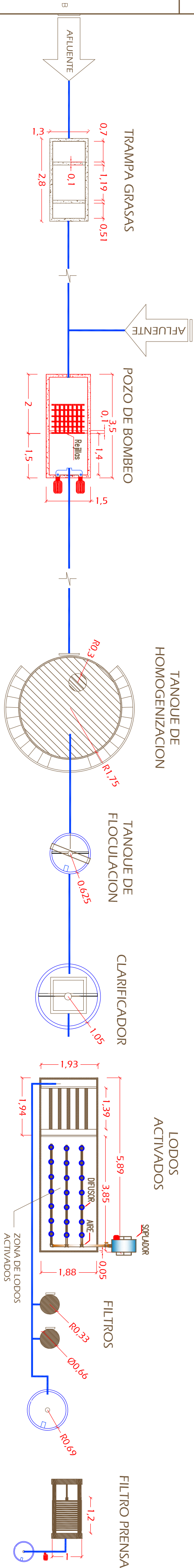
DIBUJO:

J. R. F

PLANO:

1/1

VISTA PLANTA
ESC 1:100



VISTA PERFIL
ESC 1:100

REDES DE TUBERIA
AZULK S.A.

DEPARTAMENTO
CUNDINAMARCA

CIUDAD
BOGOTÁ

LISTA DE PLANOS

Nº	PLANO	DESCRIPCION	ACTUAL	REF.
1	REDES DE TUBERIA INDUSTRIALES	DISTRIBUCION DE AGUAS NEGRAS LUVIAS E INDUSTRIALES		

LISTA DE MODIFICACIONES

REVISION	DESCRIPCION	FECHA

JENNIFER ROJAS FLORES

AMERICA

PROYECTO:
MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA SU REUSO EN AZULK S.A.

CONTENIE: REDES DE DISTRIBUCION DE AGUAS	ESCALA: 1:300	FECHA: D 11 2 0 7
AZULK Nº:	Vía DEL CLIENTE:	

PROYECTO:	DISEÑO:
-----------	---------

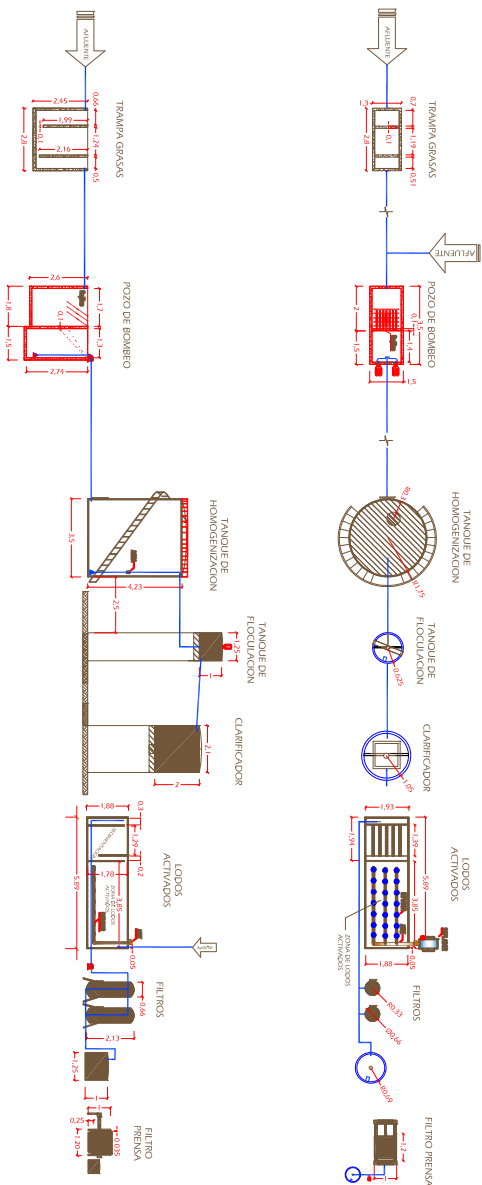
PROYECTO DE GRADO DE INGENIERIA QUIMICA

JENNIFER ROJAS FLORES
LICENCIA PROFESIONAL:

DIBUJO:
J. R. F

PLANO:
1/1

PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES AZULK S.A.



NOTAS GENERALES

PLANTA DE TRATAMIENTO
AZULK S.A.

DEPARTAMENTO
CUNDINAMARCA

CIUDAD
BOGOTÁ

LISTA DE PLANOS

Nº	PLANO	DESCRIPCION	ACTUAL	REF.
1	PTAR	VISTA PLANTA Y PERFIL		

LISTA DE MODIFICACIONES

REVISION	DESCRIPCION	FECHA

JENNIFER ROJAS FLORES

UNIVERSIDAD:

AMERICA

PROYECTO:
MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA SU REUSO EN AZULK S.A.

CONTIENE:
VISTA CORTE Y PLANTA DE LA PTAR

ESCALA:

FECHA:

AZULK N°:

VO BO CLIENTE:

PROYECTO:

DISEÑO:

PROYECTO DE GRADO DE
INGENIERIA QUIMICA

JENNIFER ROJAS FLORES

LICENCIA PROFESIONAL:

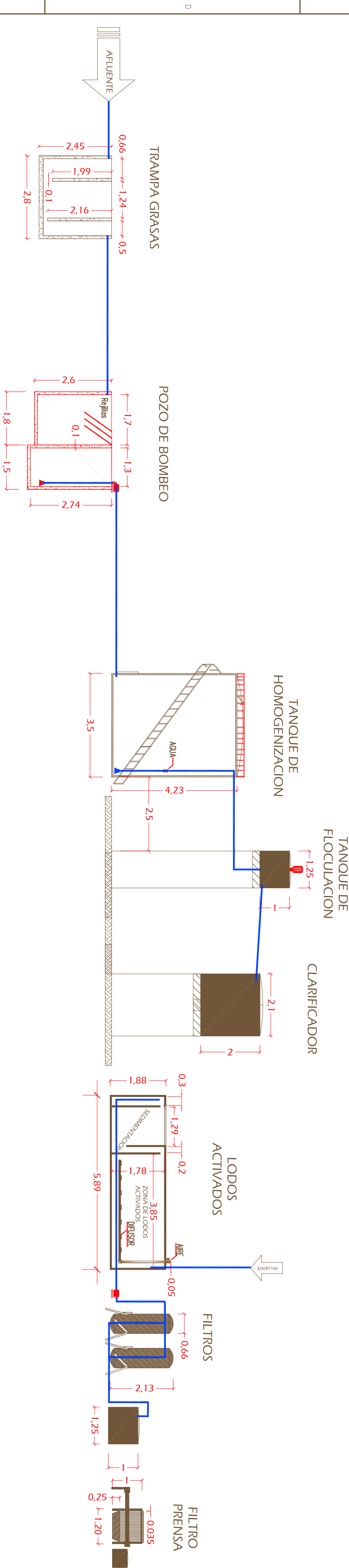
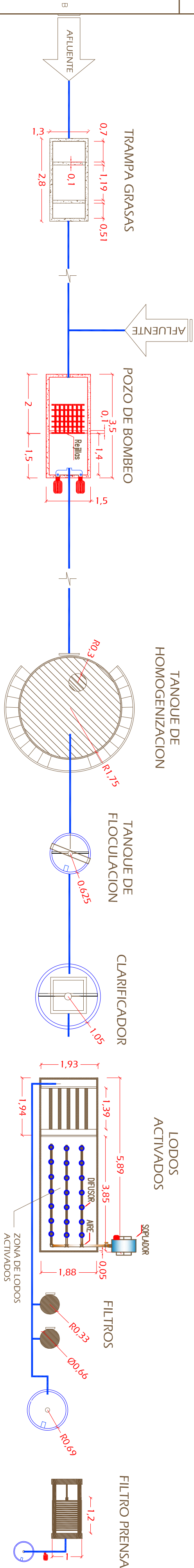
DIBUJO:

J. R. F

PLANO:

1/1

VISTA PLANTA
ESC 1:100



VISTA PERFIL
ESC 1:100

REDES DE TUBERIA
AZULK S.A.

DEPARTAMENTO
CUNDINAMARCA

CIUDAD
BOGOTÁ

LISTA DE PLANOS

Nº	PLANO	DESCRIPCION	ACTUAL	REF.
1	REDES DE TUBERIA INDUSTRIALES	DISTRIBUCION DE AGUAS NEGRAS LUVIAS E INDUSTRIALES		

LISTA DE MODIFICACIONES

REVISION	DESCRIPCION	FECHA

JENNIFER ROJAS FLORES

AMERICA

PROYECTO:
MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PARA SU REUSO EN AZULK S.A.

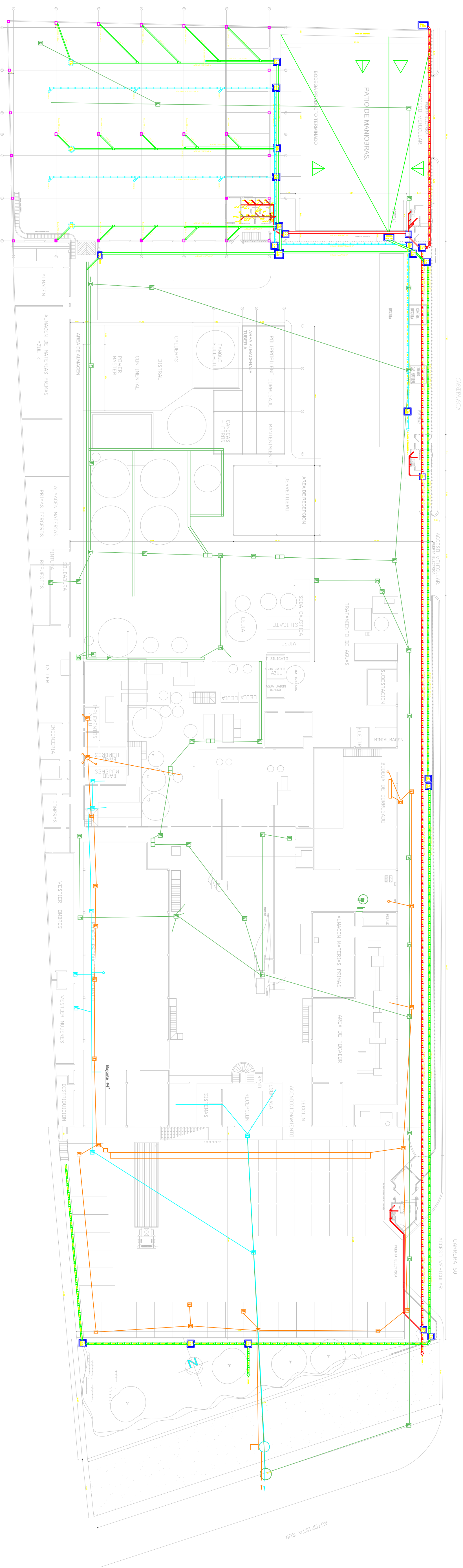
CONTENIE: REDES DE DISTRIBUCION DE AGUAS	ESCALA: 1:300	FECHA: D 11 2 0 7
AZULK Nº:	Vía DEL CLIENTE:	

PROYECTO:	DISEÑO:
-----------	---------

PROYECTO DE GRADO DE INGENIERIA QUIMICA

JENNIFER ROJAS FLORES
LICENCIA PROFESIONAL:

DIBUJO: J. R. F. PLANO: 1/1



AGUAS INDUSTRIALES
AGUAS LLUVIAS
AGUAS NEGRAS