



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL REUSO DE AGUA DE PROCESO PROVENIENTE DEL ÚLTIMO
LAVADO HACIA EL LAVADO PRELIMINAR DE LA MATERIA PRIMA EN UNA
PLANTA DE MANUFACTURA DE ALGODÓN HIDRÓFILO**

Karina Alejandra Paredes Cordero

Asesorado por el Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL REUSO DE AGUA DE PROCESO PROVENIENTE DEL ÚLTIMO
LAVADO HACIA EL LAVADO PRELIMINAR DE LA MATERIA PRIMA EN UNA
PLANTA DE MANUFACTURA DE ALGODÓN HIDRÓFILO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

KARINA ALEJANDRA PAREDES CORDERO

ASESORADO POR EL ING. RENATO GIOVANNI PONCIANO SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

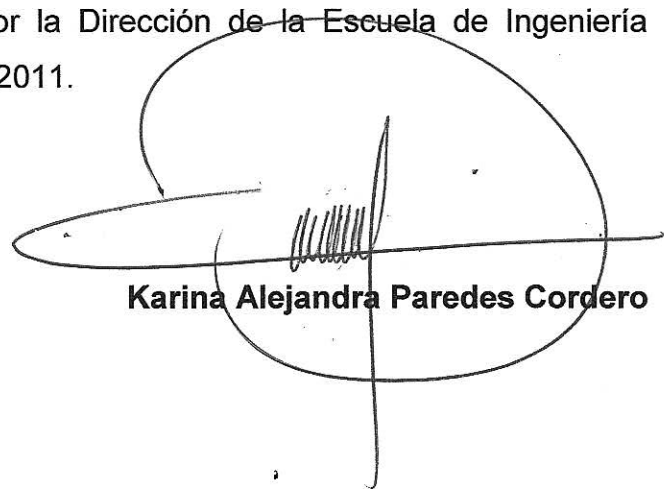
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL REUSO DE AGUA DE PROCESO PROVENIENTE DEL ÚLTIMO
LAVADO HACIA EL LAVADO PRELIMINAR DE LA MATERIA PRIMA EN UNA
PLANTA DE MANUFACTURA DE ALGODÓN HIDRÓFILO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre de 2011.



Karina Alejandra Paredes Cordero



Guatemala, 7 de noviembre de 2012

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Monzón:

Reciba por medio de la presente un cordial saludo de mi parte. El motivo por el que me dirijo a usted es para hacer de su conocimiento que he revisado y corregido el Informe Final del trabajo de graduación de la estudiante Karina Alejandra Paredes Cordero, carné universitario No. 200614873 en el planeamiento y ejecución de su Tesis para optar al título de Ingeniero Químico, denominado **"EVALUACIÓN DEL REUSO DE AGUA DE PROCESO PROVENIENTE DEL ÚLTIMO LAVADO HACIA EL LAVADO PRELIMINAR DE LA MATERIA PRIMA EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA DE ALGODÓN HIDRÓFILO."** Es mi opinión que el trabajo está listo para ser sometido a la revisión y escrutinio de los revisores nombrados por la Escuela de Ingeniería Química, por lo que por este medio le comunico mi **APROBACIÓN** del mismo y solicito que se le dé el trámite correspondiente.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted con todo respeto.

Atentamente,
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
Profesor Titular V Renato Giovanni Ponciano Sandoval
Colegiado No. 826 INGENIERO QUÍMICO



Guatemala, 18 de enero de 2013
Ref. EI.Q.TG-IF.005.2013

Ingeniero
V́ctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-251-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Karina Alejandra Paredes Cordero**

Identificada con número de carné: **2006-14873**

Previo a optar al título de INGENIERA QUÍMICA.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL REUSO DE AGUA DE PROCESO PROVENIENTE DEL ÚLTIMO LAVADO HACIA EL LAVADO PRELIMINAR DE LA MATERIA PRIMA EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA DE ALGODÓN HIDRÓFILO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Renato Giovanni Ponciano Sandoval**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Manuel Tay Oroxom
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **KARINA ALEJANDRA PAREDES CORDERO** titulado: "EVALUACIÓN DEL REUSO DE AGUA DE PROCESO PROVENIENTE DEL ÚLTIMO LAVADO HACIA EL LAVADO PRELIMINAR DE LA MATERIA PRIMA EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA DE **ALGODÓN HIDRÓFILO**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2013

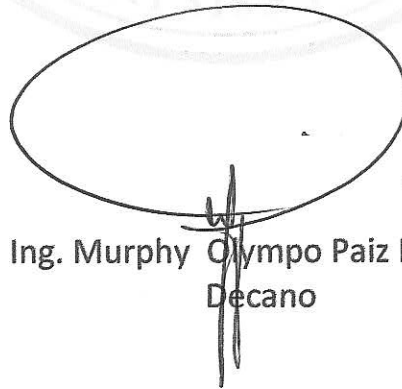
Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 329 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL REUSO DE AGUA DE PROCESO PROVENIENTE DEL ÚLTIMO LAVADO HACIA EL LAVADO PRELIMINAR DE LA MATERIA PRIMA EN UNA PLANTA DE MANUFACTURA DE ALGODÓN HIDRÓFILO**, presentado por la estudiante universitaria: **Karina Alejandra Paredes Cordero**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 14 de mayo de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi padre, guía, fortaleza y mi mejor maestro.
Mis padres	Violeta Cordero y Erwin Paredes por el apoyo y amor incondicional; sus consejos, por su paciencia y por confiar en mí. Los amo mucho.
Mi hermana	Gabriela Paredes, el mejor regalo que Dios me envió.
Mis tíos y primos	Por estar siempre pendientes de mi avance en la carrera y por su apoyo incondicional.
Julio Cordero, Bertha de Cordero, Edgar Cordero y Sonia de Cordero	Gracias por ser un ejemplo y por nunca separarse de mí. Los amo mucho.
Mis amigas	Emily Bonilla, María Alejandra Urbina, María Isabel Zúñiga, Romy Godínez, Sofía López y Astrid Delgado. Mis consejeras, mi familia.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por enviarme la paciencia y sabiduría para culminar este ciclo tan anhelado.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma mater e imprimir en mí, conciencia y responsabilidad social para mi país.
Facultad de Ingeniería	Por haberme brindado las herramientas para forjarme como profesional.
Ing. Qco. Renato Ponciano	Por ser el mentor y tutor en mi formación académica, compartiendo sus vastos conocimientos y enseñándome el modelo de rectitud en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS/HIPÓTESIS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Antecedentes de la empresa	4
1.2. Descripción del proceso de limpieza del algodón hidrófilo	7
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Algodón	11
2.1.1. Producción de algodón hidrófilo	12
2.2. El valor del agua	15
2.3. Valor económico del agua	17
2.4. Efluentes	19
2.5. Prevención de la contaminación	21
3. METODOLOGÍA	23
3.1. Definición operacional de las variables	23
3.1.1. Variables	26
3.2. Delimitación del campo de estudio	26
3.2.1. Alcances	26
3.2.2. Limitaciones	27

3.3.	Recurso humano disponible.....	27
4.	DATOS OBTENIDOS EN LA TOMA DE MUESTRAS.....	37
4.1.	Análisis del agua de descruce.....	37
4.2.	Análisis del agua de neutralizado	38
4.3.	Capacidad del autoclave donde se realiza cada uno de los pasos del lavado del algodón	39
5.	MUESTRA DE CÁLCULO	41
5.1.	Concentración de hidróxido de sodio en el agua de descruce y neutralizado	41
5.2.	Ahorro energético que el retorno de agua produciría.....	42
5.2.1.	Ahorro de energía	42
5.2.2.	Ahorro de combustible	44
6.	RESULTADOS	47
6.1.	Hidróxido de sodio presente en el agua de descruce y neutralizado.....	47
6.2	Temperatura (°C) y pH obtenidos en muestras de agua de la etapa de descruce en el proceso de lavado del algodón.....	48
6.3	Temperatura (°C) y pH obtenidas en muestras de agua de la etapa de neutralizado en el proceso de lavado del algodón.....	48
6.4	Ahorros producidos por la reutilización del agua de neutralizado.....	49
6.4.1.	Ahorro de energía.....	50
6.4.2.	Ahorro de agua.....	50
6.4.3.	Ahorro energético reflejado en combustible.....	50
6.5	Evaluación de diseño del tanque para almacenar el agua de neutralizado	51

7. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del proceso de fabricación del algodón.....	5
2.	Diagrama del proceso de descrude, blanqueo, lavado y neutralizado	6
3.	Significado de la simbología empleada en la figura No.2.....	6
4.	Autoclave donde se lleva a cabo el lavado del algodón.....	29
5.	Sistema de pilas por rebalse donde desemboca el efluente de cada uno de los pasos del lavado del algodón.....	29
6.	Efluente final que va al alcantarillado, combinado de todas las pilas por rebalse.....	30
7.	Diagrama general de la metodología.....	36
8.	Medidas del tanque para determinar el factor de seguridad.....	52

TABLAS

I.	Descripción del proceso de limpieza del algodón	7
II.	Información detallada de cada uno de los pasos del proceso del lavado del algodón....	8
III.	Precio del servicio de agua por rangos de consumo	19
IV.	Definición operacional de las variables involucradas en el análisis del contenido y volumen del agua que se desea reusar.....	23
V.	Definición de variables involucradas en el estudio de compatibilidad del agua a reusar (último lavado del algodón) con el agua a donde será destinada (primer lavado del algodón)	24

VI.	Variables involucradas en el análisis del proceso de reutilización del agua	24
VII.	Variables involucradas en la determinación de ahorro de agua por lote producido	25
VIII.	Variables involucradas en el análisis de reducción de contaminación en el efluente final y propuesta de tratamiento del mismo, con base en los parámetros que la ley exige.....	25
IX.	Toma de datos para los parámetros temperatura y potencial de hidrógeno	31
X.	Toma de datos para la obtener el caudal de agua saliente del primer y último lavado del algodón.	32
XI.	Tabla de toma de datos para la obtención de la concentración de hidróxido de sodio en el agua saliente del primer y último lavado del algodón.....	33
XII.	Temperatura (°C) y pH obtenidos en muestras de agua de la etapa de descruce en el proceso de lavado del algodón	37
XIII.	Temperatura (°C) y pH obtenidos en muestras de agua de la etapa de neutralizado en el proceso de lavado del algodón	38
XIV.	Carga volumétrica (m ³) dentro del autoclave correspondiente a cada etapa del lavado del algodón.	39
XV.	Volumen de HCl necesario para encontrar la concentración de hidróxido de sodio	41
XVI.	Concentración molar de hidróxido de sodio (NaOH) presente en el agua de descruce	47
XVII.	Temperatura y pH en la etapa de descruce.	48
XVIII.	Temperatura y pH en la etapa de neutralizado	49
XIX.	Descripción y costo de materiales potenciales para la construcción del tanque de almacenamiento de agua de retorno	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HCl	Ácido clorhídrico
h	Altura
A	Área
Q	Calor
ΔT	Cambio de temperatura
Cp	Capacidad calorífica
V	Carga volumétrica
R	Constante de los gases ideales
σ	Desviación estándar
°C	Grados Celsius
J	Joules
kW	Kilowatt
lb	Libra
L	Litro
m ³	Metro cúbico
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milimetro
mol	Moles
N	Número de corridas realizadas
pH	Potencial de Hidrógeno

μ	Promedio
pulg	Pulgada
r	Radio
X_i	Valor de la variable para esa corrida

GLOSARIO

Autoclave	Equipo que se utiliza en la esterilización por calor húmedo. Consta de un recipiente hermético, provisto de un manómetro y una válvula de seguridad, formado por dos compartimientos separados por una reja; el inferior se llena de agua y en el superior se coloca el material a esterilizar.
Caudal	Cantidad de fluido que pasa por una unidad de tiempo.
DBO	Se refiere a la demanda bioquímica de oxígeno. Es una medida de la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos.
Descrude	Consiste en la saturación de la fibra de algodón con una solución de soda cáustica (hidróxido de sodio). Con ella se saponifican los aceites y ceras naturales convirtiéndolas en jabón, se suaviza el material vegetal y se suspenden las pectinas y otros materiales no celulósicos para que puedan lavarse.
Efluente	Salida de flujo de cualquier sistema que despacha flujos de agua.

Saponificación

Disociación de las grasas en un medio alcalino, separándose glicerina y ácidos grasos. Estos últimos se asocian inmediatamente con los álcalis, constituyendo las sales sódicas de los ácidos grasos: el jabón.

Serpentín

Tubo hueco y enrollado en espiral que sirve para enfriar líquidos o gases calientes.

Titulación

Es un método de análisis que permite determinar el punto final de una reacción y por consiguiente la concentración de la solución que se analiza. Una solución de concentración conocida llamada titulante, se agrega con una bureta, a la solución que se analiza.

RESUMEN

El desperdicio de agua y el efecto contaminante de los efluentes es un fenómeno que afecta a la naturaleza y a los seres vivos. Este fenómeno ha aumentado con el crecimiento poblacional e industrial.

En la industria de manufactura de algodón hidrófilo se utiliza grandes cantidades de agua para realizar los lavados de la materia prima, con el fin de obtener un algodón de calidad.

Para ahorrar la mayor cantidad de agua utilizada y el efecto contaminante de los efluentes dentro de la planta, se estudió la factibilidad técnica de reutilizar el agua del proceso. Se realizó un análisis de las propiedades fisicoquímicas del agua de cada lavado, para comparar la necesidad de cada uno de ellos; de esta forma, se determinó que el agua proveniente del último lavado del algodón (neutralizado) puede reutilizarse en el primer lavado (descrude) ya que las características del agua de neutralizado no afectan a las características que se requieren en el lavado preliminar o descrude.

El pH del agua que sale del neutralizado se encuentra alrededor de 7 y no afecta durante el descrude, pues en esta etapa se hace uso de un pH alcalino. La temperatura del agua de neutralizado (42°C) es menor a la requerida en el lavado preliminar (90°C) y mayor a la temperatura ambiente, lo que conlleva un ahorro energético, además del ahorro de 3 m³ que se obtendrá por cada 2 lotes al reutilizar el agua de neutralizado al lavado preliminar.

OBJETIVOS

General

Evaluar la factibilidad técnica de reutilizar el agua del proceso proveniente del último lavado hacia el lavado preliminar del algodón.

Específicos

1. Evaluar las propiedades fisicoquímicas, temperatura, pH y concentración de hidróxido de sodio, del agua del primer y último lavado del algodón.
2. Evaluar la compatibilidad del agua del último lavado con el agua necesaria para el lavado preliminar del algodón.
3. Determinar con base en las propiedades fisicoquímicas, si el agua de neutralizado puede ser reutilizada en el descruce.
4. Proponer un tanque para almacenar el agua que se reutilizará.
5. Determinar del ahorro de agua que la reutilización de la misma producirá.
6. Determinar el ahorro energético y de combustible que la reutilización del agua de neutralizado producirá.

HIPÓTESIS

El agua proveniente del último lavado del proceso del algodón tiene los parámetros fisicoquímicos de proceso, de conformidad con la legislación vigente, para poder ser reutilizada en el lavado preliminar.

INTRODUCCIÓN

El vertido de efluentes a masas de agua natural está generando problemas ambientales, económicos y de salud, pues la capacidad de dilución de estas se está reduciendo debido a gran cantidad de contaminantes que son vertidos. De aquí surge la necesidad de mejorar la producción en las industrias, haciendo procesos más limpios, buscando alternativas para disminuir los efluentes y poder ahorrar agua.

Las empresas de manufactura de algodón utilizan grandes cantidades de agua para llevar a cabo el lavado del algodón antes de convertirlo en el producto final. En la empresa donde se llevó a cabo el proyecto se utilizan $3m^3$ de agua en cada uno de los pasos del lavado. El lavado empieza con el descrude y termina con el neutralizado, pasando por un lavado donde se retiran las impurezas del algodón utilizando un detergente.

En la etapa de neutralizado, la materia prima ingresa sin grasas, aceites, ceras y otras impurezas como hojas, ramas y tierra; esto provoca que el agua de residuo de este lavado se encuentre en condiciones de reutilización, pues no contiene grandes cantidades de impurezas, ni una elevada alteración de pH; por lo que mediante análisis fisicoquímicos del agua de ambos lavados, se determinó que el agua de neutralizado puede volver a ser utilizada para la etapa del descrude, con la finalidad de ahorrar agua y energía.

Debido a que el agua saliente del neutralizado se reutilizará en el siguiente descrude y luego se desecharía, puesto que cada paso del lavado del algodón se realiza por lote y no continuo, se dice que el ahorro de agua sería aproximadamente de $3m^3$ (capacidad del autoclave utilizado para lavar el algodón) por cada dos lavados, ya que el agua de neutralizado que sale a $45^{\circ}C$ y se calienta a $90^{\circ}C$ en el autoclave para el descrude, producirá un ahorro económico para la empresa, al reducir los costos energéticos.

1. ANTECEDENTES

A continuación se resumen los diferentes estudios y análisis realizados en relación con el reuso de aguas residuales de empresas textiles y de manufactura de algodón.

- M. Marcucci en su estudio, tratamiento y reutilización de efluentes textiles basados en nuevas tecnologías de otras membranas de ultrafiltración (2002), relata sobre el tratamiento y reutilización de efluentes textiles sobre la base de ultrafiltración nuevas y otras tecnologías de membrana: para verificar la posibilidad de reuso del agua residual proveniente de procesos textiles, se experimentó con diferentes procesos de membrana a escala planta piloto. Dentro de la planta piloto se utilizó un filtro de arena y ultrafiltración como pretratamientos para llevar a cabo un proceso de membrana, como la nanofiltración u ósmosis inversa. La ultrafiltración se realizó por medio de la instalación de un módulo de membranas planas que operan al vacío.
La eficiencia de los tratamientos de aguas residuales textiles provenientes de una planta de lodos activados fue examinada a escala planta piloto para optimizar el diseño de planta industrial.
- Philippe C, en su reseña sobre el tratamiento y reutilización de aguas residuales de la industria de proceso húmedo de textiles de 1998, realizó un estudio sobre las nuevas tendencias y requisitos de carácter ambiental para los productos de la industria textil, además del aumento en la rigidez en las restricciones a las descargas de aguas residuales, están obligando a las industrias textiles de proceso húmedo, a reutilizar

el agua de proceso y productos químicos. Este reto ha llevado a intensificar la investigación en nuevas tecnologías de tratamiento avanzado, algunas de los cuales actualmente ya están siendo probados a gran escala.

Estos incluyen los tratamientos de pulido, tales como filtración, oxidación química, técnicas especializadas floculación y tratamientos previos incluyendo la digestión anaerobia, biorreactores de película fija, oxidación del reactivo de Fentón, la electrólisis, o de flotación de la espuma. Estas nuevas tecnologías son prometedoras en términos de coste y rendimiento, pero todas ellas sufren limitaciones que requieren mayor investigación y / o la necesidad más amplia de validación.

- Planificación multidisciplinaria de gestión y reutilización de agua: este artículo se refiere en particular a la recuperación y reutilización de agua; provee un plan y metodología para el desarrollo y evaluación de alternativas para el reuso de agua. La metodología utilizada consta de cuatro fases:
 - Establecimiento de objetivos
 - Identificación de oportunidades de reutilización
 - Desarrollo y evaluación de alternativas de planificación
 - Evaluación de los vínculos reutilización del agua

Abdullah Monhorjy en su estudio, planificación multidisciplinaria y gestión de la reutilización del agua (2007), afirma que esta metodología busca integrar las necesidades hídricas con las necesidades socioeconómicas del estudio de los recursos hídricos. La reutilización de agua podría satisfacer las crecientes demandas de agua alrededor

del mundo. Factores como calidad del agua, economía, restricciones legales e institucionales podrían limitar el reuso de agua como una fuente de agua para la sociedad.

- Derin Orhon (2005), en su estudio del año 2005 sobre la reutilización de aguas residuales para minimizar la demanda de agua fresca en las zonas costeras - casos seleccionados de la Industria textil, trata sobre la disponibilidad de agua para la industria a menudo se convierte en un hecho prohibido en las zonas costeras involucrando así términos de calidad como términos de costo. Este estudio se enfoca en la industria textil y evalúa los requisitos de la recuperación y reutilización del agua. En este contexto, un amplio espectro es estudiado para mejorar la calidad del agua, la calidad general de las aguas residuales generadas, la calidad y tratabilidad de aguas residuales, reutilización de los arroyos, y los cambios esperados en la calidad del efluente general después de la segregación de la parte de recuperación de aguas residuales.
- Davide Mattioli en el año 2005 realizó un estudio del uso eficiente del agua en la industria de acabados textiles donde trata sobre el valor de los recursos hídricos es universalmente reconocido y la escasez de los mismos ha aumentado en muchos países del mundo. La necesidad de preservar este recurso es la fuerza impulsora detrás de la identificación y explotación de las fuentes de agua no convencionales. Para la industria, en particular producción textil, la recuperación de aguas residuales parece una solución técnicamente viable, que ha demostrado mucho interés por la gran cantidad de literatura producida.

Por otra parte, la Directiva Europea "Integrated Pollution Prevention and Control" (CIPF) exige que los sectores industriales cambien sus técnicas de

producción de acuerdo con mejores técnicas disponibles, con el objetivo de reducir los impactos sobre el ambiente.

Es necesario analizar a fondo las estrategias de reutilización del agua, por ser potencialmente responsables de la transferencia de la composición y contaminación de aguas residuales de entre los distintos compartimentos ambientales.

La elaboración de una metodología multicriterio integrada y coherente de apoyo a la aplicación de la reutilización sostenible del agua en los procesos de acabado textil, es una prioridad en este sector. Este fue el principal objetivo de la UE (Unión Europea), un proyecto de investigación, hacia efluentes cero (TOEF0 por sus siglas en Inglés), cuyos logros se presentan en este documento.

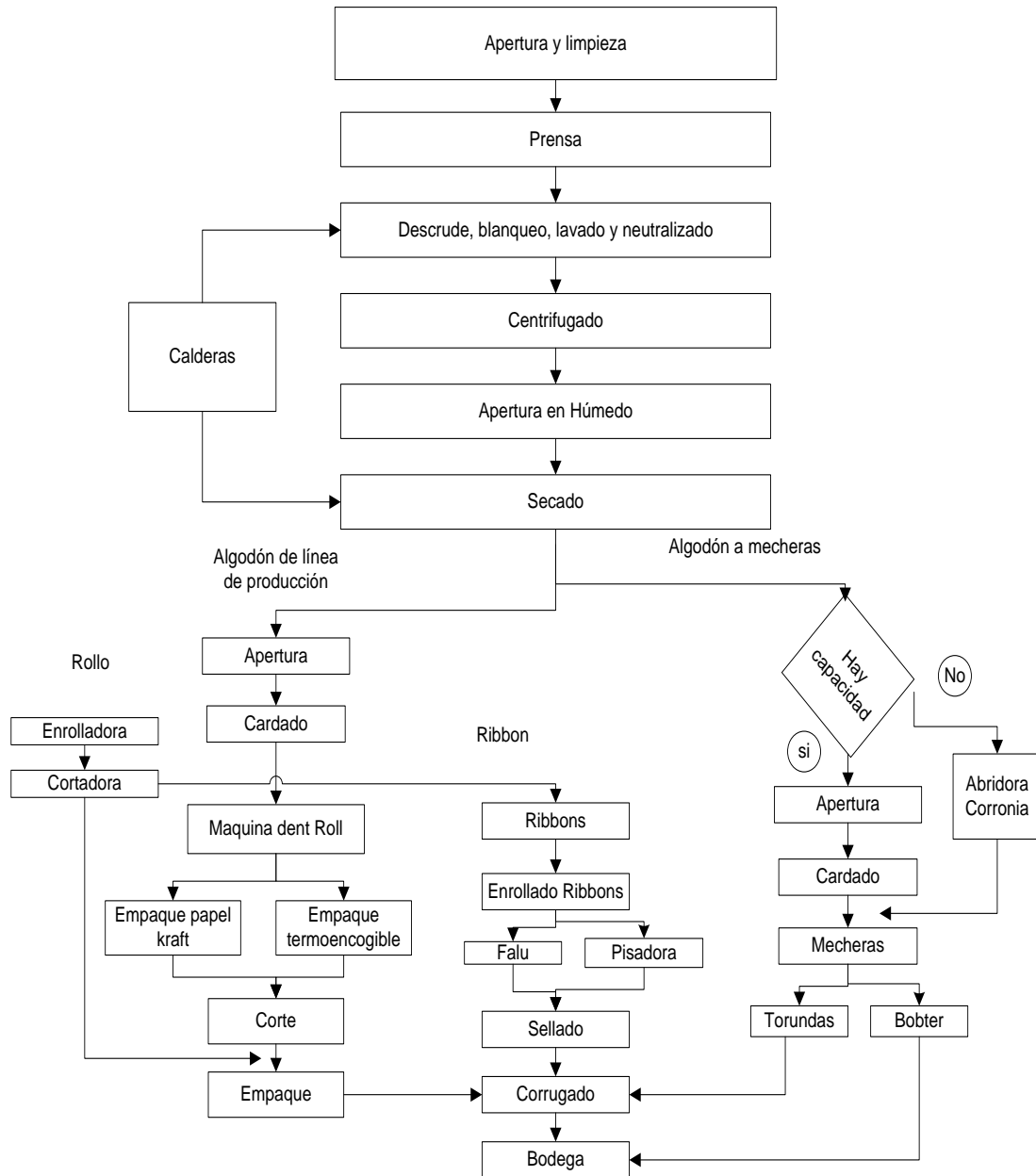
1.1. Antecedentes de la empresa

La empresa donde se realizó el proyecto es una empresa guatemalteca fundada hace 48 años, dedicada a la manufactura de algodón hidrófilo para uso médico, odontológico, cosmético y usos varios en el hogar, así como de vendas elásticas. Actualmente la empresa se encuentra en proceso de expansión, exportando desde hace muchos años a Centroamérica, incluyendo Belice, Panamá, Estados Unidos y Canadá.

La calidad de los productos que esta empresa fabrica, es el resultado de un estricto proceso de elaboración. Se selecciona la mejor materia prima e insumos para someterlos a procesos de limpieza y desinfección, obteniendo productos 100% absorbentes, naturales, desechables, higiénicos, suaves e hipoalergénicos. Para llevar a cabo la fabricación del algodón es necesario

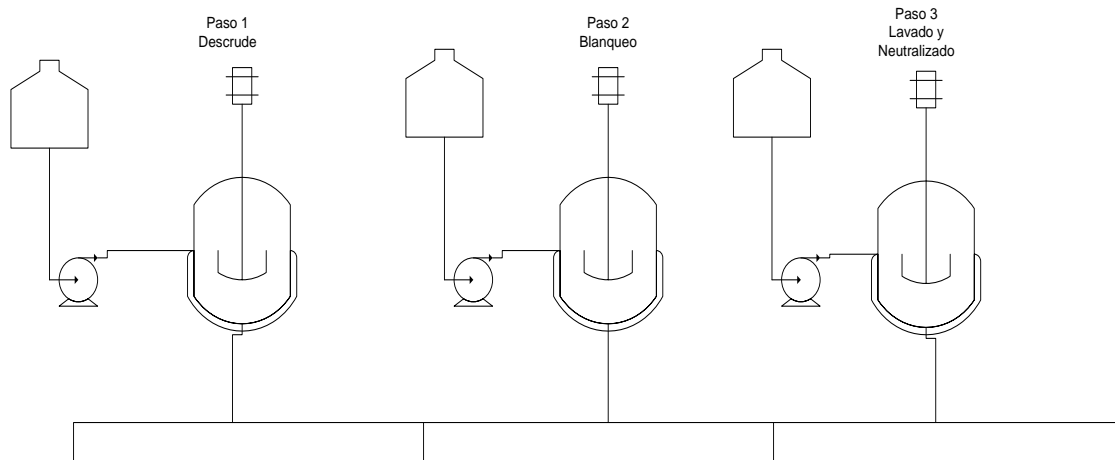
seguir una serie de pasos ordenados que se describen en el siguiente diagrama.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de fabricación del algodón



Fuente: archivos de la empresa.

Figura 2. Diagrama del proceso de descruce, blanqueo, lavado y neutralizado



Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Visio.

Figura 3. Significado de la simbología empleada en la figura No. 2

Simbología	Equipo
	Tanque de almacenamiento de agua
	Bomba
	Autoclave (superflux)
	Drenaje

Fuente: elaboración propia.

Durante el lavado del algodón se lleva a cabo el proceso denominado “proceso dental” o “proceso superflux”, el cual posee este nombre debido a que algunos pasos se llevan a cabo dentro de un autoclave llamado superflux.

1.2. Descripción del proceso de limpieza del algodón

A continuación se describen los diferentes pasos para el proceso de limpieza del algodón

Tabla I. Descripción del proceso de limpieza del algodón

Paso	Descripción	Cantidad	Temperatura
Descruide	Llenar el portamateriales, agregar los químicos, dejar circular por 5 minutos y agregar soda cáustica, elevar la temperatura a 95°C	Invadine SP 3.60 kg, Soda Caústica 70.0 kg, Eriopon R 4.0 kg y algodón 680 kg	Grad. máx
	Dejar circular por 60 minutos, bajar la temperatura y botar el baño hasta desocupar el agua de la tapadera de la superflux.	xxxxx	95°C / 90°C
Blanqueo	Agregar químicos: Eriopon y Clarite CBB, Dejar circular durante 5 minutos, Agregar soda cáustica y dejar circular 5 minutos, agregar peróxico y terminar de llenar con agua.	Clarite CBB 6.00 kg, peróxido de hidrógeno 50.00 kg, Eriopon R 3.00 kg, Invadine SP 3.00 kg, Soda cáustica 30.00 kg	Grad. máx
	Mantener la temperatura durante 60 min, bajar la temperatura y botar baño	xxxxx	95°C / 90°C

Continuación de la tabla I.

Lavado	Con agua y Eriopon R, mantener la temperatura durante 20 minutos y botar baño.	Eriopon R 1.50 kg	90°C
Neutralizado	Agregar Neutralit B hasta lograr un pH 7 y mantener la temperatura durante 10 minutos	Neutralit B 7.00 kg	70°C

Fuente: archivos de la empresa.

Tabla II. **Información detallada de cada uno de los pasos del proceso de lavado del algodón**

Paso	Finalidad	Descripción	Reactivos
Descrude	Se realiza con la finalidad de remover impurezas como aceites o ceras por medio de saponificación.	Agregar Soda Caústica y elevar temperatura a 95°C, también agregar Invadine SP y Eriopon R. Dejar por 60 minutos	Invadine SP- Agente Emulsificante y solvente que facilita humedecer el material textil Eriopon R - Provee un efecto ablandador durante el baño permitiendo así lavar en agua blanda.
Blanqueo	Se realiza con la finalidad de blanquear el algodón utilizando un agente oxidante.	Agregar Soda Caústica, Eriopon, Clarite e Invadine. Dejar a 95°C por 60 minutos	Clarite- Solución aclaradora, es una combinación de ácidos que permiten eliminar pigmentos.
Lavado y Neutralizado	Se utilizan detergentes e hidróxidos para perfeccionar la calidad del producto.	Agregar Eriopon y llevar la temperatura a 90°C y mantener por 20 minutos, luego agregar el Neutralit B hasta lograr pH 7 y mantener 70°C por 20 minutos.	Neutralit B - Indicador de pH

Fuente: elaboración propia.

Como está descrito en el diagrama anterior, la empresa utiliza grandes cantidades de agua para llevar a cabo el lavado del algodón antes de convertirlo en el producto final; se utilizan $3m^3$ de agua en cada uno de los pasos del lavado. El lavado empieza con el descruce y termina con el neutralizado.

En las etapas de lavado y neutralizado, la materia prima ingresa sin grasas, aceites, ceras y otras impurezas como hojas, ramas y tierra; esto provoca que el agua de residuo de estas dos etapas se encuentre en condiciones de reutilización, pues no contiene grandes cantidades de impurezas, ni una elevada alteración de pH, por lo que podría volver a ser reutilizada para la etapa del descruce con la finalidad de ahorrar agua y energía.

Debido a que el agua saliente del neutralizado se reutilizaría en el siguiente descruce y luego se desecharía puesto que cada paso del lavado del algodón se realiza por lote y no continuo, se dice que el ahorro de agua sería aproximadamente de $3m^3$ (capacidad de la superflux) por cada dos lavados.

El ahorro de $3m^3$ de agua por cada dos lavados y el ahorro energético, provocarán un beneficio económico a la empresa. Además de lo anterior, la empresa desea que las características del efluente final que va al alcantarillado se apeguen a las normas establecidas por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos". El reutilizar el agua del proceso reducirá el caudal del efluente por día además de la carga de contaminación que se produce diariamente, esto se verá reflejado en el efluente final que la empresa produce, contribuyendo así a cumplir con las normas establecidas en el acuerdo gubernativo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Algodón

El algodón es una fibra vegetal natural de gran importancia económica como materia prima para la fabricación de tejidos y algodón hidrófilo para uso médico, odontológico y cosmético.

La resistencia, la absorbencia y la facilidad con que se lava y se tiñe contribuyen a que el algodón se preste a la elaboración de géneros textiles muy variados, además de ser muy cotizado como un material hidrófilo.

Algodón Superior cita que: “producen el algodón una serie de árboles y arbustos pequeños de un género encuadrado en la familia de las malváceas, a la que pertenecen también las plantas hibiscus. El capullo se transforma al desarrollarse en una bola oval que, cuando madura, se abre y descubre gran número de semillas de color café o negras, cubiertas de una masa de pelos blancos. Cuando maduran por completo y se secan, cada uno de estos pelos es una célula, aplanada, con un acusado retorcimiento en espiral y unida a una semilla. Estas células se procesan para obtener el algodón que luego es comercializado”.

Red Naturaleza señala que: “los filamentos de las semillas de algodonoero están constituidos casi exclusivamente por celulosa (aproximadamente en un 95%), con una pequeña capa de grasas y ceras, junto con ácidos grasos como el palmítico, esteárico y pectínico.

En las semillas se encuentra una cantidad importante de aceite y otros compuestos de menor interés. Las fibras del algodón, convenientemente preparadas -esto es, limpias y desengrasadas-, tienen la virtud de absorber rápidamente grandes cantidades de agua. Por esto se le llama algodón hidrófilo, se considera que absorbe 25 veces su peso en agua.

Esta fibra se utiliza mucho como material de cura, hasta el punto de haber sustituido a otros tejidos usados en otros tiempos. Hoy en día se puede encontrar algodón en cualquier botiquín casero, para curar cualquier pequeña herida. En hospitales también se usa mucho como material de cirugía.

2.1.1. Producción de algodón hidrófilo

Las plantas de procesamiento y manufactura de algodón hidrófilo, emplean una gran cantidad de agua para limpiar el algodón crudo y retirar las impurezas que la materia prima pueda contener para luego convertirlo en el algodón comercial.

En la manufactura de algodón se lleva a cabo una serie de pasos que constituyen el proceso de elaboración de algodón comercial; estos pasos conllevan un tratamiento fisicoquímico que ayuda a obtener un producto final de calidad.

Los pasos que se llevan a cabo son:

- Descrude
- Blanqueo
- Lavado
- Neutralizado

De acuerdo con Aldo Hugo Figueroa (2004), “el descruce remueve impurezas naturales adheridas a las fibras y a la tela para acondicionarla, para las posteriores etapas de blanqueo o tintura; este proceso elimina aceites, ceras y otras impurezas. Esto se logra generalmente mediante la emulsificación de los aceites sintéticos y ceras o mediante la saponificación de las impurezas de origen natural (triglicéridos). En los procesos típicos, los residuos del descruce contribuyen en gran medida, pero en menos del 50%, a las cargas de DBO en las corrientes residuales provenientes de los procesos de preparación”.

Los materiales anteriormente mencionados tienen de por sí una DBO significativa y los emulsificadores empleados para eliminarlos y suspenderlos en la preparación también contribuyen a los niveles de DBO.

Los ácidos grasos y/o sus sales se emplean algunas veces como agentes de descruce en un medio alcalino, producto saponificable de origen natural. La DBO típica de estos es mayor de 1 millón de ppm. Los detergentes sintéticos tienen una DBO más baja.

Sin embargo, el uso de productos que de por sí tienen una DBO más baja, no es siempre deseable. Por ejemplo, se sabe que los etioxilatos de alcohol ramificados son menos degradables, por lo tanto, tienen una DBO de 5 días menos que la de los etioxilatos de alcohol.

En un sistema típico de tratamiento de residuos compuestos de lodos activados; por lo tanto, el índice de degradación de estos materiales ramificados no es igual al de sus contrapartes; no obstante, el tratamiento, gran parte de estos incrementarán en consecuencia la toxicidad del efluente tratado.

Según Cotton Incorporated (2011), “las dos técnicas de descruce y blanqueo comercial son en autoclave. Ambos procesos logran los mismos resultados por las mismas interacciones químicas, pero con un manejo mecánico diferente”.

Cotton Incorporated (2011), señala que, “el descruce se logra mediante la saturación de la fibra de algodón con una solución de sosa cáustica (hidróxido sódico). Se permite que la solución alcalina permanezca en la fibra a temperaturas elevadas para acelerar las reacciones químicas. Durante este tiempo, se saponifican los aceites y ceras naturales (se convierten en jabones), se suaviza el material vegetal, se suspenden las pectinas y otros materiales no celulósicos, para que puedan lavar.

Después de un tiempo predeterminado para permitir un descruce completo, se enjuagan con agua las ceras alcalinas y saponificadas y los materiales suspendidos”. En este momento, se aplica la solución blanqueadora a la fibra.

Se usa un agente oxidante estabilizado, peróxido de hidrógeno o hipoclorito de sodio en el licor de blanqueo, para blanquear la fibra mediante la destrucción de la materia colorante natural.

En Estados Unidos, el peróxido de hidrógeno es el agente que más se usa en el blanqueo de algodón crudo en forma de fibra. La solución de blanqueo permanece en la fibra a temperaturas elevadas durante un período fijo de tiempo para lograr la remoción adecuada de los cuerpos de color. Después, se enjuaga la solución blanqueadora. El algodón blanqueado con peróxido de hidrógeno no contiene dioxinas, porque no hay lignina y cloro.

La DBO derivada de las operaciones de blanqueo no constituye un factor crítico en la producción global de DBO. Sin embargo, algunas veces se usan agentes humedecedores y otros auxiliares que pueden contribuir a la carga de DBO y a la toxicidad. Asimismo, algunas plantas emplean un procedimiento modificado en el que pueden combinarse el descruce y blanqueo. Así, el impacto global del control del proceso y reducción en la fuente en el blanqueo es localizado.

La DBO producida por el neutralizado es relativamente baja en comparación con la DBO producida por el descruce, ya que en estos pasos se utiliza un estabilizador de pH, con la finalidad de realizar un último lavado para perfeccionar la calidad del producto terminado.

2.2. El valor del agua

De acuerdo con Danilo Antón (2000), el agua es el principal recurso natural. De ella dependen todos los procesos biológicos, e incluso el ADN, la molécula de la vida, está constituida estructuralmente por varias capas polares de moléculas de agua.

El cuerpo de las personas está formado en un 70 % de agua y de una manera u otra, todas las actividades humanas requieren de la presencia del vital líquido. La cantidad de agua que existe en la Tierra se mantiene relativamente estable. Tanto las pérdidas al espacio como la llegada de moléculas de agua (o de sus átomos constituyentes: hidrógeno y oxígeno) son insignificantes. El volumen de agua del planeta es enorme: 1.500 millones de kilómetros cúbicos. Aun si se deja de lado el agua salada y se considera solamente el agua «dulce», el volumen total sería cien billones de metros cúbicos.

Si esta cantidad fuera distribuida entre todos los habitantes del planeta, a cada uno le corresponderían 18.000 metros cúbicos, o sea, 18 millones de litros por persona. A ello hay que agregar los acuíferos de agua dulce, que son 30 veces más abundantes que los anteriores. Si incluyéramos las aguas subterráneas en la distribución antedicha, el total per cápita ascendería a 600.000 m^3 (600 millones de litros).

En términos abstractos, este volumen parece ser más que suficiente para satisfacer todas las necesidades humanas actuales y del futuro cercano.

En los hechos, las cantidades disponibles son mucho menores, pues en ellas no se puede tener en cuenta toda el agua almacenada, dado que su utilización actual indiscriminada limitaría su uso futuro. Desde el punto de vista ambiental, el agua disponible es tan solo el agua renovable. Por otra parte, hay que considerar que gran parte del agua renovable no es fácilmente accesible. Y finalmente, debido a que, aun las aguas dulces, renovables y accesibles, no suelen estar situadas en los lugares en donde más se las necesita.

El problema principal que los seres humanos están experimentando con el agua es sobre todo de calidad y en mucho menor grado de cantidad. La cuestión consiste en que el reciclado natural producido por la energía solar (evaporación, fotosíntesis) no alcanza para purificar todas las aguas residuales que se producen continuamente en todo el planeta. Las sociedades contemporáneas están convirtiendo el mundo de aguas naturales en un mundo de aguas residuales. Se está asistiendo a un enorme proceso entrópico acelerado que conduce, en el corto plazo, a la disminución de las aguas de buena calidad, aptas para diferentes usos, que son substituidas por aguas de baja calidad, que requieren insumos energéticos para ser utilizadas.

Como la energía solar que cae sobre la superficie de la Tierra, es limitada e insuficiente para lograr el reciclado general de las aguas residuales, se utilizan los combustibles fósiles para elevarlas a niveles aceptables (tratamiento).

Esto conduce directa y lógicamente al tema del valor del agua. En general, lo que le da valor al agua no es tanto la cantidad, sino sobre todo la calidad. Las aguas de ciertas calidades (por ejemplo tóxicas) pueden tener valor negativo, pues exigen grandes cantidades de energía para ser eliminadas o tratadas para su ulterior utilización, mientras que otras aguas que no requieren ningún tratamiento pueden tener gran valor. En otras palabras, lo que le da valor al agua es sobre todo la «calidad en cantidad», y más precisamente, los volúmenes de una cierta calidad.

2.3. Valor económico del agua

El valor económico del agua potable en Guatemala se rige por Empagua (Empresa Municipal del Agua), el valor del agua depende del consumo de la misma. Empagua ha establecido cinco rangos de consumo: el primero, de 1 a 20 metros cúbicos; el segundo: de 21 a 40 metros cúbicos; el tercero de 41 a 60 metros cúbicos; el cuarto de 61,120 metros cúbicos; el quinto, de 121 metros cúbicos en adelante.

Los consumidores situados en un rango bajo tienen un costo bajo, en tanto que quienes se sitúan en un rango alto tienen un costo alto. Entre más alto es el rango, mayor es el precio del agua, pues el valor del metro cúbico es más alto.

Los usuarios situados en el primer rango (consumo de 1 a 20 metros cúbicos de agua) tienen un costo de Q 1.12 por metro cúbico. En cambio, los usuarios situados en el quinto rango (mayor de 121 metros cúbicos) tienen un costo de Q 5.60 por metro cúbico.

De lo anterior se deduce que entre menos agua se consume, más bajo es el precio del metro cúbico de agua y que entre más agua se consume, más alto es el precio del metro cúbico de agua. También se deduce que las personas que son más cuidadosas en el uso del agua tienen un costo más bajo y que los usuarios que desperdician el agua tienen un costo más alto.

El valor total que el consumidor paga por el agua tiene, además del componente variable determinado por el rango de consumo, otros dos componentes: el valor del alcantarillado, y el costo fijo.

El valor del alcantarillado es un valor proporcional del 20 % sobre el costo del agua (según el rango) y el costo fijo, que es siempre y en cualquier caso de Q 16. Esto explica por qué, aunque no se consuma agua, siempre hay un costo.

Con la finalidad de que los usuarios se informen acerca del valor del agua y en qué rango de consumo están catalogados.

Empagua ha publicado una tabla, que permite conocer ese rango y el precio que corresponde a ese rango. La tabla se presenta a continuación.

Tabla III. **Precio del servicio de agua por rangos de consumo**

Rango de consumo por metro cúbico	Precio del metro cúbico (no incluye IVA)	(+) Alcantarillado sobre total de consumo	(+) Cargo fijo (no incluye IVA)
1 a 20	Q 1.12	20%	Q 16.00
21 a 40	Q 1.76	20%	Q 16.00
41 a 60	Q 2.24	20%	Q 16.00
61 a 120	Q 4.48	20%	Q 16.00
121 a más	Q 5.60	20%	Q 16.00

Fuente: Empagua.

2.4. Efluentes

La revista Salud, seguridad y medio ambiente en la Industria (2011), señala que “los efluentes líquidos son residuos líquidos o residuos líquidos mezclados con sólidos.

Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, más las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que pudieran agregarse”.

Una de las causas de la contaminación ambiental es el problema de los efluentes industriales y cloacales. La denominación de efluentes industriales se aplica a un conjunto muy variado de residuos que se obtienen como consecuencia de la actividad industrial.

Aunque la diferencia entre las aguas cloacales y los efluentes líquidos de la industria es grande, el enfoque del problema es similar, ya que es necesario en ambos casos reducir a límites bien determinados el contenido de materia orgánica de los mismos, antes de que esos líquidos puedan ser arrojados a una corriente de agua.

Las aguas cloacales o efluentes domiciliarios están constituidos por una mezcla muy variada de sustancias y de microorganismos. Los efluentes domiciliarios pueden dividirse en dos:

- Aguas servidas: se le llama aguas servidas a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- Aguas grises: se le llama así a las aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.

La diferencia entre los efluentes industriales y las aguas cloacales, es que las aguas industriales generalmente contienen muy pocos microorganismos y un número limitado de sustratos o a veces uno solo.

El poder contaminante entre un efluente industrial y una agua cloacal, puede medirse en términos de demanda de oxígeno biológica (DBO) o química (DQO).

Virtualmente, toda el agua residual se produce en la etapa final del lavado del algodón, eliminándose pequeñas cantidades durante las operaciones de descruce o de tratamiento de la hebra en la etapa de producción de esta. A lo largo de toda la industria textil, el agua residual varía en cuanto a su cantidad y composición.

2.5. Prevención de la contaminación

Debido a que los efluentes son una consecuencia de la urbanización y el desarrollo industrial debe formarse un criterio de mejora en las empresas para lograr la disminución de contaminación, lo cual puede lograrse mediante:

- Modificación de operaciones y procesos en las plantas industriales, compatibles con la producción y calidad de los productos a obtener, con el objeto de disminuir o minimizar los volúmenes de los efluentes o la concentración de materia orgánica en las descargas.
- Tratamiento de los efluentes por métodos físicos, químicos y biológicos, con el fin de reducir la DBO de los mismos hasta los límites fijados por las reglamentaciones vigentes.
- Aprovechamiento integral o parcial de los efluentes para recuperar productos valiosos, que ofrezcan alguna rentabilidad interesante. En la mayor parte de industrias, la primera solución no corresponde por lo general al campo de la microbiología industrial, pues el cambio en un paso del proceso puede desencadenar cambios bruscos y hasta la contaminación de toda la línea de producción.

El aprovechamiento integral o parcial de los efluentes es una de las mejores opciones para la prevención y disminución de contaminación dentro de las industrias. Esto brinda un ahorro del recurso vital: el agua. En la actualidad es una preocupación constante este recurso, cada vez es más caro llevarlo a los centros de población, cada vez se encuentra más contaminada por las acciones de los seres humanos. Debido un poco a la ignorancia y otro al desinterés. Pero lo cierto es que del total del agua que tenemos en nuestro planeta, solo un 2% es agua potable, si solo eso, que equivale aproximadamente una gota en un litro, para tener una idea.

El aprovechamiento de los efluentes es también una herramienta de ahorro económico, el aprovechar el agua implica un gasto menor, pues se utilizará menos recurso. Si el agua de un paso de un proceso es aprovechada para un paso distinto en el mismo proceso puede llegar a obtenerse un ahorro económico en la utilización de ciertos productos químicos ya que si en ambos pasos del proceso se utilizan los mismos productos químicos, el producto ya no se utilizará en las mismas dosis, pues ya se encuentra presente en el agua.

3. METODOLOGÍA

3.1. Definición operacional de las variables

En la definición operacional de las variables se va a tomar en cuenta cuál es la carga volumétrica y los factores potenciales y perturbadores.

Tabla IV. Definición operacional de las variables involucradas en el análisis del contenido y volumen del agua que se desea reusar

No.	Variable	Fórmula química o simbología	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlable	No controlable
1	Carga volumétrica	V		x	X	
2	Hidróxidos	NaOH		x	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Definición de variables involucradas en el estudio de compatibilidad del agua a reusar (último lavado del algodón) con el agua a donde será destinada (primer lavado del algodón)**

No.	Variable	Fórmula química o simbología	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlables	No controlables
1	Carga volumétrica	V		x	x	
2	Hidróxidos	NaOH		x	x	
3	Temperatura del proceso	°C		x	x	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Variables involucradas en el análisis del proceso de reutilización del agua**

No.	Variable	Condición
1	Carga volumétrica	Cálculo del caudal saliente del último lavado del algodón
2	Dimensión del tanque	Tamaño del tanque en función del caudal producido por lote
3	Material del tanque	Material resistente a la carga hidráulica y química

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Variables involucradas en la determinación del ahorro de agua por lote producido**

No.	Variable	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
		Constante	Variable	Controlable	No controlable
1	Cantidad de materia prima introducida, de acuerdo a la capacidad del tanque	x		x	
2	Carga Volumétrica producido en el último lavado del algodón		x		x

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Variables involucradas en el análisis de la reducción de contaminación en el efluente final y propuesta de tratamiento del mismo, con base en los parámetros que la ley exige**

No.	Variable	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
		Constante	Variable	Controlable	No controlable
1	Carga volumétrica		x		x
2	Temperatura		x		x
3	pH		x		x

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Variables

- Variables dependientes
 - pH
 - Color
 - Temperatura
 - Carga química

- Variable independiente
 - Caudal proveniente del último lavado

- Variable respuesta
 - Caudal del efluente

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Industria: productora de algodón
- Proceso: manufactura de algodón para uso doméstico y médico
- Etapa del proceso: lavado y neutralizado del algodón

3.2.1. Alcances

Esta investigación sólo tomará en cuenta el estudio y análisis de la información referente al problema de la metodología de la reutilización del agua de proceso proveniente del último lavado, hacia el lavado preliminar del

algodón, tomando en consideración aquellas variables que afecten el rendimiento del agua del proceso.

3.2.2. Limitaciones

- Los sistemas de aguas de proceso que usan bombas requieren de mantenimiento frecuente. Las bombas de estos sistemas son grandes consumidores de energía, requieren filtros y limpieza constante.
- El agua de proceso generalmente contiene sustancias químicas, por lo que no debe almacenarse por mucho tiempo, de lo contrario, desarrolla niveles bacterianos y químicos que pueden llegar a ser desfavorables

3.3. Recurso humano disponible

- Investigador: Karina Alejandra Paredes Cordero
- Asesor: Ing. Qco. Renato Ponciano
- Colaborador: Ing. Qco. Andrés Chicol
- Colaborador: encargado del área de trabajo/ Sr. Marco Antonio Pérez

Para verificar la compatibilidad del agua saliente del último lavado (lavado y neutralizado) con el agua necesaria para el primer lavado (descrude) fue necesario realizar un análisis de los parámetros fisicoquímicos de las mismas.

El contenido que se verificará es:

- Concentración de hidróxido de sodio (NaOH) (mg/L)
- Potencial de Hidrógeno (pH)
- Temperatura (°C)
- Carga volumétrica que se maneja en ambos lavados

Para realizar el análisis de las propiedades anteriores, es necesaria la toma de muestras del agua a evaluar. Para obtener los resultados se tomará una serie de muestras compuestas, en distintos días y momentos, para obtener un valor cercano a la realidad, de la variable que se desee evaluar.

El valor de cualquier resultado que se obtenga después de un análisis, depende de la integridad de la muestra; es decir, la manera o forma en que se ha realizado la toma de la muestra respectiva, la cual debe ser representativa a las condiciones del momento.

El propósito es recoger una porción de las aguas de proceso de volumen adecuado, para ser manejada convenientemente en el laboratorio. Debe de realizarse de tal forma que no se agregue, ni se pierda nada en la porción tomada y que no se produzca ningún cambio durante el tiempo que transcurra desde la recolección hasta el examen en el laboratorio, evitando además su contaminación. En caso de no cumplir estas condiciones, los resultados obtenidos serán engañosos y de peores consecuencias que la falta de ellos.

Por lo anterior, para verificar los parámetros de potencial de Hidrógeno y temperatura, es necesario tomar muestras y evaluar *in situ* (en el sitio); esto se realiza con la finalidad de evitar alteraciones, pues estos parámetros son altamente influenciados por las condiciones climáticas.

Para obtener el valor de la temperatura y el pH del agua del primer y último lavado, se tomará una muestra por la tarde, dos veces por semana durante tres semanas consecutivas. Cada muestra se tomará utilizando un recipiente plástico completamente limpio y se evaluará cada parámetro en el momento de la toma, utilizando un termómetro para obtener la temperatura y un potenciómetro para obtener el valor del pH.

Figura 4. **Autoclave donde se lleva a cabo el lavado del algodón**



Fuente: empresa de manufactura de algodón.

Figura 5. **Sistema de pilas por rebalse donde desemboca el efluente de cada uno de los pasos del lavado del algodón**



Fuente: empresa de manufactura de algodón.

Figura 6. **Efluente final que va al alcantarillado, combinado de todas las pilas por rebalse**



Fuente: empresa de manufactura de algodón.

Tabla IX. **Toma de datos para los parámetros temperatura y potencial de hidrógeno**

Semana	Día	Temperatura (°C)	pH
1	1. Martes		
	2. Jueves		
2	1. Martes		
	2. Jueves		
3	1. Martes		
	2. Jueves		

Fuente: elaboración propia.

Para obtener el caudal se utilizó un caudalímetro electromagnético de acero inoxidable y electrodos de titanio, adaptado a las tuberías de salida. Este medidor es propiedad de la institución, por lo que la medición de este parámetro también se realizó *in situ*.

Tabla X. **Toma de datos para obtener el caudal de agua saliente del primer y último lavado del algodón**

Semana	Día	Carga volumétrica (m ³)
1	1. Martes	
	2. Jueves	
2	1. Martes	
	2. Jueves	
3	1. Martes	
	2. Jueves	

Fuente: elaboración propia.

La concentración de hidróxido de sodio (NaOH), se obtendrá por medio de la toma de muestras con la misma frecuencia que los parámetros anteriores, a diferencia que estas muestras se enviarán a un laboratorio pues no es necesario realizar en análisis *in situ* ya que este parámetro no es tan susceptible como la temperatura y potencial de hidrógeno.

Tabla XI. **Tabla de toma de datos para la obtención de la concentración de hidróxido de sodio en el agua saliente del primer y último lavado del algodón**

Semana	Día	Temperatura (°C)	[NaOH] (mg/L)
1	1. Martes		
	2. Jueves		
2	1. Martes		
	2. Jueves		
3	1. Martes		
	2. Jueves		

Fuente: elaboración propia.

Al obtener los resultados de cada parámetro durante las tres semanas, se realizará un promedio del conjunto de valores para cada variable, con la finalidad de obtener un dato cercano al real. Estos datos se validarán estadísticamente utilizando la desviación estándar.

$$\bar{\mu} = \frac{x_i}{N} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

μ = promedio

x_i = valor de la variable para una corrida específica

N = número total de corridas realizadas

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

σ = desviación estándar

Al haber obtenido el valor de las variables en el último lavado (temperatura, potencial de Hidrógeno, carga volumétrica y concentración de hidróxido de sodio), se procederá a comparar estos valores con los valores de las mismas variables presentes y necesarias en el agua que ingresa al primer lavado del algodón (descruce), según el procedimiento establecido por la empresa.

Si el valor de las variables en el agua de salida del primer lavado son menores que el valor de las variables de entrada del último lavado, el agua podrá ser reutilizada. Si ocurre lo contrario, el agua tendrá que ser sometida a una dilución con agua fresca y/o enfriamiento para poder ser reutilizada. En caso que el agua pueda ser reutilizada, será necesario un análisis de todas las variables que afecten el proceso de reutilización como:

- Tuberías
- Bomba
- Tanque de almacenamiento de agua

En cuanto al tanque de almacenamiento es necesario que se construya utilizando un material que soporte la temperatura a la que el agua circulará.

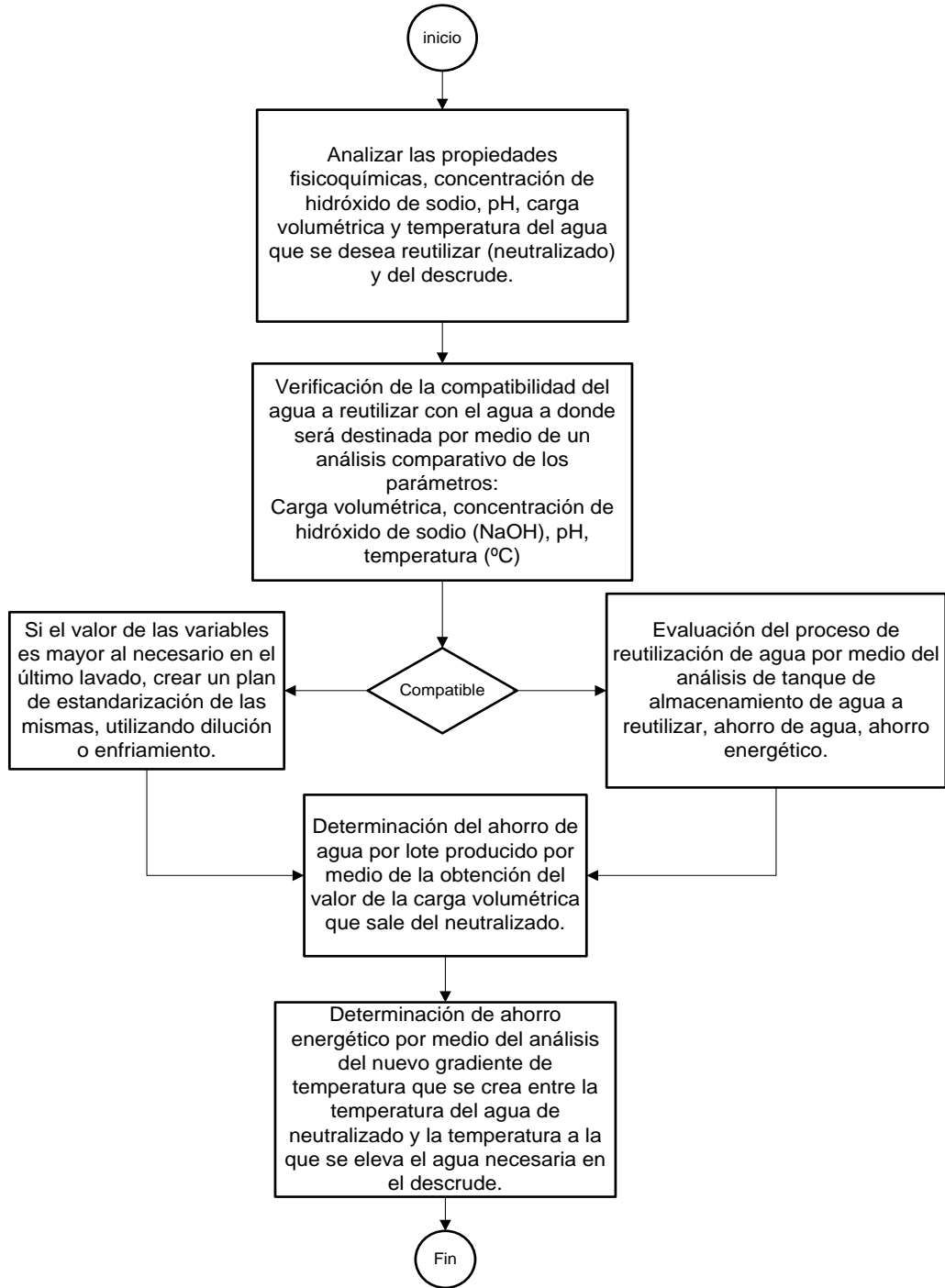
Al verificar que exista la posibilidad de retornar el agua de proceso se procederá a obtener el ahorro que el retorno producirá.

Se observará un ahorro en el agua pues no será necesario agregar agua fresca en el momento del descrude, ya que se reutilizará el agua proveniente del Neutralizado.

Este ahorro y reutilización se reflejará en el efluente de salida de la empresa, pues se recuperará el equivalente al agua de un Neutralizado en cada dos lavados, lo cual disminuirá la cantidad de agua que se tira, así como la carga química.

Las características del efluente final serán relacionadas con el ahorro de agua y energía.

Figura 7. Diagrama general de la metodología



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio.

4. DATOS OBTENIDOS EN LA TOMA DE MUESTRAS

4.1. Análisis del agua de descruce

A continuación se presentan las temperaturas y el potencial de hidrógeno obtenidos durante 3 semanas, en la etapa de descruce.

Tabla XII. **Temperatura (°C) y pH obtenidas en muestras de agua de la etapa de descruce en el proceso de lavado del algodón**

Día	Temperatura (°C)	pH
1. Martes	67.6	9,75
2. Jueves	53.8	9,92
1. Martes	54.3	9,88
2. Jueves	63.54	9,8
1. Martes	60.48	9,3
2. Jueves	61.73	9,5
Promedio	60.24	9,69
Desviación estándar	5.37	0,24

Fuente: elaboración propia.

4.2. Análisis del agua de neutralizado

El análisis del agua de neutralizado se efectuó durante tres semanas. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XIII. **Temperatura (°C) y pH obtenidas en muestras de agua de la etapa de neutralizado en el proceso de lavado del algodón**

Neutralizado		
Día	Temperatura (°C)	pH
1. Martes	39.2	6,97
2. Jueves	40.2	6,4
1. Martes	45	6,2
2. Jueves	39.58	6,75
1. Martes	42.35	6,28
2. Jueves	42.1	6,5
Promedio	41.41	6,52
Desviación estándar	2.19	0,29

Fuente: elaboración propia.

4.3. Capacidad del autoclave donde se realiza cada uno de los pasos del lavado del algodón

La capacidad se presenta en metros cúbicos. Se analizaron seis muestras, durante tres semanas.

Tabla XIV. **Carga volumétrica (m³) dentro del autoclave correspondiente a cada etapa del lavado del algodón**

Carga volumétrica dentro del autoclave		
Semana	Muestra No.	Carga volumétrica (m ³)
1	1	3
	2	3
2	3	3
	4	3
3	5	3
	6	3

Fuente: elaboración propia.

5. MUESTRA DE CÁLCULO

5.1. Concentración de hidróxido de sodio en el agua de descruce y neutralizado

Para calcular la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) fue necesario llevar a cabo una titulación ácido-base. La titulación fue una alcalimetría pues el analito es la muestra de agua de descruce, cuyo contenido de hidróxido de sodio es desconocido y el titulante ácido clorhídrico (HCl) 0.1 molar. Para ubicar el punto de equivalencia de la titulación se utilizó un indicador de color llamado fenolftaleína, el cual permanece rosa en soluciones alcalinas e incoloras en soluciones ácidas. A continuación se presenta una tabla de volúmenes de ácido necesarios para llegar al viraje de la fenolftaleína, al momento de titular la muestra de agua de descruce.

Tabla XV. **Volumen de HCl necesario para encontrar la concentración de hidróxido de sodio**

Muestra	Volumen de HCl (mL)
1	60
2	66
3	66
4	76
5	64
6	66

Fuente: elaboración propia.

Los volúmenes anteriores se utilizaron en la igualdad del punto de equivalencia, para encontrar la concentración de hidróxido de sodio.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

C_1 = Concentración molar desconocida

V_1 = Volumen de analito (mL)

C_2 = Concentración molar de titulante

V_2 = Gasto de titulante (mL)

Tomando 20 mL de muestra se obtuvo:

$$C_1*(20\text{mL}) = 0.1\text{M}*(66\text{mL})$$

$$C_1 = 0.33 \text{ M}$$

Nota: de esta manera se obtuvo la concentración de hidróxido de sodio para cada una de las muestras.

5.2. Ahorro energético que el retorno de agua produciría

A continuación se presentan las fórmulas para determinar el ahorro energético que puede producir el retorno del agua.

5.2.1. Ahorro de energía

$$E = E_k + E_p + E_u \quad (\text{Ec.4})$$

$$E = E_u \quad (\text{Ec.5})$$

$$E_u = \int C_p dT \quad (\text{Ec.6})$$

Polinomio de Cp para agua líquida obtenido de (J.M Smith, H.C. Van Ness), página 685.

Energía necesaria para elevar la temperatura de 25°C (298.15K) a 90 °C (363.15K).

$$E = \int_{298.15K}^{363.15K} ((8.712 + 1.25 \times 10^{-3} T - 0.18 \times 10^{-6} T^2) R \left[\frac{J}{Kmol} \right])$$

$$E = 4920.74 \frac{J}{mol}$$

Donde:

R= constante de los gases ideales (8.314 $[\frac{J}{Kmol}]$)

T= Temperatura (°K)

Energía necesaria para elevar la temperatura de 41.41°C (314.56K) A 90°C (363.15K).

$$E = \int_{314.56K}^{363.15K} ((8.712 + 1.25 \times 10^{-3} T - 0.18 \times 10^{-6} T^2) R \left[\frac{J}{Kmol} \right])$$

$$E = 3682.2 \frac{J}{mol}$$

$$E = (4920.74 - 3682.2) = 1238.54 \frac{J}{mol}$$

$$E = 1238.54 \frac{J}{\text{mol H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18 \text{ g H}_2\text{O}} * \frac{1 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ cc}} * \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^3 = 6.88078 * 10^7 \frac{J}{\text{m}^3_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$E = 6.88078 * 10^7 \frac{J}{\text{m}^3_{\text{H}_2\text{O}}} * 0.355 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 24,446.76 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Donde:

$0.355 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ ($355.14 \frac{\text{litros}}{\text{hora}}$), es la medida del caudal saliente del autoclave.

5.2.2. Ahorro de combustible

El lavado del algodón se lleva a cabo en autoclave, este autoclave es calentado con vapor proveniente de la caldera. Si se supone que el condensado es equivalente al vapor provisto, se ve que el tanque de condensados alberga 2 m^3 de agua condensada saliente del secador y del autoclave (procesos que utilizan vapor).

Se supone por una relación de necesidad de vapor que el autoclave es responsable por 0.75 m^3 del condensado total. Esta suposición fue obtenida por el encargado de la planta, pues no existe una línea de vapor separada para el autoclave y el secador o un medidor que indique cuánto condensado sale de cada proceso (autoclave y secador).

Para obtener los 2 m^3 de condensado se utilizan 70 galones de combustible (diesel) en la caldera que produce el vapor que luego se condensa. Por lo anterior, si el autoclave produce un condensado de aproximadamente 0.75 m^3 , por una regla de 3 se obtiene que se utilizarán 26.25 (para los 3 lavados del algodón) galones de diesel para producirlo.

Debido a que se ahorrará solamente un paso del lavado del algodón, donde se utilizará un tercio del combustible requerido para el autoclave; se dice que 8.75 galones de combustible diesel serán destinados al neutralizado.

El ahorro energético que se producirá al reutilizar el agua de neutralizado en el descrude se reflejará en combustible, pues como se indica en el párrafo anterior, el agua del autoclave es calentada con vapor de caldera donde se quema diesel para producir energía. El ahorro que se producirá por elevar la temperatura de descrude de 41.41°C a 90°C en lugar de 25°C a 90°C es de $24,446.76 \frac{kJ}{h}$. Con la eficiencia de la caldera se obtendrá este ahorro en galones de diesel.

$$\epsilon = \frac{\text{calor absorbido por vapor}}{\text{calor generado por combustible}} = \frac{\text{energía ahorrada } (\frac{kJ}{h})}{mcp_{\text{combustible}}} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

ϵ = Eficiencia de caldera (82% valor típico)

m = Flujo másico de combustible (kg/h)

$cp_{\text{combustible}}$ = Capacidad calorífica del diesel (44,798.8kJ/ kg)

Despejando m de la ecuación 3 se obtiene:

$$m = \frac{\text{energía ahorrada } (\frac{kJ}{h})}{\epsilon cp_{\text{combustible}}}$$

$$m = \frac{24,446.76 \frac{kJ}{h}}{0.82(44,798.8 \frac{kJ}{kg})}$$

$$m = 0.6654 \frac{kg_{\text{Diesel}}}{h}$$

6. RESULTADOS

6.1. Hidróxido de sodio presente en el agua de descruce y neutralizado

El hidróxido presente en el agua de descruce fue analizado en 6 muestras, durante tres semanas. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla XVI. **Concentración molar de hidróxido de sodio (NaOH) presente en el agua de descruce**

Descruce		
Semana	Muestra No.	[NaOH] (mol/L)
1	1	0,3
	2	0,33
2	3	0,33
	4	0,38
3	5	0,32
	6	0,33

Fuente: datos obtenidos en la toma de la muestra.

Nota: las muestras de agua de neutralizado no presentan evidencia de contener hidróxido de sodio.

6.2. Temperatura (°C) y pH obtenidos en muestras de agua de la etapa de descruce en el proceso de lavado del algodón

Se efectuó el análisis de temperatura en grados centígrados y pH en la etapa de descruce, durante 3 semanas. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla XVII. **Temperatura y pH en la etapa de descruce**

Día	Temperatura (°C)	pH
1. Martes	67.6	9,75
2. Jueves	53.8	9,92
1. Martes	54.3	9,88
2. Jueves	63.54	9,8
1. Martes	60.48	9,3
2. Jueves	61.73	9,5
Promedio	60.24	9,69
Desviación estándar	5.37	0,24

Fuente: datos obtenidos en la toma de la muestra.

6.3. Temperatura (°C) y pH obtenidas en muestras de agua de la etapa de neutralizado en el proceso de lavado del algodón

Los datos de la etapa de neutralizado en el proceso de lavado de algodón, se presentan en la tabla siguiente.

Tabla XVIII. **Temperatura y pH en la etapa de neutralizado**

Neutralizado		
Día	Temperatura (°c)	pH
1. Martes	39.2	6,97
2. Jueves	40.2	6,4
1. Martes	45	6,2
2. Jueves	39.58	6,75
1. Martes	42.35	6,28
2. Jueves	42.1	6,5
Promedio	41.41	6,52
Desviación estándar	2.19	0,29

Fuente: datos obtenidos en la toma de la muestra.

6.4. Ahorros producidos por la reutilización del agua de neutralizado

El reutilizar el agua del neutralizado, producirá un ahorro de agua así como también un ahorro energético puesto que la temperatura del agua de neutralizado es favorable para el descrude.

6.4.1. Ahorro de energía

De la muestra de cálculo se puede observar que el ahorro de energía es provocado por la temperatura a la que sale el agua de neutralizado. Debido a que el agua de este lavado sale a aproximadamente 42°C, se utilizará menos energía para elevarla a los 90°C necesarios en el descrude, a diferencia de utilizar agua fresca a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C).

$$E = 1238.54 \frac{J}{mol}$$

$$\text{Energía ahorrada por lote} = 24,446.76 \frac{kJ}{h}$$

6.4.2. Ahorro de agua

La capacidad del autoclave que contiene el agua para el lavado del algodón es de $3m^3$. Debido a que cada una de las etapas de lavado del algodón se lleva a cabo dentro del autoclave, el agua de neutralizado que se aprovecharía es de $3m^3$. El ahorro de agua de agua producido es de $3m^3$ por cada 2 lotes, ya que el agua de neutralizado que sale del primer lote se reutilizaría en el descrude del segundo lote y luego se desecharía.

6.4.3. Ahorro energético reflejado en combustible

De la muestra de cálculo se obtiene que el ahorro energético proveniente del calentamiento del agua de 41.41°C a 90°C en el descrude es de:

$$m = 0.6654 \frac{kg_{Diesel}}{h}$$

Convirtiéndolo a galones de diesel:

1 galón=3.78 kg

$$m = 0.176 \frac{\text{galones}_{\text{Diesel}}}{h}$$

El descrude se lleva a cabo en 1 ½ horas, y regularmente se hacen 2 descruces diarios y trabajan de lunes a sábado.

Ahorro de diesel diario = 0.52 galones

Ahorro de diesel mensual = 13 galones

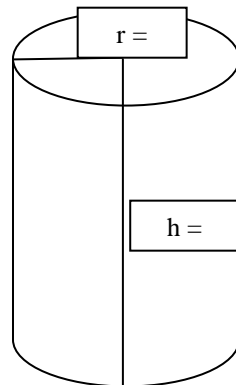
6.5. Evaluación del diseño del tanque para almacenar el agua de neutralizado

- Después de cada etapa de lavado se realiza un enjuague con la finalidad de eliminar residuos del lavado anterior para continuar con el siguiente. Gracias a este enjuague las tuberías de transporte de agua de lavados se mantiene limpia, lo que hace que no exista inconveniente de utilizar esta misma tubería para transportar el agua de neutralizado al tanque de almacenamiento.
- Se recomienda realizar una pequeña desviación en la tubería de salida con una válvula de paso que se dirija directamente hacia el tanque de almacenamiento y así ahorrar costos en una nueva tubería.
- Debido a que el agua de neutralizado posee un pH casi neutro y no contiene sustancias corrosivas hace que la temperatura sea uno de los factores a tomar en cuenta para seleccionar el material del tanque. Lo

ideal es utilizar un tanque de acero inoxidable pues resiste altas temperaturas y posee alta durabilidad. Tomando en cuenta costos, un tanque de hierro negro también es adecuado para este tipo de agua pues resiste altas temperaturas y es más económico que el acero inoxidable.

Sabiendo que la carga volumétrica proveniente del autoclave es de 3 m^3 , se necesita un tanque que pueda aceptar los 3 m^3 . Para no dejar el nuevo tanque con una capacidad exacta, se puede realizar de una capacidad de 3 m^3 y de esta manera tener un factor de seguridad.

Figura 8. **Medidas del tanque para determinar el factor de seguridad**



$$V = A_{\text{cilindro}} * \text{Profundidad}$$

$$3.5 \text{ m}^3 = 2\pi * r * h$$

Fuente: elaboración propia, con programa de Microsoft Word.

Suponiendo una profundidad de 1m, $r = 0.6 \text{ m}$

Tabla XIX. Descripción y costo de materiales potenciales para la construcción del tanque de almacenamiento de agua de retorno

DESCRIPCIÓN	CALIBRE.NO	ESPEJOR (mm)	ESPEJOR PULG.	DIMENSIONES PIES	DIMENSIONES (m)	PESO LBS.	PRECIO
Lámina hierro negro	0.5	50,80	2	4 X 8	1.22 X 2.44	2 613,80	Q15682,80
Lámina hierro negro	1/4	6,35	0,25	4 X 8	1.22 X 2.44	326,70	Q1 960,20
Lámina acero inoxidable 304	1/4	6,35	0,25	4 X 8	1.22 X 2.44	n/d	Q9 660,00

Fuente: elaboración propia.

Debido a que las dimensiones del tanque según el área requerida están dentro de las dimensiones de las láminas cotizadas, puede observarse el valor aproximado del tanque, utilizando los diferentes materiales y espesores de pared.

7. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Reutilizar el agua en cualquier circunstancia cotidiana como lavandería en casa o en situaciones más complejas tales como procesos industriales, requiere de evaluar la compatibilidad del agua que se desecharía, con el agua donde se quiere reutilizar. Si las propiedades fisicoquímicas de estas aguas son distintas, la reutilización del agua no sería posible.

Con la finalidad de reutilizar el agua del proceso del lavado del algodón, siendo la candidata a reutilizarse el agua del neutralizado, se llevó a cabo una serie de pruebas para verificar la compatibilidad del agua de este lavado con el agua necesaria en el descruce, la cual es la etapa del lavado donde quiere reutilizarse el agua.

En el proceso del lavado del algodón uno de los parámetros más variables es el potencial de Hidrógeno (pH), pues en cada uno de los pasos se agrega cierta cantidad de reactivos que puede variar el pH. El pH teórico necesario en el proceso de descruce es 12, una alcalinidad alta con el fin de saponificar grasas y aceites que la materia prima contiene. Como puede observarse en la tabla XVII, el pH de las muestras de agua de descruce oscila entre 9.3 y 10, lo cual la hace un agua lo suficiente alcalina para la saponificación.

La tabla XVIII presenta los valores de pH provenientes de las muestras de agua de neutralizado, puede observarse que los datos oscilan entre 6 y 7; lo cual indica que es un agua neutra y puede alcalinizarse o acidificarse con facilidad.

Al comparar el pH obtenido en el neutralizado y descruce se dice que es un parámetro compatible, pues el pH del neutralizado no es mayor al pH necesario en el descruce y el agua puede ser reutilizada, ya que al añadir una cantidad determinada de reactivo alcalino para la cantidad de agua que el autoclave necesita, puede llegarse a un pH entre 9 y 12, ideal para el descruce y la reacción de saponificación. Por lo que se dice que según el pH el agua de neutralizado puede ser reutilizada en la etapa de descruce.

Además del pH, otro parámetro analizado en ambos pasos del lavado del algodón fue la temperatura. Durante el descruce, la temperatura que debe alcanzarse es de 90°C. La tabla XVII presenta los datos de temperatura obtenidos en las muestras de agua proveniente del descruce, los datos oscilan entre 53.8 a 67.6 °C. Notablemente los datos son menores a 90 °C, lo cual es comprensible debido a que al terminar el descruce, el agua sale del autoclave pasando a una tubería que lleva el agua hacia las pilas de sedimentación que conducen al drenaje. Debido a que las muestras fueron tomadas en la tubería de salida, el agua sufre un enfriamiento; además no siempre el agua llega a los 90°C dentro de la autoclave pues existe una tolerancia de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

La temperatura obtenida en las muestras de agua saliente del neutralizado puede verse en la tabla XVIII, los datos oscilan entre 39.2 y 45 °C. Generalmente el agua de neutralizado se lleva hasta 70°C, lo cual indica que la temperatura del agua de neutralizado puede llegar a temperaturas hasta de 75°C. Después de utilizar el agua durante el neutralizado, el agua permanece en reposo dentro del autoclave y luego pasa a un tanque de retención, para evitar que las pilas de agua donde llega el efluente se rebalsen. Esto explica el descenso de temperatura de 70°C a aproximadamente 45°C.

Los datos obtenidos en las muestras del agua de salida del neutralizado y la temperatura máxima a la que el agua de este mismo lavado puede llegar, y esta no sobrepasa los 90°C que son necesarios en la etapa de descruce. Esto refleja que en cuanto a temperatura, el agua de neutralizado puede ser reutilizada en la etapa de descruce, pues no es necesario un enfriamiento del agua para que pueda ingresar en el autoclave y se reduce la energía administrada para calentar el agua hasta los 90°C requeridos en el descruce.

El nuevo gradiente de temperatura entre el agua de neutralizado que se reutilizará y el descruce (42°C;90°C) también producirá un ahorro en combustible. Además de utilizar energía eléctrica para echar a andar la planta, también utilizan vapor de agua para transferir calor dentro del autoclave.

El agua utilizada para llevar a cabo el descruce necesita un pH alcalino para realizar la reacción de saponificación la cual se refiere a la disociación de las grasas en un medio alcalino. Para lograr una solución de pH alcalino útil para saponificar, se utiliza comúnmente el hidróxido de sodio, ya que el sodio se une con la sal de los ácidos grasos para formar subproductos útiles en la industria. Además de esto, el hidróxido de sodio es un reactivo común y de un costo razonable para ser utilizado en la industria.

Durante el descruce se utiliza hidróxido de sodio (NaOH) para subir el pH del agua. En la tabla XVI se observa la concentración de hidróxido de sodio obtenida de las muestras de agua de descruce.

El promedio de las concentraciones obtenidas es de 0.33 moles de hidróxido de sodio por litro de agua.

Al realizar pruebas para encontrar la concentración de hidróxido de sodio en el agua de neutralizado, se determinó que el agua de neutralizado no contiene hidróxido de sodio, por lo que se dice que es adecuada para ser reutilizada en la etapa de descruce, ya que no existe un exceso de reactivo y solo debe añadirse la misma cantidad estipulada para llevar el agua a un pH 12, y tener la concentración adecuada para separar las grasas de la materia prima.

El reactivo agregado durante el neutralizado, Neutralit B, es un reactivo que lleva el agua hasta un pH neutro con el fin de neutralizar el algodón y brindarle un pH aproximadamente de 7 para uso médico y cosmético. Este reactivo no interfiere con los reactivos utilizados en el descruce, pues es un indicador de pH compuesto de hidróxido de sodio. Debido a que el algodón viene con acidez del lavado anterior, el Neutralit B lleva a cabo una neutralización en donde la mezcla de ácido y base se convierten en sal y agua. Gracias a esta reacción, el agua del neutralizado sale libre de hidróxido.

Según el análisis de pH, temperatura y concentración de hidróxido de sodio, el agua de neutralizado puede ser reutilizada en la etapa de descruce, con el fin de ahorrar agua y energía durante el proceso de lavado de algodón.

CONCLUSIONES

1. La temperatura, pH y concentración de hidróxido de sodio para el agua de descruce son: 60.24°C, 9.69 y 0.33 M, respectivamente. Para el agua de neutralizado estos parámetros corresponden a: 41.41°C, 6.42 y la concentración de hidróxido de sodio es nula en esta agua.
2. Por medio de un análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH y concentración de hidróxido de sodio) se determinó que el agua de neutralizado es compatible con el agua de descruce.
3. La temperatura, pH y concentración de hidróxido de sodio del agua de neutralizado permiten que sea reutilizada en el descruce.
4. Se propone un tanque de 1 m de profundidad y 0.6 m de radio, el cual se ajusta a las dimensiones requeridas.
5. El ahorro de agua de agua producido es de 3 m^3 por cada 2 lotes, ya que el agua de neutralizado que sale del primer lote se reutilizaría en el descruce del segundo lote y luego se desecharía.
6. El ahorro energético producido por el retorno de agua y el aumento de temperatura en el agua que ingresará al descruce, es equivalente a $24\,446.76 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$, reflejándose en un ahorro de 13 galones de diesel mensuales.

RECOMENDACIONES

1. Es conveniente llevar a cabo una evaluación para reutilizar el agua en los enjuagues poslavado, ya que se realiza con agua fresca y el contenido de impurezas y reactivos de la misma podría ser bajo. Cabe la posibilidad de reutilizarla y almacenarla junto con el agua de neutralizado para luego llevarla al descrude. Esto producirá un ahorro de agua mucho mayor por cada dos lotes de algodón lavado.
2. Realizar un estudio de los sólidos que el agua de cada lavado pueda llevar, ya que se arrastran pequeñas cantidades de algodón hacia las pilas que se utilizan para el tratamiento de agua.
3. Evaluar la posibilidad de colocar filtros en la salida del efluente, para evitar que los sólidos entren a las pilas y se acumulen en las tuberías del alcantarillado.
4. Separar las líneas de vapor de caldera (secador y autoclave) con el fin de saber cuánto vapor se destina a cada una y reducir costos cuando uno de los dos no este utilizándose.

BIBLIOGRAFÍA

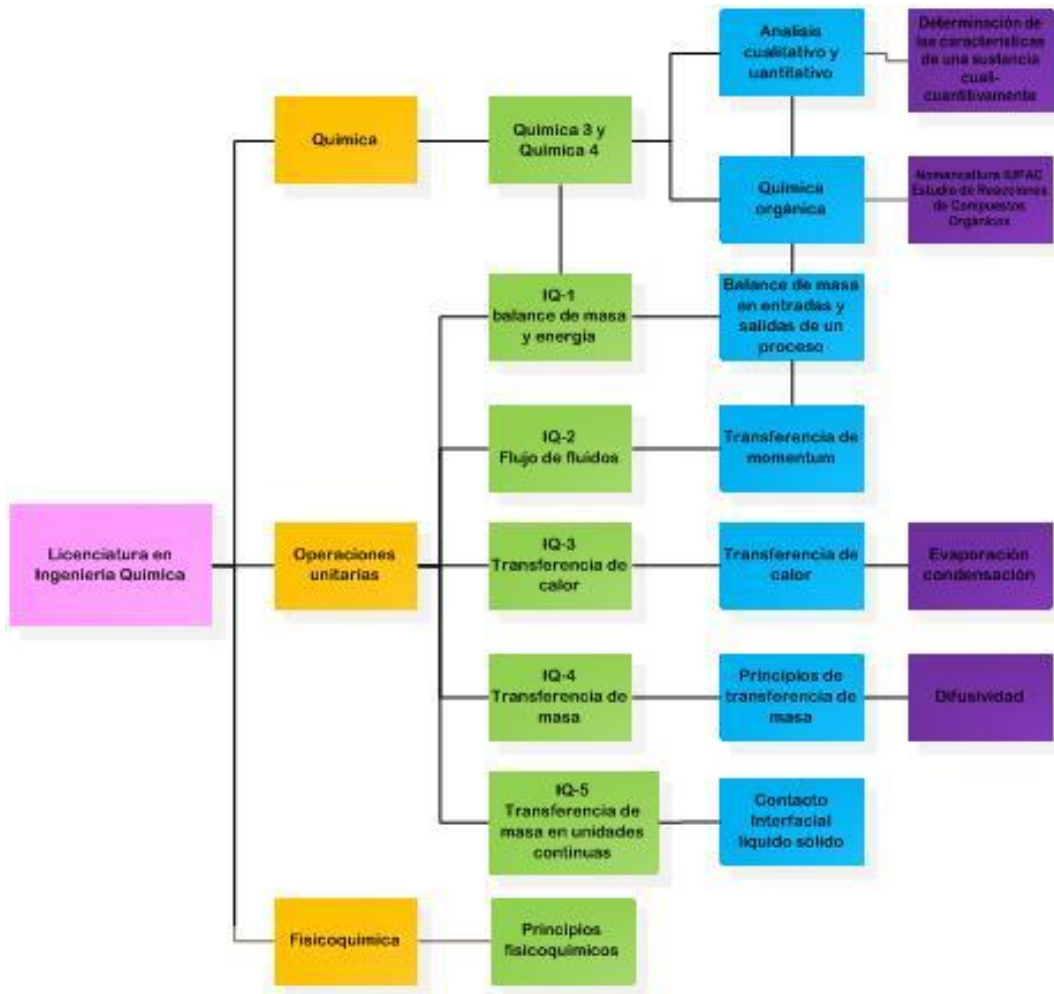
1. Algodón Superior: *El algodón: Guatemala*. [en línea]. <<http://www.algodonsuperior.com/>> [Consulta: 20 de agosto de 2011].
2. ANTÓN, Danilo. *El valor del agua*. [en línea]. México. [ref. de agosto de 2000]. Disponible en Web: http://biblioteca.hegoa.ehu.es/system/ebooks/9430/original/El_Valor_del_Agua.pdf.
3. ERTOLA, Rodolfo; YATORNO, Oswaldo; MIGNONE, Carlos. *Tratamiento de efluentes*. [en línea]. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la OEA. <http://www.biologia.edu.ar/microind/pagina_nueva_1.htm. > [Consulta: 12 agosto de 2011].
4. ESTRUCPAN. *Salud, seguridad y medio ambiente en la industria, efluentes líquidos*. [en línea]. <<http://www.estrucplan.com.ar/Efluliq.htm>. > [Consulta: 12 de agosto de 2011].
5. FIGUEROA LÓPEZ, Aldo Hugo. *Aplicación de rf para el secado de mezclilla*. [en línea]. Universidad La Salle, Bajío. Capítulo II. <http://ingfigueroa.4t.com/index.htm>. [Consulta: 25 de julio de 2011].

6. MATTIOLI, Davide, et al. *Efficient use of water in the textile finishing industry*. [en línea]. E-Water. Official Publication of the European Water Association (EWA) 2005. <http://www.ewaonline.de/journal/2005_08.pdf>[Consulta 5 de agosto de 2011].
7. MCCABE, Warren, et al. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1121 p.
8. MOHORJY, Abdullah M. Multidisciplinary planning and managing of water reuse. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. [en línea]. Vol. 25, 8 de junio de 2007. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.17521688.1989.tb03080.x/abstract>. [Consulta: 5 de agosto de 2011].
9. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Pearson Educación, 2006. No. p.
10. Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo Industrial. *Manual de Producción más Limpia*. [en línea]. Capítulo 1. http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/CP_ToolKit_spanish/PR-Volume_01/1.Textbook.pdf. [Consulta: 20 de agosto de 2012].

11. Orhon, Derin; Isik Kabdasli; Fatos Germirli Babuna; Seval Sozen; Hakan Dulkadiroglu; Serdar Dogruel; Ozlem Karahan Gul; Guclu Insel. Wastewater Reuse for the Minimization of Fresh Water Demand in Coastal Areas—Selected Cases from the Textile Finishing Industry. [en línea]. Journal of Environmental Science and Health. <<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a713630550~tab=content~order=page>> [Consulta: 10 de julio de 2011].
12. SMITH, J.M.; NESS, H.C. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. 5a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 816 p.
13. VANDEVIVERE, Philippe C.; BIANCHI, Roberto; VERSTRAETE, Willy. Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. Article. [en línea]. [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)10974660\(199808\)72:4%3C289:AID-JCTB905%3E3.0.CO;2-%23/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)10974660(199808)72:4%3C289:AID-JCTB905%3E3.0.CO;2-%23/abstract). [Consulta: 22 de julio de 2011].

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia, Microsoft Visio.