



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

**DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN UN COMPLEJO INDUSTRIAL
DEDICADO A LA FABRICACIÓN Y ENVASADO DE BEBIDAS**

Luis Alfredo Lemus Mayora
Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
Coasesorado por la Inga. Mónica Paola Franco

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN UN COMPLEJO INDUSTRIAL
DEDICADO A LA FABRICACIÓN Y ENVASADO DE BEBIDAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ALFREDO LEMUS MAYORA

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS
COASESORADO POR LA INGA. MÓNICA PAOLA FRANCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. 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
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
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:

**DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN UN COMPLEJO INDUSTRIAL
DEDICADO A LA FABRICACIÓN Y ENVASADO DE BEBIDAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 21 de noviembre de 2012.



Luis Alfredo Lemus Mayora



Guatemala, 19 de Agosto, de 2013

Sr. Director de Escuela de Ingeniería Química
Ing. Víctor Monzón

Me dirijo a usted en relación al Informe Final del Trabajo de Graduación del estudiante Luis Alfredo Lemus Mayora, con número de carné. 200611180, el trabajo titulado "Diseño del Sistema de Reutilización del Efluente de una Planta de Tratamiento de Agua Residual, en un Complejo Industrial Dedicado a la Fabricación y Envasado de Bebidas".

Al respecto le comento que he revisado los aspectos metodológicos de la investigación y dado que se ajustan al perfil requerido por nuestra escuela no tengo objeción en aprobar el Informe Final del presente proyecto para su trámite correspondiente.

Atentamente

Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
Profesor Titular I
Ingeniero Químico
Colegiado No. 685



Jorge Mario Estrada Asturias
Ingeniero Químico Col. 685
Profesor Titular
Escuela de Ing. Química USAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 09 de septiembre de 2013
Ref. EI.Q.TG.258.2013

Señores
Área de Lingüística
Facultad de Ingeniería
Presente,

Estimados Señores

Como consta en el Acta TG-076-2012-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 el estudiante universitario: **Luis Alfredo Lemus Mayora.**

Identificado con número de carné: **2006-11180.**

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

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:

DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN UN COMPLEJO INDUSTRIAL DEDICADO A LA FABRICACIÓN Y ENVASADO DE BEBIDAS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias.**

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. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



C.c.: archivo





Guatemala, 09 de septiembre de 2013
Ref. EI.Q.TG-IF.053.2013

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

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-076-2012-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 el estudiante universitario: **Luis Alfredo Lemus Mayora.**

Identificado con número de carné: **2006-11180.**

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

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:

DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN UN COMPLEJO INDUSTRIAL DEDICADO A LA FABRICACIÓN Y ENVASADO DE BEBIDAS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias.**

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"

Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2015



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



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 del estudiante, **LUIS ALFREDO LEMUS MAYORA** titulado: **"DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN UN COMPLEJO INDUSTRIAL DEDICADO A LA FABRICACIÓN Y ENVASADO DE BEBIDAS"**. Procedé 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, octubre 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 687.2013

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: **DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN UN COMPLEJO INDUSTRIAL DEDICADO A LA FABRICACIÓN Y ENVASADO DE BEBIDAS**, presentado por el estudiante universitario **Luis Alfredo Lemus Mayora**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 4 de octubre de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la oportunidad de haber alcanzado este logro ya que si en él no lo hubiera logrado. Por haberme dado a la familia que tengo.
- Mis padres** José Alfredo Lemus y Adela Noemy Mayora, por ser mi inspiración en todo momento, mis ejemplos a seguir y la parte principal de lo que soy como persona. Gracias por su amor y apoyo incondicional recibido en todo momento a lo largo de mi vida. Ustedes hacen que yo dé lo mejor de mí. Los quiero mucho.
- Mi hermano** José Lemus, por el apoyo y los grandes momentos en familia. Por el tiempo y la paciencia para los trámites en los que me apoyaste. Te admiro y te quiero mucho. Gracias por todo.
- Mi familia** Gracias por el apoyo en todos los momentos. Por los consejos, por ayudarme a ser quien soy y este logro es también gracias a todos ustedes.
- Mis amigos** Un papel no bastaría para mencionarlos a todos y expresarles mi cariño sincero. Gracias por el apoyo en todos los momentos por su amistad, y por qué se convirtieron en hermanos para mí con todo lo vivido.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi *alma mater*, por brindarme educación, valores con sentido social y la oportunidad de conocer a grandes personas dentro de esta institución.

Facultad de Ingeniería

Por darme la oportunidad de crecer académicamente y formarme como profesional de la ingeniería.

**Escuela de Ingeniería
Química**

Por las enseñanzas brindadas hacia mi persona.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Jorge Mario Estrada

Por compartir su conocimiento sin egoísmo y su colaboración en la realización de este trabajo de graduación.
Por su tiempo y paciencia.

Inga. Mónica Franco

Por brindarme su conocimiento y las bases para realizar la investigación.
Porque los conocimientos van más allá de un título.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. El recurso agua residual	5
2.2. Condicionantes en reutilización	6
2.3. Potabilización del agua residual	9
2.4. Pretratamiento de aguas residuales	10
2.4.1. Operaciones pretratamiento	10
2.5. Tratamiento fisicoquímico	13
2.6. Tratamiento biológico	14
2.7. Tratamiento químico	14
2.8. Etapas de una planta de tratamiento de aguas residuales	14
2.8.1. Tratamiento primario.....	15
2.8.2. Remoción de sólidos	15
2.8.3. Remoción de arena	15
2.8.4. Investigación y maceración.....	15
2.8.5. Sedimentación	16
2.8.6. Tratamiento secundario	17

2.8.7.	Desbaste	17
2.8.8.	Fangos activos	17
2.8.9.	Sedimentación secundaria	17
2.8.10.	Tratamiento terciario.....	18
2.8.11.	Filtración.....	18
2.8.12.	Remoción de nutrientes.....	18
2.8.13.	Desinfección.....	19
2.9.	Potenciales impactos ambientales	20
2.10.	Problemas socioculturales	22
2.11.	Características físicas	23
2.11.1.	Olores.....	23
2.11.2.	Temperatura	24
2.11.3.	Densidad	25
2.11.4.	Color.....	25
2.11.5.	Turbiedad	25
2.11.6.	pH.....	25
2.12.	Características químicas	26
2.12.1.	Materia orgánica.....	26
2.12.2.	Proteínas	27
2.12.3.	Hidratos de carbono	27
2.12.4.	Grasas y aceites.....	27
2.12.5.	Detergentes.....	28
2.12.6.	Pesticidas y productos químicos de uso agrícola....	28
2.12.7.	Materia inorgánica.....	28
2.12.8.	Alcalinidad	29
2.12.9.	Nitrógeno y fósforo	29
2.12.10.	Azufre	29
2.12.11.	Metales pesados	30
2.12.12.	Gases	31

2.12.13.	Oxígeno disuelto.....	31
2.12.14.	Sulfuro de hidrógeno	31
2.12.15.	Metano.....	32
2.13.	Características microbiológicas	32
2.14.	El MARN: Reglamento de aguas residuales (Nov, 10, 2006) ..	32
2.15.	Tubería	33
2.15.1.	Sin costura.....	33
2.15.2.	Con costura longitudinal	34
2.15.3.	Con soldadura helicoidal (o en espiral).....	34
2.15.4.	Materiales	34
2.15.4.1.	Uso doméstico	34
2.15.4.1.1.	Agua	35
2.15.4.1.2.	Desagües	35
2.15.5.	Accesorios de tuberías	35
2.15.5.1.	Bridas.....	36
2.15.5.2.	Disco ciego	37
2.15.5.3.	Codo	38
2.15.5.4.	Te.....	40
2.15.5.5.	Reductores	41
2.15.5.6.	Válvulas	43
2.15.5.6.1.	Válvula de globo	43
2.15.5.6.2.	Válvula en ángulo	44
2.15.5.6.3.	Válvula de jaula	45
2.15.5.6.4.	Válvula de compuerta ...	46
2.16.	PVC	47
2.16.1.	Tuberías de PVC	50
2.17.	Tamaños de tuberías.....	51
2.18.	Selección de tamaños de tuberías.....	51
2.19.	Reutilización del agua residual en agricultura	52

2.20.	Reutilización con fines municipales y recreativos.....	53
2.21.	Reutilización para transporte y lavado	54
2.22.	Reutilización para refrigeración industrial.....	55
2.23.	Reutilización para el calentamiento de sistemas.....	55
2.24.	Reutilización para producción de biomasa	56
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	57
3.1.	Variables	57
3.1.1.	Independientes.....	57
3.1.2.	Dependientes	57
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	58
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	58
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	58
3.5.	Técnica cuantitativa.....	59
3.5.1.	Procedimientos de cálculos que se podrán utilizar	60
3.5.2.	Consideraciones de diseño a tomar en cuenta	62
3.5.2.1.	Válvulas de seccionamiento	63
3.5.2.2.	Válvulas reductoras de presión	63
3.5.2.3.	Cámaras de válvulas.....	63
3.5.2.4.	Cámaras rompe-presión.....	64
3.5.2.5.	Anclajes.....	64
3.5.3.	Equipos	64
3.5.4.	Procedimientos fisicoquímicos y microbiológicos	67
3.5.4.1.	Medición de pH.....	68
3.5.4.2.	Medición de sólidos disueltos.....	69
3.5.4.3.	Medición de dureza	69
3.5.4.4.	Determinación de alcalinidad	70
3.5.4.5.	Determinación de fosfatos.....	71

3.5.4.6.	Determinación de silicatos	71
3.5.4.7.	Determinación de cloruros	72
3.5.4.8.	Determinación de hierro.....	73
3.5.4.9.	Determinación de cloro total	73
3.5.4.10.	Determinación de sulfatos	74
3.5.4.11.	Determinación de color	75
3.5.4.12.	Determinación de turbidez	75
3.5.4.13.	Análisis microbiológico.....	76
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	77
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	79
3.8.	Análisis estadístico	82
4.	RESULTADOS	83
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	101
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	APÉNDICES	113
	ANEXOS	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Etapas del tratamiento de agua residual	13
2.	Vista de bridas	37
3.	Vista frontal de un disco ciego	38
4.	Vista de diferentes codos	39
5.	Vista lateral de un reductor	41
6.	Vista de una válvula de globo	43
7.	Vista de tres tipos de válvula de ángulo.....	44
8.	Vista lateral de la válvula de jaula	45
9.	Dos vistas de una válvula de compuerta (externa y en tubo interno) ..	47
10.	Uso del agua en la agricultura.....	53
11.	Turbidímetro.....	65
12.	Espectrofotómetro.....	65
13.	Espectrofotómetro NOVA.....	66
14.	Potenciómetro	66
15.	Conductímetro.....	67
16.	Esquema del procedimiento del análisis microbiológico	77
17.	Comportamiento del pH del efluente y del pozo (agua de distribución)	84
18.	Comportamiento de los sólidos disueltos del efluente y del pozo (agua de distribución)	85
19.	Comportamiento de la dureza total del efluente y del pozo (agua de distribución)	86

20.	Comportamiento de la alcalinidad del efluente y del pozo (agua de distribución)	87
21.	Comportamiento de los fosfatos del efluente y del pozo (agua de distribución)	88
22.	Comportamiento de los silicatos del efluente y del pozo (agua de distribución)	89
23.	Comportamiento de los cloruros del efluente y del pozo (agua de distribución)	90
24.	Comportamiento del hierro del efluente y del pozo (agua de distribución)	91
25.	Comportamiento del cloro total del efluente y del pozo (agua de distribución)	92
26.	Comportamiento del color del efluente y del pozo (agua de distribución)	93
27.	Comportamiento de la turbidez del efluente y del pozo (agua de distribución)	94
28.	Comportamiento de los sulfitos del efluente y del pozo (agua de distribución)	95
29.	Diseño del sistema de reutilización del efluente	100

TABLAS

I.	Etapas del tratamiento de aguas residuales	9
II.	Datos requeridos para evaluar el efluente	79
III.	Datos requeridos para evaluar el agua de distribución (pozo)	80
IV.	Datos de análisis microbiológicos para evaluar el efluente y el pozo ...	81
V.	Resultados de pH obtenidos para el efluente y el pozo	84
VI.	Resultados de sólidos disueltos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	85

VII.	Resultados de dureza total (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	86
VIII.	Resultados de alcalinidad obtenidos para el efluente y el pozo.	87
IX.	Resultados de fosfatos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	88
X.	Resultados de silicatos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	89
XI.	Resultados de cloruros (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	90
XII.	Resultados de hierro (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	91
XIII.	Resultados de cloro total (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	92
XIV.	Resultados de color (UIC a 430 nm) obtenidos para el efluente y el pozo.	93
XV.	Resultados de turbidez (NTU) obtenidos para el efluente y el pozo.	94
XVI.	Resultados de sulfitos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo.	95
XVII.	Resultados microbiológicos obtenidos para el efluente	96
XVIII.	Resultados microbiológicos obtenidos para el pozo (agua de distribución)	97
XIX.	Desviaciones estándar obtenidas en los resultados de los análisis realizados	98
XX.	Presupuesto del Costo del Sistema de Reutilización	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
R'	Coeficiente de correlación
CV	Coeficiente de variación
P	Densidad
°	Grados
°C	Grados centígrados
Lb	Libras
L	Litros
M	Metros
mL	Mililitros
ppm	Partes por millón
Ft	Pies
%	Porcentaje

Q	Quetzal
NTU	Unidades de Medición de Turbidez
UFC	Unidades Formadoras de Colonia
UIC	Unidades Internacionales de Color

GLOSARIO

Agua potable	Es el agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud.
Agua residual	Son aguas también llamadas servidas o cloacales. Son residuales habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directamente.
Alcalinidad	Es una medida del agua para neutralizar ácidos. Esta propiedad se debe principalmente a la presencia de ciertas sales de ácidos débiles, aunque también puede contribuir la presencia de bases débiles y fuertes.
Aleación	Es una combinación de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es metal.
Biomasa	Es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Caudal	Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.
Desagüe	Sirve para poder drenar el exceso de lluvia y agua.
Desbaste	Es el proceso por medio del cual se protege la estación de la llegada de grandes objetos que puedan provocar obstrucciones o dificultar los restantes tratamientos.
Efluente	Término empleado para nombrar las aguas residuales con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por industrias y/o viviendas a los cursos del agua.
Microbiológico	El criterio microbiológico para un alimento define la aceptabilidad de un producto o un lote de un alimento basado en la ausencia o presencia, o en la cantidad de microorganismo, incluidos parásitos y/o en la cantidad de sus toxinas/metabolitos, por unidad de masa.
Patógenos	Es también llamado agente biológico, y es todo agente que puede producir enfermedad o daño a la biología de un huésped, sea este humano, animal o vegetal.

PVC	Es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo, es un material plástico de color claro que por su flexibilidad y el ser inerte es recomendable para tuberías.
Reutilización	Se refiere al proceso mediante, el cual se aprovecha algún bien que ya ha sido utilizado pero que aún puede ser empleado en alguna actividad secundaria.
Sedimentación	Es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua se deposita en el fondo de un río, embalse o canal artificial.
Sistema de calidad	Parte del sistema de gestión enfocada en el logro de resultados, en relación con los objetivos de la calidad, para satisfacer las necesidades, expectativas y requisitos de las partes interesadas, según corresponda.

RESUMEN

Por medio del siguiente estudio, que tenía como objetivo realizar el diseño de un sistema de reutilización del efluente de una planta de tratamiento de agua residual; para ello se realizaron análisis fisicoquímicos del efluente y del agua de distribución del complejo empresarial.

Se definió el área en la que es conveniente reutilizar el agua, se revisaron los resultados de los análisis que se le realizaron al efluente y de esta forma, se pudo determinar el área adecuada para reutilizarla y así se determinó la distancia necesaria, para realizar el sistema de conexión de tubería que serviría para la reutilización del agua.

Además de definir el área de reutilización del efluente se determinó la distancia de la planta al área, el material a utilizar para las tuberías, los accesorios, bombas y si el agua cumple con los requerimientos fisicoquímicos y microbiológicos para su reutilización y se determinó que paso preliminar hay que realizar antes de reutilizarla.

En el proceso del estudio se realizó una evaluación de costos de todo el sistema de reutilización, tomando en cuenta, que el agua del complejo en donde se realizó el estudio es agua proveniente de un pozo propio.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de reutilización del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales, perteneciente a un complejo industrial, dedicado al envasado de bebidas.

Específicos

1. Realizar análisis fisicoquímicos (pH, sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, fosfatos, silicatos, cloruros, hierro, cloro total, microbiológico turbidez, color) y microbiológicos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.
2. Realizar análisis fisicoquímicos (pH, sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, fosfatos, silicatos, cloruros, hierro, cloro total, microbiológico turbidez, color) y microbiológicos del agua de distribución del complejo industrial y hacer una comparación con el agua efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.
3. Determinar el uso que se le dará al agua reutilizada, de la planta de tratamiento, de acuerdo a los resultados obtenidos por los análisis FQ y microbiológicos.

4. Realizar una comparación de los parámetros analizados del efluente contra la Norma COGUANOR NTG 29 001 para agua potable.
5. Determinar el o los tratamientos preliminares que necesitaría el efluente para su reutilización de acuerdo a los resultados de los objetivos anteriores.
6. Realizar un análisis de factibilidad económica en el momento de poner en marcha el proyecto de la reutilización del agua efluente.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de reutilización del agua es una opción válida para obtener beneficios ambientales y económicos, obteniendo una optimización de todos los recursos hídricos, por lo que esta opción es una muy buena alternativa para las empresas que cuenten con una planta de tratamiento de agua, ya que con estas podrán reutilizar el agua y ser empresas innovadoras en el tema social y ambiental y también, tener una reducción del consumo de agua del pozo.

Este trabajo de investigación lo que tiene como objetivo es diseñar un sistema adecuado para la reutilización del efluente de una planta de tratamiento de agua residual, donde se determine el material de las tuberías, los accesorios a utilizar, las bombas que se utilicen y así de esta forma poder realizar el diseño de la mejor manera. Para determinar el área adecuada para la reutilización del agua se tiene que realizar un análisis fisicoquímico del efluente y del agua de distribución de este complejo industrial, comparar estos análisis y determinar si el agua está en condiciones para su reutilización.

Para este diseño hay que realizar un estudio económico en donde se determine la factibilidad que se obtendrá con este sistema de reutilización, tomando en cuenta que el agua es un recurso no renovable, otra parte importante es que ahora las plantas se están acreditando en diversos sistemas de gestión de calidad, por lo que ser unas plantas que piensen y estén conscientes del cuidado ambiental y del impacto social, podrán llegar a ser unas empresas responsables socialmente.

1. ANTECEDENTES

Las aguas residuales regeneradas constituyen un recurso no convencional de agua que se ha desarrollado en los últimos decenios. No obstante, para poder proceder a reutilizar este recurso, se requieren las tecnologías adecuadas y estudios previos detallados. Se revisa la legislación respecto a la reutilización de aguas residuales.

En 1958, el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, promulgó la política de no utilización de recursos de mayor calidad en usos que pueden tolerar calidades más bajas. Esta política equivale en la práctica a una mejor planificación en el uso de los recursos hídricos, teniendo en consideración su calidad y conduce obligatoriamente al desarrollo del concepto de reutilización.

La reutilización es una práctica que viene desarrollándose desde hace más de 200 años, bien sea de modo organizado, espontáneo, directo o indirecto. Actualmente son cada vez más los países que consideran la reutilización de las aguas residuales, un elemento fundamental de sus políticas hídricas. Cabe citar a los Estados Unidos, Japón o Israel, como ejemplos de vanguardia en el aprovechamiento de agua regenerada.

El inicio de los programas de reutilización con frecuencia ha sido propiciado por la demanda de grandes consumidores de agua. Existen diversos ejemplos al respecto, como la ciudad de Baltimore, que en 1942 inicio el

suministro de 4,5 metros cúbicos por segundo de efluente secundario clorado a una planta de fabricación de acero situada a 7,2 Km; o el de la construcción, en 1982, de una conducción de agua residual de 58 Km de longitud entre Phoenix (Arizona) y la planta depuradora de una central nuclear en Palo Verde. Ambos casos supusieron el inicio de posteriores planes de aprovechamiento de agua regenerada.

El empleo en áreas urbanas de redes duales (aguas regeneradas/agua potable) de distribución es una práctica cada vez más extendida. El primer sistema de este tipo se instaló en 1926, en Grand Canyon Village (Arizona), donde la escasa agua potable disponible debía bombearse desde un manantial situado en el fondo del Gran Cañon, salvando un desnivel de 1 000 m el agua regenerada así distribuida, se emplea en la mayoría de los usos urbanos no potables, incluyendo riego de parques, extinción de incendios y uso en cisternas de servicios sanitarios.

El mayor sistema dual de distribución en operación hoy día, comenzó a instalarse en 1977 en la ciudad de St. Petersburg (Florida). Su desarrollo fue motivado por las elevadas exigencias impuestas por las autoridades, para el vertido de efluentes a la Bahía de Tampa y la fuerte sobreexplotación sufrida por los acuíferos regionales, ante el vertiginoso aumento de la población. Los volúmenes reutilizados han ido creciendo al desarrollarse la red y actualmente 0,9 de los 2,7 metros cúbicos por segundo que abastecen a la ciudad, son de agua regenerada.

El establecimiento de un programa eficaz de reutilización, es hoy en Florida un requisito obligatorio para el otorgamiento de concesiones de gestión

de aguas residuales. Los programas actualmente en marcha superan la cifra de 200.

Otro ejemplo claramente ilustrativo es el caso de Israel, que posee una amplia tradición en el campo del aprovechamiento de las aguas residuales. En España el agua regenerada constituye un recurso vital, de hecho los planes de gestión a largo plazo prevén disponer de un volumen anual de 420 millones de metros cúbicos para el 2010, lo que supone un 10 % del total de recursos hídricos y un tercio del agua empleada en el sector agrícola. En Alicante, España, la reutilización es una práctica bien conocida. La escasez derivada de la prolongada sequia que se sufre en la actualidad y la puesta en marcha a nivel regional del Plan Director de Saneamiento y Depuración, han supuesto un importante estímulo para su desarrollo durante los últimos años. Hasta el momento, el destino de las aguas recicladas es el riego agrícola.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El recurso agua residual

El agua residual se produce de una forma relativamente continua; es decir, se trata de una “fuente” teórica de agua con características de continuidad en el tiempo. En efecto, por consideraciones sanitarias y sociopolíticas, los gestores tienden a asegurar el suministro urbano con prioridad a cualquier otro y en ocasiones excepcionales incluso sin reparar en costes.

En todos los países de la cuenca mediterránea y en muchos lugares de centro y Sudamérica se ha practicado desde hace siglos la reutilización, directa o indirecta, de las aguas residuales, ya sea para usos agrícolas (riego de cultivos en las afueras de las ciudades) o como agua de boca después de diversos vertidos. El conocimiento del riesgo asociado a estas prácticas propició por una parte la construcción de sistemas de alcantarillado, que extraían de los núcleos de población las aguas usadas y posteriormente la construcción de depuradoras, en los casos en que la sociedad es capaz de asumir este gasto.

Con la aparición histórica de problemas de escasez de agua, de tipo temporal o estructural, se generó una atención a un recurso cercano, concentrado y cuya calidad era relativamente constante y conocida: el agua residual. Por otra parte, es sobradamente reconocido que determinados vegetales regados con agua residual, tienen un crecimiento excelente y una

aparición que permite su venta con buenos beneficios. Así, aguas abajo de los albañales de muchas ciudades, han aparecido a lo largo del tiempo explotaciones agrícolas de hortalizas, que se venden en los mercados de la misma ciudad donde se han generado las aguas residuales. Esta práctica sigue vigente en la actualidad, por ejemplo en la ciudad de México o en muchas urbes de África e incluso en algunos lugares de España.

Aparte de ser una forma de reciclar el agua, es también la mejor manera de mantener extraordinariamente prósperas, las infecciones asociadas a las enfermedades de origen hídrico.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas, a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga, están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

2.2. Condicionantes en reutilización

En general, la limitación para la regeneración es el riesgo asociado a la práctica de la reutilización. En general, debe hablarse en cualquier sistema de reutilización de la determinación y gestión del riesgo.

Dadas las características del agua residual y los tipos de tratamiento requeridos por la legislación (Directiva 91/271 de la UE con transposición casi literal a la legislación española, OMS y previsiones) puede afirmarse que no hay una reducción importante de patógenos en la depuración convencional o secundaria y que sigue manteniéndose una cantidad importante de contaminantes químicos, que en algunos casos pueden generar riesgos.

En consecuencia, para la reutilización es imprescindible proceder a una gestión del riesgo. La aproximación de las autoridades sanitarias y el mundo del agua a esta necesidad, ha sido habitualmente la preparación de estándares que fijen la calidad mínima que deben tener las aguas residuales. En este sentido, cabe destacar que en España aún no existe una legislación nacional promulgada, aunque si pueden mencionarse las iniciativas de algunas comunidades autónomas, concretamente Andalucía, Baleares y Cataluña. Existe un borrador preparado por el CEDEX (1999) que está pendiente de ser publicado en su forma legal definitiva. Puede encontrarse un estudio detallado de los estándares y reglamentaciones existentes en distintos lugares del mundo en Salgot y Angelakis (2001).

En la actualidad se dispone de tecnologías de regeneración de aguas sobradamente probadas y conocidas, aunque se requiere todavía investigar sobre la fiabilidad de estos tratamientos, desarrollar procesos con costes asumibles e implantar sistemas extensivos de tratamiento. El grado de cumplimiento de la calidad del agua marcada por los estándares durante largos períodos de tiempo, no se suele determinar y es uno de los puntos débiles de los procesos de regeneración del agua residual. Se puede afirmar inicialmente que no todas las tecnologías son igualmente fiables. Aparte de esto, hay que

indicar que normalmente todos los criterios establecidos, se refieren únicamente a la presencia de indicadores fecales bacterianos y a huevos de nemátodo, olvidando otros posibles agentes causantes de riesgo, como los virus y determinados productos químicos tóxicos.

Por otra parte, la calidad del agua regenerada se suele determinar en el efluente de la planta de regeneración, y no en el punto de uso, ni en el producto final que ha tenido contacto con el agua regenerada. En este sentido, se pueden proponer diversos estudios en el marco de la determinación y gestión de riesgo en el campo de la regeneración y reutilización de agua residual (Salgot, Vergés y Angelakis, 2002). Entre estos se puede mencionar:

- El uso de parámetros de control adecuados
- La fiabilidad de las plantas de regeneración
- Cumplimiento de los estándares
- Prácticas de buena reutilización de los efluentes
- Sistemas de análisis de riesgo y control de puntos críticos (SARICPC)

De todas formas, hay que decir que la determinación y gestión del riesgo no reduce per se el grado de riesgo asociado a la reutilización, sino que permite un mayor conocimiento de estas prácticas y en consecuencia el uso de técnicas que pueden reducir este riesgo.

No obstante, todas las prácticas asociadas a la reducción de riesgo deben ser sustentables y no deben comprometer la reutilización incrementando de forma desproporcionada los costes de la regeneración.

2.3. Potabilización del agua residual

La potabilización de las aguas residuales urbanas es la utilización más costosa que se puede llevar a cabo, ya que se exigen unos rigurosos criterios de calidad. La OMS recomienda las siguientes indicaciones sanitarias:

- Ningún microorganismo coliforme fecal en 100 ml
- Ninguna partícula vírica en 100 ml
- Ningún efecto tóxico en el hombre
- Observación de los demás criterios aplicables al agua potable

Tabla I. **Etapas del tratamiento de aguas residuales**

Para obtener estos criterios de calidad, la OMS propone los siguientes tratamientos: Tratamientos exigidos	Tratamientos deseables
Tratamiento primario	Desnitrificación
Tratamiento secundario	Clarificación química
Filtración por arena	Absorción con carbón activo
Nitrificación	
Desinfección	Intercambio iónico

Fuente: elaboración propia, Microsoft Excel.

2.4. Pretratamiento de aguas residuales

Todos los materiales que llegan a la alcantarilla y de esta a la planta de tratamiento de aguas residuales, si no son eliminados eficazmente, pueden producir serias averías en los equipos. Las piedras, arena, latas, etc. Producen un gran desgaste de las tuberías y de las conducciones así como de las bombas.

A la planta también llegan aceites y grasas de todo tipo, si estas grasas y aceites no son eliminados en el pre tratamiento, hace que este tratamiento biológico se ralentice y el rendimiento de dicho tratamiento decaiga, obteniendo un efluente de baja calidad.

Con todo lo anterior expuesto, se puede ver la importancia del pre tratamiento, escatimar medios o esfuerzos en esta parte de la planta, es bajar rendimiento de todo la planta, aunque tuviera el mejor proceso biológico.

Con un pretratamiento se pretende separar del agua residual tanto por operaciones físicas como por operaciones mecánicas, la mayor cantidad de materias que por su naturaleza (grasas, aceites, etc.) o por su tamaño (ramas, latas, etc.) crearían problemas en los tratamientos posteriores (obstrucción de tuberías y bombas, depósitos de arenas, rotura de equipos, etc.).

2.4.1. Operaciones pretratamiento

Las operaciones de pretratamiento incluidas en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) dependen de:

- La procedencia del agua residual (doméstica, industrial, etc.)
- La calidad del agua bruta a tratar
- Del tipo de tratamiento posterior de la EDAR
- De la importancia de la instalación

Las operaciones son:

- Separación de grandes sólidos (pozo de gruesos)
- Desbaste
- Tamizado
- Desarenado
- Desengrasado
- Preaireación

En una planta depuradora no es necesaria la instalación de todas estas operaciones. Dependerá de las características antes descritas. Por ejemplo, para un agua residual industrial raramente será necesario un desbaste.

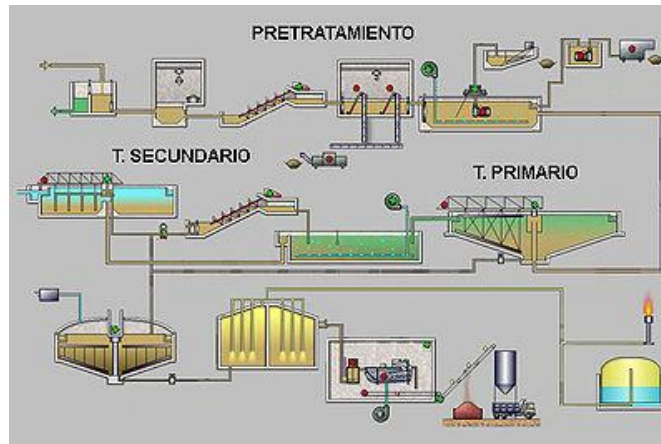
Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas (mallas), aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena), seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se utilizan para eliminar plomo y fósforo principalmente.

A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario (asentamiento de sólidos).
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente).
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección).

Figura 1. **Etapas del tratamiento de agua residual**



Fuente: recursostic.educacion.es. Consulta: 2 de agosto de 2013.

2.5. **Tratamiento fisicoquímico**

Este tratamiento consta de:

- Remoción de gas.
- Remoción de arena.
- Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.
- Separación y filtración de sólidos.
- El agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos.

2.6. Tratamiento biológico

El tratamiento biológico consta de ciertos procesos en la planta que ayudan a la remoción de entes biológicos que contaminan el agua. Como los siguientes:

- Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.
- Posprecipitación.
- Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción.
- Biodigestión anaerobia y humedales artificiales utiliza la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, como nutrientes de una población bacteriana, a la cual se le proporcionan condiciones controladas para controlar la presencia de contaminantes.

2.7. Tratamiento químico

Este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración. La combinación de ambas técnicas es referida en los Estados Unidos como un tratamiento físico-químico.

2.8. Etapas de una planta de tratamiento de aguas residuales

En una planta de tratamiento de aguas residuales se divide según las etapas de paso del proceso de tratamiento las cuales son:

2.8.1. Tratamiento primario

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico.

2.8.2. Remoción de sólidos

En el tratamiento mecánico, el afluente es filtrado en cámaras de rejillas para eliminar todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado, tales como trapos, barras, compresas, tampones, latas, frutas, papel higiénico, etc. Éste es el usado más comúnmente mediante una pantalla rastrillada automatizada mecánicamente.

2.8.3. Remoción de arena

Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración) típicamente incluye un canal de arena, donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras necesitan ser quitadas a tiempo en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos en las etapas restantes del tratamiento.

2.8.4. Investigación y maceración

El líquido libre de abrasivos es pasado a través de pantallas arregladas o rotatorias para remover material flotante y materia grande como trapos y

partículas pequeñas como arvejas y maíz. Los escaneos son recolectados y podrán ser regresados a la planta de tratamiento de fangos o podrán ser dispuestos al exterior hacia campos o incineración. En la maceración, los sólidos son cortados en partículas pequeñas a través del uso de cuchillos rotatorios montados en un cilindro revolvente, es utilizado en plantas que pueden procesar esta basura en partículas. Los maceradores son, sin embargo, más caros de mantener y menos confiables que las pantallas físicas.

2.8.5. Sedimentación

Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales se sitúan en el fondo del tanque y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse.

El propósito principal de la etapa primaria es producir generalmente un líquido homogéneo, capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que puede ser tratado separadamente. Los tanques primarios de establecimiento se equipan generalmente con raspadores conducidos mecánicamente, que llevan continuamente los fangos recogido hacia una tolva en la base del tanque donde, mediante una bomba puede llevar a éste hacia otras etapas del tratamiento.

2.8.6. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario está diseñado para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, el cual deriva de residuos humanos, residuos de alimentos, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales utilizan procesos biológicos aeróbicos para este fin.

2.8.7. Desbaste

Consiste habitualmente en la retención de los sólidos gruesos del agua residual mediante una reja manual, un tamiz, habitualmente de menor paso o luz de malla. Esta operación no sólo reduce la carga contaminante del agua a la entrada, sino que permite preservar los equipos como conducciones, bombas y válvulas, frente a los depósitos y obstrucciones provocados por los sólidos, que habitualmente pueden ser muy fibrosos: tejidos, papeles, etc.

2.8.8. Fangos activos

Las plantas de fangos activos usan una variedad de mecanismos y procesos para usar oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que remueven sustancialmente materia orgánica. También, puede atrapar partículas de material y puede, bajo condiciones ideales, convertir amoníaco en nitrito y nitrato, y en última instancia a gas nitrógeno.

2.8.9. Sedimentación secundaria

El paso final de la etapa secundaria del tratamiento, es retirar los flóculos biológicos del material de filtro y producir agua tratada con bajos niveles de

materia orgánica y materia suspendida. En una planta de tratamiento rural, se realiza en el tanque de sedimentación secundaria.

2.8.10. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido, antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.). Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es siempre llamada pulir el efluente.

2.8.11. Filtración

La filtración de arena remueve gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración remueve las toxinas residuales.

2.8.12. Remoción de nutrientes

Las aguas residuales poseen nutrientes pueden también, contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que eso en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados, en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco) o eso puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las malas hierbas y las algas pueden parecer ser una edición estética, pero las algas pueden producir las toxinas y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y asfixiar los peces y a otra vida acuática.

2.8.13. Desinfección

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente, el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo) y de otras variables ambientales.

El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV. La Cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia.

La desinfección de líquidos mediante uso de luz ultravioleta tiene muchas ventajas, ya que no deja residuos y tampoco altera su composición o propiedades como hacen otros tratamientos de carácter químico. La aplicación más común consiste en la colocación de un filtro UV en un tramo del conducto por donde circula el líquido. Al tratarse de una parte del proceso tampoco se invierte tiempo extra en tratamientos especiales ni pasos intermedios.

Estos filtros UV interceptan e inoculan los gérmenes a su paso por la luz ultravioleta; además, la radiación UV destruye algas y protozoos inhabilitando su expansión y contaminación. Los filtros ultravioleta son fáciles de instalar y

requieren un mantenimiento mínimo que se limita al cambio de lámpara UV. Puede ser utilizado directamente sin necesidad de usar otros productos para la eliminación de gérmenes o como complemento de otros sistemas de purificación como filtrado, ósmosis inversa, etc.

2.9. Potenciales impactos ambientales

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bio-acumulación en las cadenas alimenticias).

Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y fangos primarios y secundarios), pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo.

Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras. Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas, industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa, del efluente tratado y de los fangos.

Los impactos indirectos del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, mayores actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos, y menores

demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

De éstos, varios potenciales impactos positivos se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas, al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo, mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación, pueden servir como mediciones parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras.

En una región donde es grande la demanda de viviendas, los beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios, pueden ser reflejados en parte por la diferencia en costos entre la instalación de la infraestructura por adelantado o la adecuación posterior de comunidades no planificadas.

2.10. Problemas socioculturales

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la repoblación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente. A menudo, las tierras y los barrios elegidos, corresponden a los "grupos vulnerables" que son los menos capacitados para afrontar los costos de la reubicación y cuyo ambiente vital ya está alterado.

Se debe tener cuidado de ubicar las instalaciones de tratamiento y eliminación donde los olores o ruidos no molestarán a los residentes u otros usuarios del área, manejar la reubicación con sensibilidad, e incluir en el plan de atenuación del proyecto, provisiones para mitigar o compensar los impactos adversos sobre el medio ambiente humano. Si no se incluye estas consideraciones en la planificación del proyecto, existe el riesgo sustancial.

2.11. Características físicas

Las características físicas más importantes de un agua residual son el contenido total de sólidos, el olor, la temperatura, la densidad, el color, la turbiedad y el pH. Contaminación debida a los sólidos. El vuelco de sólidos a cursos de agua puede causar interferencia en el curso natural de las aguas. Por la sedimentación excesiva de sólidos pueden crearse ambientes propicios para degradación anaerobia. Por otro lado, la presencia de sólidos suspendidos en el agua interfiere en el normal desarrollo de la vida acuática, disminuyendo la profundidad a la que penetra la luz solar.

2.11.1. Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual resiente puede tener un olor desagradable, pero que resulta más tolerable que el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce de la reducción de sulfatos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales de

las industrias pueden contener compuestos olorosos en sí mismos. Efectos de los olores.

A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan, que por el daño que pueden producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos y crear perturbaciones mentales, compuestos olorosos asociados al agua residual.

2.11.2. Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para determinados usos útiles. Por otro lado, el oxígeno se hace menos soluble con el aumento de la temperatura del agua.

El aumento de las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con el vertido de cantidades considerables de agua caliente puede provocar la disminución drástica de la concentración de O_2 en las aguas dependiendo, también, del curso receptor. Hay que tener en cuenta, además, que un cambio brusco en la temperatura puede conducir a un fuerte aumento de la mortalidad de la vida acuática y puede dar lugar a la proliferación de plantas acuáticas y hongos.

2.11.3. Densidad

Es importante durante el tratamiento ya que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad, en lodos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento.

2.11.4. Color

Sirve, junto con el olor, para determinar cualitativamente la edad de un agua residual. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua cambia de gris a gris oscuro, para adquirir finalmente un color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las residuales domésticas.

2.11.5. Turbiedad

La turbiedad, como medida de la capacidad de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se utiliza para indicar la calidad de las aguas vertidas, en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

2.11.6. pH

El pH es un parámetro crítico para el desarrollo adecuado y la proliferación de los microorganismos y la mayor parte de las formas de vida, por lo que un agua residual con un pH inadecuado resulta muy difícil de tratar.

También hay que tener en cuenta que este parámetro gobierna innumerables procesos químicos que pueden, no ser favorables para las personas o el medio ambiente y que pueden estar favorecidos por un cambio en este. Un ejemplo muy claro es la posibilidad de que un efluente que contenga cianuro de sodio, se encuentre con un efluente ácido generando ácido cianhídrico, que es un gas letal.

2.12. Características químicas

Para el estudio de las características químicas de las aguas residuales se deben tener en cuenta la materia orgánica presente, la materia inorgánica y los gases disueltos.

2.12.1. Materia orgánica

Cerca del 75 % de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de un agua residual son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en un agua residual son las proteínas (entre un 40 % y un 60 %), los hidratos de carbono (25 % - 50 %), y las grasas y los aceites (aproximadamente 10 %).

Otro compuesto con importante presencia es la urea, principal constituyente de la orina, que por su rápido proceso de descomposición raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes. Junto a los ya mencionados, el agua residual contiene pequeñas cantidades de un

gran número compuestos orgánicos cuyas estructuras pueden ser simples como extremadamente complejas.

2.12.2. Proteínas

La composición química de las proteínas es muy compleja e inestable, pudiendo adoptar muchos mecanismos de descomposición diferentes. Además, como característica distintiva, contienen una elevada cantidad de nitrógeno y en muchos casos, también contienen azufre, fósforo y hierro. La urea y las proteínas son la principal fuente de nitrógeno de las aguas residuales.

2.12.3. Hidratos de carbono

Desde el punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono más importante en el agua residual. La destrucción de la celulosa es un proceso que se da sin dificultad, principalmente, gracias a la actividad de algunos hongos, cuya acción es notable en condiciones ácidas.

2.12.4. Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos de alcohol (ésteres) o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Químicamente son parecidos y los que son sólidos a temperatura ambiente, se denominan grasas y aceites aquellos que están en estado líquido. Las grasas se encuentran entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad y no son fáciles de degradar biológicamente. Contaminan los

cursos de agua formando una película sobre la superficie que impide el pasaje del oxígeno al agua.

2.12.5. Detergentes

Se clasifican como biodegradables y no biodegradables. Para la eliminación de estos últimos debe recurrirse a métodos fisicoquímicos. Generan espumas que interfieren con el proceso de depuración en las plantas de tratamiento y le dan un mal aspecto a las mismas.

2.12.6. Pesticidas y productos químicos de uso agrícola

Estos compuestos no son de las aguas residuales, sino que suelen incorporarse a las mismas, como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y otras causas. La mayoría de estos productos son tóxicos para la mayor parte de las formas de vida, por lo que se consideran peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Las concentraciones de estos productos químicos pueden provocar la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado (con lo que se reduce su valor nutritivo) y el empeoramiento de la calidad del agua.

2.12.7. Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales que tienen importancia para la determinación y control de calidad del agua. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo de eliminar los constituyentes inorgánicos.

2.12.8. Alcalinidad

En las aguas residuales, está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio. De todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el de magnesio. La presencia de estos compuestos ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina.

2.12.9. Nitrógeno y fósforo

Estos elementos son esenciales para el desarrollo de algunos microorganismos por lo que se conocen como nutrientes. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, también son necesarias para el crecimiento biológico. Puesto que el nitrógeno es básico para la síntesis de proteínas, es necesario conocer la cantidad del mismo en las aguas, para valorar la posibilidad del tratamiento biológico de las aguas residuales. Cuando la cantidad de nitrógeno es insuficiente, es necesario añadirlo para hacer tratable el agua. Cuando este se encuentra en exceso, puede ser necesaria la reducción de las cantidades de nitrógeno para evitar el crecimiento desmedido de algas. El fósforo también esencial para el crecimiento de las algas, por lo que también debe ser controlado a la hora de verter el agua a los cuerpos receptores.

2.12.10. Azufre

El ion sulfato se encuentra tanto en las aguas de abastecimiento como en la residual. Para la síntesis de las proteínas es necesario disponer de azufre,

que posteriormente se libera en el proceso de degradación. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias.

2.12.11. Metales pesados

Entre ellos se destacan el Ni, Mn, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Fe, Hg, As. Algunos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida y la ausencia de cantidades suficientes podría limitar el crecimiento de las algas, por ejemplo.

Debido a su toxicidad, la presencia en cantidades excesivas de cualquiera de ellos interferirá con el uso que se le pueda dar al agua. Es por ello que es conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias.

Algunos de ellos son de uso común en la actividad agrícola y la industrial, por lo que sus límites están legislados.

- Cromo: carcinógeno y corrosivo. A largo plazo provoca daño en los riñones y sensibilidad en la piel.
- Cadmio: carcinógeno y altamente tóxico. A largo plazo se concentra en el hígado, riñones, páncreas y tiroides. Puede provocar hipertensión.
- Plomo: tóxico por ingestión o inhalación. A largo plazo produce daños cerebrales y en los riñones. Produce defectos de nacimiento.
- Mercurio: altamente tóxico por adsorción cutánea y por inhalación. A largo plazo produce daños al sistema nervioso. Puede causar defectos de nacimiento.
- Arsénico: carcinógeno. A largo plazo puede provocar fatiga.

2.12.12. Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas residuales son el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el metano. Los tres primeros son gases presentes en la atmósfera y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos son producto de la descomposición (aerobia y anaerobia) de la materia orgánica.

2.12.13. Oxígeno disuelto

Es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida. Es ligeramente soluble en agua y su presencia, al igual que la del resto de los gases, está condicionada por la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura, la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos, etc.). Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de oxígeno disuelto.

2.12.14. Sulfuro de hidrógeno

Como ya fue mencionado, proviene de la descomposición anaerobia de la materia orgánica que contiene azufre o la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable y con un olor típico. El ennegrecimiento de las aguas residuales se debe principalmente a la formación de sulfuro ferroso y otros sulfuros metálicos.

2.12.15. Metano

Es el principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Normalmente no se encuentra en las aguas residuales, porque pequeñas cantidades de oxígeno son tóxicas para los microorganismos responsables de su producción.

2.13. Características microbiológicas

Organismos patógenos son tal vez la característica más importante de las aguas residuales en este aspecto, es la presencia de organismos patógenos procedentes de desechos humanos, que estén infectados o sean portadores de una cierta enfermedad. Los principales grupos de organismos patógenos son las bacterias, los virus, los protozoos y los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre, causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera.

2.14. El MARN: Reglamento de aguas residuales (Nov. 10, 2006)

El Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, entró en vigencia el 12 de mayo de 2006 y su implementación conlleva una serie de responsabilidades y obligaciones por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), debido a que es el ente rector sectorial para la aplicación de tal normativa.

En el caso del sector industrial, es fundamental enfatizar que el MARN iniciará las inspecciones para corroborar la elaboración del Estudio Técnico, a partir del 12 de mayo de 2007. El plazo para la realización de dicho estudio por parte de las empresas que generan aguas residuales, es de conformidad con el Artículo 68 del Acuerdo Gubernativo en mención.

2.15. Tubería

La tubería o cañería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto. Cuando el fluido transportado es gas, se utiliza la denominación específica de gasoducto. Hay tres métodos de fabricación de tubería:

2.15.1. Sin costura

La tubería es un lingote cilíndrico, el cual es calentado en un horno antes de la extrusión. En la extrusión se hace pasar por un dado cilíndrico y posteriormente se hace el agujero mediante un penetrador. La tubería sin costura es la mejor para la contención de la presión, gracias a su homogeneidad en todas sus direcciones. Además, es la forma más común de fabricación y por tanto la más comercial.

2.15.2. Con costura longitudinal

Se parte de una lámina de chapa la cual se dobla dándole la forma a la tubería. La soldadura que une los extremos de la chapa doblada cierra el cilindro. Por tanto es una soldadura recta que sigue toda una generatriz. Variando la separación entre los rodillos se obtienen diferentes curvas y con ello diferentes diámetros de tubería. Esta soldadura será la parte más débil de la tubería y marcará la tensión máxima admisible.

2.15.3. Con soldadura helicoidal (o en espiral)

La metodología es la misma que el punto anterior, con la salvedad de que la soldadura no es recta sino que recorre la tubería siguiendo la tubería como si fuese roscada.

2.15.4. Materiales

Las tuberías se construyen en diversos materiales en función de consideraciones técnicas y económicas. Suele usarse el Poliéster Reforzado con fibra de vidrio (PRFV), hierro fundido, acero, latón, cobre, plomo, hormigón, polipropileno, PVC, polietileno de alta densidad (PEAD).

2.15.4.1. Uso doméstico

Para este tipo de uso se necesitan condiciones del agua y de las

conexiones para poder hacer llegar el agua a los domicilios. Se pueden mencionar algunos de estas condiciones a continuación:

2.15.4.1.1. Agua

Actualmente, los materiales más comunes con los que se fabrican tubos para la conducción de agua son: PRFV, cobre, PVC, polipropileno, PEAD y acero.

2.15.4.1.2. Desagües

Los materiales más comunes para el desalojo de aguas servidas son: PRFV, hierro fundido, PVC, hormigón o fibrocemento. Los nuevos materiales que están reemplazando a los tradicionales son el PRFV (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio), PEAD (Polietileno de Alta Densidad) y PP (Polipropileno).

2.15.5. Accesorios de tuberías

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso. Entre los tipos de accesorios más comunes se puede mencionar:

- Bridas
- Codos

- Tés
- Reducciones
- Cuellos o acoples
- Válvulas
- Empacaduras
- Tornillos y niples

Entre las características se encuentran: tipo, tamaño, aleación, resistencia, espesor y dimensión.

- Diámetros: es la medida de un accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo y depende de las especificaciones técnicas exigidas.
- Resistencia: es la capacidad de tensión en libras o en kilogramos que puede aportar un determinado accesorio en plena operatividad.
- Aleación: es el material o conjunto de materiales del cual está hecho un accesorio de tubería.
- Espesor: es el grosor que posee la pared del accesorio de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas.

2.15.5.1. Bidas

Son accesorios para conectar tuberías con equipos (bombas, intercambiadores de calor, calderas, tanques, etc.) o accesorios (codos, válvulas, etc.).

Figura 2. **Vista de bridas**



Fuente: GARCÍA REZA, Clemente. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. p. 18.

La unión se hace por medio de dos bridas, en la cual una de ellas pertenece a la tubería y la otra al equipo o accesorio a ser conectado. La ventaja de las uniones bridadas radica en el hecho de que por estar unidas por espárragos, permite el rápido montaje y desmontaje a objeto de realizar reparaciones o mantenimiento.

2.15.5.2. Disco Ciego

Son accesorios que se utilizan en las juntas de tuberías entre bridas para bloquear fluidos en las líneas o equipos con un fin determinado

Figura 3. **Vista frontal de un disco ciego**



Fuente: GARCÍA REZA, Clemente. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. p. 20.

Los discos ciegos existen en diferentes formas y tamaños, los más comunes son:

- Un plato circular con lengua o mango
- Bridas terminales o sólidas

2.15.5.3. Codo

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tantos grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.

Figura 4. **Vista de diferentes codos**



Fuente: GARCÍA REZA, Clemente. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. 15.

Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la pre-fabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son:

- Codos estándar de 45°
- Codos estándar de 90°
- Codos estándar de 180°

Entre las características principales de este accesorio están las siguientes:

- **Diámetro:** es el tamaño o medida del orificio del codo entre sus paredes los cuales existen desde ¼" hasta 120"". También existen codos de reducción.
- **Ángulo:** es la existente entre ambos extremos del codo y sus grados dependen del giro o desplazamiento que requiera la línea.
- **Radio:** es la dimensión que va desde el vértice hacia uno de sus arcos. Según sus radios los codos pueden ser: radio corto, largo, de retorno y extra largo.

- Espesores: una normativa o codificación del fabricante determinada por el grosor de la pared del codo.
- Aleación: es el tipo de material o mezcla de materiales con el cual se elabora el codo, entre los más importantes se encuentran: acero al carbono, acero a porcentaje de cromo, acero inoxidable, galvanizado, etc.
- Junta: es el procedimiento que se emplea para pegar un codo con un tubo, u otro accesorio y esta puede ser: soldable a tope, roscable, embutible y soldable.
- Dimensión: es la medida del centro al extremo o cara del codo y la misma puede calcularse mediante formulas existentes, (dimensión = 2 veces su diámetro).

2.15.5.4. Te

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y Schedule y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería. Existen diferentes tipos como se pueden mencionar las siguientes:

- Diámetros iguales o te de recta
- Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual

Entre las características principales de este accesorio están las siguientes:

- Diámetro: los tes existen en diámetros desde ¼" " hasta 72" " en el tipo fabricación.

- **Espesor:** este factor depende del espesor del tubo o accesorio a la cual va instalada y ellos existen desde el espesor fabricación hasta el doble extrapesado.
- **Aleación:** las más usadas en la fabricación son: acero al carbono, acero inoxidable, galvanizado, etc.
- **Juntas:** para instalar las te en líneas de tubería se puede hacer, mediante procedimiento de rosca embutible-soldable o soldable a tope.
- **Dimensión:** es la medida del centro a cualquiera de las bocas de la te.

2.15.5.5. Reductores

Los reductores son accesorios que se pueden utilizar como reductores de las tuberías o de las crecientes, juntas de expansión, correctores flexibles y eliminadores de vibración.

Figura 5. **Vista lateral de un reductor**



Fuente: GARCÍA REZA, Clemente. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. p. 12.

Son accesorios de forma cónica, fabricados de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías. Existen las:

- Estándar concéntrica: es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.
- Estándar excéntrica: es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.

Y presentan las siguientes características:

- Diámetro: es la medida del accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo, y varía desde $\frac{1}{4}$ " " x $\frac{3}{8}$ " " hasta diámetros mayores.
- Espesor: representa el grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va a ser instalada. Existen desde el espesor estándar hasta el doble extrapesado.
- Aleación: es la mezcla utilizada en la fabricación de reducciones, siendo las más usuales: al carbono, acero al % de cromo, acero inoxidable, etc.
- Junta: es el tipo de instalación a través de juntas roscables, embutibles soldables y soldables a tope.
- Dimensión: es la medida de boca a boca de la reducción (concéntrica y excéntrica).

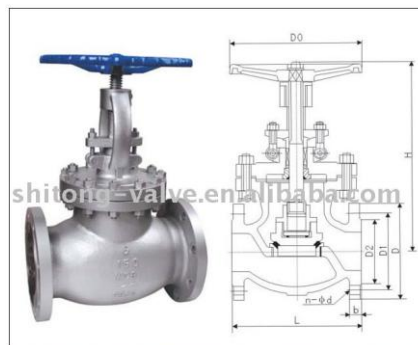
2.15.5.6. Válvulas

Es un accesorio que se utiliza para regular y controlar el fluido de una tubería. Este proceso puede ser desde cero (válvula totalmente cerrada), hasta de flujo (válvula totalmente abierta), y pasa por todas las posiciones intermedias, entre estos dos extremos. Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican como se especifica a continuación.

2.15.5.6.1. Válvula de globo

Siendo de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado respectivamente. Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño, para que el obturador cierre en contra de la presión diferencial del proceso.

Figura 6. Vista de una válvula de globo



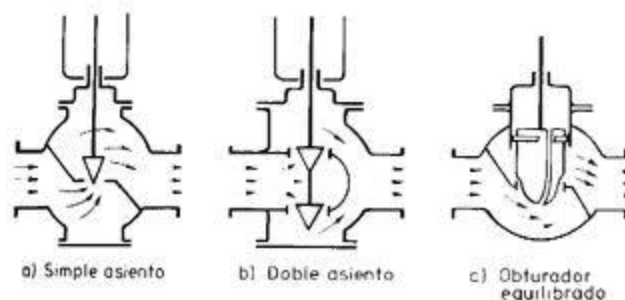
Fuente: www.valveenlibaba.com. Consulta: 24 de julio del 2013.

Por lo tanto, se emplean cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas. El cierre estanco se logra con obturadores provistos de una arandela de teflón. En la válvula de doble asiento o de obturador equilibrado la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es menor que en la válvula de simple asiento. Por este motivo se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial. En posición de cierre las fugas son mayores que en una válvula de simple asiento.

2.15.5.6.2. Válvula en ángulo

Es empleada para controlar la circulación del aire o del líquido, en la que el eje de salida es perpendicular al eje de entrada. También llamada válvula angular.

Figura 7. Vista de tres tipos de válvula de ángulo



Fuente: www.directindustry.es/prod/vg-scienta/valvulas.html. Consulta: 29 de julio de 2013.

Permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada, para disminuirla erosión cuando esta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial. El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan, para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

2.15.5.6.3. Válvula de jaula

Consiste en un obturador cilíndrico que desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula.

Figura 8. **Vista lateral de la válvula de jaula**



Fuente: MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos aplicada*. p. 266.

Se caracteriza por el fácil desmontaje del obturador y porque este puede incorporar orificios, que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial, favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien, cuando deba trabajarse con una alta presión

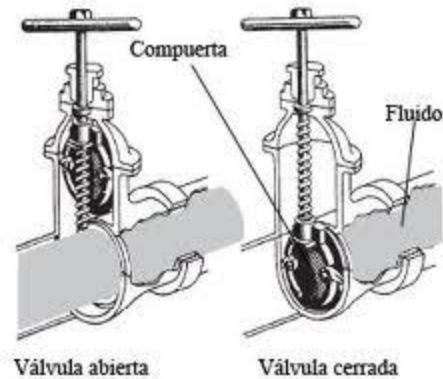
diferencial. Como el obturador está contenido dentro de la jaula, la válvula es muy resistente a las vibraciones y al desgaste. Por otro lado, el obturador puede disponer de aros de teflón que, con la válvula en posición cerrada, asientan contra la jaula y permiten lograr así un cierre hermético.

2.15.5.6.4. Válvula de compuerta

La válvula de compuerta es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cuál puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido.

Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación.

Figura 9. **Dos vistas de una válvula de compuerta (externa y en tubo interno)**



Fuente: MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos aplicada*. p. 376.

Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo o nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total.

2.16. PVC

Que significa PVC, su nombre Policloruro de Vinilo. Es un material plástico, sólido, que se presenta en su forma original, como un polvo de color blanco. Se fabrica mediante la polimerización del cloruro de vinilo monómero que a su vez es obtenido de la sal y del petróleo. Fue patentado como fibra sintética hace ya más de 80 años y en 1931 empezó su comercialización. El

consumo mundial en la actualidad se sitúa en torno a los 23 millones de toneladas anuales lo que lo convierten en uno de los plásticos con mayor demanda en el mundo.

El 43 % del peso de la molécula PVC procede del petróleo y el 57 % de la sal, fuente inagotable. Se puede afirmar, que el PVC es el plástico con menor dependencia del petróleo.

Las materias primas para la producción de PVC son el petróleo y la sal común. El refinado del petróleo da lugar a una fracción, las naftas que por medio de un procedimiento denominado *cracking*, producen otras sustancias gaseosas, el etileno una de las bases para la fabricación del PVC. Paralelamente el cloruro sódico se descompone por electrolisis, obteniéndose cloro y además hidróxido sódico e hidrogeno.

La reacción del etileno y el cloro da lugar al monómero cloruro de vinilo obteniéndose previamente el producto intermedio dicloroetano. Mediante la polimerización del monómero en reactores en unas condiciones adecuadas de presión y temperatura, se obtiene el polímero Poli Cloruro de Vinilo PVC. En este proceso de polimerización las moléculas del monómero se agrupan en largas cadenas.

El PVC es ligero, químicamente inerte y completamente inocuo. Resiste al fuego y a la intemperie, es aislante (térmico, eléctrico y acústico), de elevada transparencia, protege a los alimentos, es económico (relación calidad/precio), fácil de transformar (por extrusión, inyección, calandrado, termo conformado, prensado, recubrimiento y moldeo de pastas) y totalmente reciclable.

Sus aplicaciones más importantes se destinan a los siguientes sectores:

- Construcción 51 %
- Envases de alimentos 11 %
- Otros envases 6 %
- Agricultura 10 %
- Bienes de consumo 8 %
- Cables 7 %
- Usos médicos 4 %
- Automoción 3 %

Se utiliza mayoritariamente en aplicaciones de larga duración en un 64 %, su vida oscila entre 15 a 100 años; se usa en tuberías, ventanas, puertas, muebles, etc. En un 24 % se utiliza para trabajos de media duración y tiene una vida útil de 2 y 15 años, se usa para electrodomésticos, autos, tapicería, mangueras, y juguetes. En un 12 % se usa para trabajos de corta duración teniendo una duración de 0 a 2 años como para botellas, tarimas, blíster, etc.

El PVC es uno de los plásticos más utilizados en el mundo. Su versatilidad le permite ser utilizado por diversos sectores; en la actualidad ante el aumento dramático de la población en nuestro país y en general en el mundo entero, los diferentes servicios y productos que se dispone tienen que ser mejor administrados. La optimización de los recursos ha alcanzado todos los niveles de la vida humana.

2.16.1. Tuberías de PVC

En el caso del agua dicha optimización adquiere gran importancia, ya que la disponibilidad del líquido disminuye cada vez más y por lo tanto su obtención se dificulta y encarece de manera importante. Un uso eficiente del agua implica la utilización de mejores sistemas de extracción, conducción y almacenamiento de agua; además del cambio de forma de pensar del usuario del recurso.

Dentro de los sistemas de conducción, en el mercado existen tuberías con gran diversidad de materiales, que dependiendo de las condiciones de operación se comportan de manera satisfactoria o no. La tubería de PVC ofrece entre otras características, las siguientes ventajas:

- **Ligereza:** el peso de un tubo de PVC es aproximadamente la quinta parte de un tubo de asbesto, cemento o de uno de acero de iguales dimensiones.
- **Hermeticidad:** los diferentes tipos de unión que se usan en la tubería hidráulica garantizan una completa hermeticidad del sistema.
- **Toxicidad:** el PVC no aporta ningún elemento al agua.
- **Facilidad de instalación:** por su ligereza y facilidad de unión no se requiere maquinaria sofisticada para su instalación, además, se tiene un avance de obra mayor por los tramos de 6 metros en que se fabrica el tubo.
- **Menor rugosidad:** para las mismas condiciones de diámetro, longitud y caudal el PVC tiene menores pérdidas de carga ya que su coeficiente de

Manning es de 0,09, de Hazen Williams de 150 y su rugosidad absoluta es de 0,0015.

- Flexibilidad de la tubería: la tubería de PVC presenta flexibilidad tanto longitudinalmente como de forma vertical transversalmente.

2.17. Tamaños de tuberías

Las tuberías se clasifican en función de su diámetro y de su espesor de pared. El espesor de la pared de una tubería está indicado por el número de norma, el cual aumenta con el espesor. Se utilizan 10 números de norma – 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 - pero para tuberías de diámetro menor a 8 pulgadas solo son comunes los diámetros 40, 80, 120, 160.

El tamaño del tubo está indicado por el diámetro exterior. El valor nominal es el diámetro exterior real, dentro de tolerancias más estrechas. El espesor de la pared está indicado generalmente por el número BWG (Birmingham Wire Gauge), el cual varía desde 24 (muy ligero) hasta 7 (muy pesado).

2.18. Selección de tamaños de tuberías

El tamaño seleccionado de tubería para una instalación particular, depende sobre todo de los costos de la tubería y accesorios, así como de la energía requerida para el bombeo del fluido. El costo de la tubería y del capital anual de la carga se incrementa con el diámetro de la tubería elevado a una potencia aproximada de 1,5, mientras que el costo para el flujo turbulento varía con el diámetro. Existen ecuaciones para calcular el diámetro óptimo de la

tubería en función de la velocidad de flujo y de la densidad del fluido, pero estas pueden transformarse para determinar la velocidad óptima, la cual es casi independiente de la velocidad de flujo. Para el flujo turbulento de líquido en tuberías mayores de 1 pulgada de diámetro, la velocidad óptima es:

$$V_{opt} = 12m^{0.1} / \rho^{0.36}$$

Dónde:

V_{opt} = la velocidad óptima (ft/s)

m = la velocidad masiva de flujo (lb/s)

ρ = la densidad del fluido (lb/ft³)

Para el agua y fluidos similares V_{opt} es de 3 a 6 ft/s (0,9 a 1, 8 m/s).

Para grandes sistemas de tubería compleja es factible que el costo de la tubería se a una fracción sustancial de la inversión total.

2.19. Reutilización del agua residual en agricultura

Los efluentes utilizados para riego proceden de colectividades urbanas con mezcla de aguas domésticas y aguas depuradas procedentes de industrias. Las aguas residuales no suelen utilizarse para riego de especies de consumo, aunque sí para riego de especies arbóreas con finalidad de producción forestal.

Figura 10. **Uso del agua en la agricultura**



Fuente: www.teorema.com.mx. Consulta: 15 de junio del 2013

Las aguas residuales presentan unas ventajas e inconvenientes en su uso agrario frente a un agua no contaminada:

- Agua residual: aporta abundantes elementos nutritivos (es un agua fertilizada), pero conlleva riesgos sanitarios con posible contaminación de los acuíferos.
- Agua no contaminada: no presenta problemas sanitarios, el riesgo de contaminación es nulo y su poder fertilizante escaso.

2.20. Reutilización con fines municipales y recreativos

Este tipo de reutilización va dirigida principalmente a los siguientes usos:

- Riego de masas forestales de propiedad pública
- Riego de parques y jardines públicos
- Riego de calles
- Embalsamiento para prevención de incendios municipales y forestales

- Creación de lagos artificiales

Esta reutilización conlleva una infraestructura consistente en una red de distribución doble, una para el agua potable y otra para el agua que va a ser reutilizada. Esta doble red presenta el problema de poder contaminar el agua potable, con lo cual se han de tener en cuenta criterios técnicos y sanitarios.

El consumo de agua residual para estos fines puede equilibrar la producción, siendo nulo el exceso de agua residual depurada y evitando problemas derivados del impacto medioambiental. A su vez, en determinadas épocas del año en que la producción de agua residual es mayor, el exceso generado puede ser acumulado en lagos o embalses reguladores para su uso en la extinción de incendios forestales.

2.21. Reutilización para transporte y lavado

Entre los usos que se puede dar al agua residual en este tipo de actividades, se tienen:

- Lavado de materias primas (carbón, azucareras, etc.) y su transporte.
- Lavado de productos acabados o semiacabados (pastas en papeleras, productos de laminado, pieles en curtidurías, tejidos en tintorería, etc.).
- Lavados de mantenimiento (vagones, suelos, calles de polígonos industriales, fachadas, etc.).
- Lavado del gas antes de su vertido en la atmósfera.

Para este tipo de actividades, el agua residual procede del agua residual municipal de tipo doméstico y puede ser mezclada con aguas industriales. No es necesaria una calidad muy apreciable para estos fines, no obstante el agua municipal debe ser previamente depurada con, al menos, un tratamiento secundario.

2.22. Reutilización para refrigeración industrial

La reutilización del agua para refrigeración, viene marcada por dos factores muy concretos:

- Existencia de una carestía acusada que obliga a una reutilización indispensable por la falta de recursos hídricos.
- Zonas fuertemente industrializadas donde elevados volúmenes de agua obligan a sustraer recursos para el suministro doméstico.

La refrigeración por agua se utiliza en numerosas industrias y procesos: producción de electricidad, siderurgia, petroquímica, química, industria automovilística, cementeras, incineración de residuos, etc.

2.23. Reutilización para el calentamiento de sistemas

El agua residual urbana, en épocas frías, tiene una temperatura media de 15° C, superior, por tanto, a las aguas continentales o marítimas. Este ligero incremento térmico puede aprovecharse mediante el empleo de bombas de calor cuyo funcionamiento está basado en el cambio de estado de un gas.

En el paso de estado del gas a líquido, se cede al entorno una cierta cantidad de calor, y luego este líquido, al evaporarse, absorbe calor del exterior, completándose así el ciclo. Realmente utilizar el agua residual depurada para el calentamiento de edificios o calles, exige tener en cuenta unas condiciones climáticas extremas con inviernos largos y rigurosos y que aconsejen los costos de una infraestructura para esta reutilización. La recuperación de calor es más típica de establecimientos industriales que de edificios.

2.24. Reutilización para producción de biomasa

El agua residual urbana puede ser empleada como fuente de nutrientes para el desarrollo y crecimiento de seres vivos. El caso más frecuente es el riego de especies agrícolas o forestales; sin embargo, y dentro de este reino vegetal, existen otras vías de aplicación que se encuentran en fase de investigación y desarrollo (tales como la producción de microalgas como aprovechamiento conjunto de la energía solar y la energía potencial del agua residual).

La producción de biomasa animal tiene hoy en día una aplicación más directa desde el punto de vista comercial, aunque su aplicación es aún muy escasa, siendo la piscicultura la técnica más empleada.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables van a ser las condicionantes que afectarán el desarrollo del diseño del sistema de reutilización del efluente, se tendrán variables que se van a poder controlar y que el sistema si va a depender de estas para su desarrollo, también se tendrán variables independientes que no se van a poder controlar y van a ser totalmente independientes del desarrollo del sistema.

3.1.1. Independientes

- Las condiciones ambientales (temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa) en las que se va a reutilizar el agua.

3.1.2. Dependientes

- El flujo de agua diario de la planta de tratamiento, ya que se necesitará un flujo de acuerdo al área a la que se destinará el agua y de esta manera cubrir las necesidades de dicha área.
- Los factores fisicoquímicos del agua que cumplan con los requerimientos del sistema de gestión de calidad.

- Los factores microbiológicos del efluente que cumplan con las especificaciones de acuerdo al sistema de acondicionamiento de agua.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El diseño del sistema de reutilización del efluente de una planta de tratamiento de agua residual, se va a realizar para una planta de tratamiento ubicada en un complejo industrial dedicado a la fabricación y envasado de bebidas, el diseño va a constar del último tratamiento necesario al agua para adecuarla totalmente para su utilización.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Realizador: Luis Alfredo Lemus Mayora
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
- Coasesora: Inga. Mónica Franco
- Supervisor de Mantenimiento: Gustavo Valle
- Jefe de Mantenimiento: Ing. Carlos Coronado
- Jefe de Laboratorio: Ing. Raúl Figueroa

3.4. Recursos materiales disponibles

- Calculadora
- Computadora
- Potenciómetro
- Turbidímetro

- Espectrofotómetro
- Kit para determinación de silicatos 1,11148 de Merck
- Kit para determinación de fosfatos 1,14792 de Merck
- Kit para determinación de cloruros 1,11106 de Merck
- Kit para determinación de hierro 1,11136 de Merck
- Bomba de vacío
- Cajas de Petri
- Frascos para toma de muestras para análisis microbiológico
- Autoclave
- Guantes
- Mascarilla
- Mechero
- Kitasato
- Filtro de membranas
- Lapiceros
- Marcadores
- Perilla de succión

3.5. Técnica cuantitativa

Este trabajo es totalmente cuantitativo ya que se recolectó información que es totalmente mensurable. La información recolectada fueron los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del efluente, realizados para poder determinar la calidad del agua que se tiene y si se necesita realizarle algún paso preliminar para su adecuación. Se utilizaron

para estos datos criterios estadísticos, para poder recolectarlos y poderlos analizar y validar de una manera más adecuada y sencilla.

Al obtener estos datos de los análisis se procedió a realizar el diseño del sistema de reutilización del efluente, para este diseño se realizaron cálculos de caudal, el diámetro de tubería, la potencia de las bombas, cantidad de accesorios, por lo que también, sigue siendo un estudio netamente cuantitativo, ya que estos cálculos van a ser datos obtenidos para poder realizar un diseño.

El estudio a realizar por el cual se obtendrán los datos que se analizaron es un estudio longitudinal ya que se analizaron ciertas variables y criterios de diseño a lo largo de 4 meses, que es el tiempo estipulado que se tenía para poder tener una cantidad de datos, para poder tomar una decisión sobre la reutilización del agua y con esta decisión de acuerdo a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados, se decidió si el efluente necesita de un paso preliminar o si cumple con los requisitos establecidos por el sistema de gestión de calidad para su utilización en el proceso.

3.5.1. Procedimientos de cálculos que se podrán utilizar

Para poder determinar los caudales necesarios de acuerdo a la necesidad se tienen los siguientes métodos:

- Método de las áreas

Este método consiste en la determinación del caudal en cada nudo considerando su área de influencia. Este método es recomendable para que el caudal sea uniforme. El caudal en el nudo será:

$$Q_i = Q_u * A_i$$

Donde el caudal unitario de superficie se calcula por:

$$Q_u = Q_t / A_t$$

Donde:

Q_u = caudal unitario superficial (L/s/area superficial)

Q_i = caudal en el nudo "i" (L/s)

Q_t = caudal máximo horario del proyecto (L/s)

A_i = área de influencia del nudo (Ha)

A_t = superficie total del proyecto (Ha)

- Método de la longitud unitaria

Por este método se calcula el caudal unitario, dividiendo el caudal máximo horario entre la longitud de la red. Para obtener el caudal en cada tramo, se debe multiplicar el caudal unitario por la longitud del tramo correspondiente, por lo tanto:

$$Q_i = q * L_i$$

Donde:

$q = Q_{mh}/L$

q = caudal unitario por metro lineal de tubería (L/s/m)

Q_i = caudal en el tramo "i" (L/s)

Q_{mh} = caudal máximo horario (L/s)

L_t = longitud total de tubería del proyecto (m)

L_i = longitud del tramo "i" (m)

- Ecuación para calcular la velocidad óptima (que sirve para determinar el diámetro óptimo de la tubería)

$$V_{opt} = 12m^{0.1} / \rho^{0.36}$$

Dónde:

V_{opt} = la velocidad óptima (ft/s)

m = la velocidad masiva de flujo (lb/s)

ρ = la densidad del fluido (lb/ft³)

para el agua y fluidos similares V_{opt} es de 3 a 6 ft/s (0,9 a 1, 8 m/s).

3.5.2. Consideraciones de diseño a tomar en cuenta

Para poder realizar el diseño se tienen que tomar ciertas consideraciones de acuerdo a los lugares en donde estará la tubería, como estará ubicada, a donde se quiere suministrar el agua, etc. A continuación se mencionan las consideraciones a tomar en cuenta:

3.5.2.1. Válvulas de seccionamiento

La ubicación y cantidad de válvulas de seccionamiento en un sistema como el que se va a diseñar, se determinan con la finalidad de poder aislar un tramo o parte de la red en caso de reparaciones, ampliaciones, o de limpieza del sistema, manteniéndose el servicio en el resto de esta red. Mientras mayor número de válvulas se tengan en la red, menor será la parte sin servicio en caso de una reparación, pero más costoso el proyecto.

3.5.2.2. Válvulas reductoras de presión

Las válvulas reductoras de presión reducen automáticamente la presión aguas debajo de las mismas, hasta un valor prefijado. En los casos en que no se pueda acceder a una válvula reductora de presión, se puede optar por el uso de una cámara rompe-presión.

3.5.2.3. Cámara de válvulas

Todas las válvulas deberán contar con cámara de válvulas para fines de protección, operación y mantenimiento. Las dimensiones de la cámara deberán permitir la operación de herramientas y otros dispositivos alojados dentro de la misma.

3.5.2.4. Cámaras rompe-presión

En la instalación de una cámara rompe-presión debe de preverse de un flotador o regulador de nivel de aguas, para el cierre automático una vez que se encuentre llena la cámara y para periodos de ausencia de flujo.

3.5.2.5. Anclajes

Se instalarán anclajes de seguridad en los siguientes casos:

- En tuberías expuestas a la intemperie que requieran estar apoyadas en soportes o adosadas a formaciones naturales de roca.
- En los cambios de dirección tanto horizontales como verticales de tramos enterrados o expuestos.
- En tuberías colocadas en pendiente mayores a 60 grados respecto a la horizontal. Los anclajes más comunes son para curvas horizontales, verticales, té y terminaciones de tubería.

3.5.3. Equipos

Los equipos que se utilizaron para las mediciones de los análisis fisicoquímicos fueron los siguientes:

Figura 11. **Turbidímetro**



Turbidímetro Hach Ratio
Modelo 2100 N.
Medir la turbidez de las soluciones

Fuente: Laboratorio del Complejo Industrial.

Figura 12. **Espectrofotómetro**



Espectrofotómetro
Spectronic Genesys 20
Para medir la absorbancia y el color

Fuente: Laboratorio del Complejo Industrial.

Figura 13. **Espectrofotómetro NOVA**



Espectrofotómetro
Spectroquant NOVA 60
Marca Merck
Para medir las concentraciones
de los análisis FQ, por medio de
Kits de Merck

Fuente: Laboratorio del Complejo Industrial.

Figura 14. **Potenciómetro**



Potenciómetro
WTW, Inolab, Modelo pH Level 2

Para medir el pH de soluciones en
general

Fuente: Laboratorio del Complejo Industrial.

Figura 15. **Conductímetro**



Conductímetro

WTW, Inolab, Modelo Cond. Level 2

Para medir la conductividad y la cantidad de sólidos disueltos, en la muestra

Fuente: Laboratorio del Complejo Industrial.

3.5.4. Procedimientos fisicoquímicos y microbiológicos

A continuación se mencionarán los procedimientos fisicoquímicos y microbiológicos que se utilizarán para el análisis, del agua, y estos procedimientos son los establecidos según las especificaciones que tiene que cumplir el agua para su utilización, de acuerdo al sistema de gestión, la especificación que tiene la empresa tiene como análisis requeridos los siguientes:

- Medición de pH
- Medición de cantidad de sólidos disueltos
- Dureza
- Alcalinidad total
- Fosfatos
- Silicatos
- Cloruros

- Hierro
- Cloro total
- Microbiológico
- Turbidez
- Color

Para estos análisis requeridos por el sistema de gestión, se realizan las determinaciones con los siguientes procedimientos:

3.5.4.1. Medición de pH

Para este método se utiliza un Potenciómetro WR Symphony con electrodo de Ag/AgCl, soluciones *buffer* certificadas, agua desmineralizada, *beacker*, agitadores magnéticos, papel limpiantes, y el procedimiento para la medición del pH es el siguiente:

- Encender el potenciómetro y dejarlo estabilizar por lo menos 15 minutos antes de usarlo;
- Verificar que el equipo esté calibrado;
- Destapar el agujero para relleno del electrodo y lavar el electrodo con agua desmineralizada;
- Eliminar el exceso de agua del electrodo con papel absorbente que no deje residuos y que no ralle el electrodo;
- Lavar el electrodo con un poco de la muestra;
- Transferir aproximadamente 50 o 100 mL de muestra a un *beacker*. La muestra debe de estar a menos de 30 °C para realizar la medición;
- Introducir en la muestra el electrodo limpio y seco;

- Presionar la tecla MEASURE para realizar la lectura, agitando constantemente con el magneto;
- Una vez que la lectura se estabilice, tomar ese dato como resultado;
- Expresar los resultados directamente de la lectura del potenciómetro.

3.5.4.2. Medición de sólidos disueltos

Para este procedimiento se utiliza un Conductímetro, la solución estándar de cloruro de potasio 0,01 M o un juego de calibración para conductímetro, y se procede a realizar el siguiente procedimiento:

- Verificar que el conductímetro esté calibrado y si no es así, calibrarlo con la solución de Cloruro de Potasio o con el juego de calibración;
- Enjuagar la copa del conductímetro con la muestra, dejando esta unos segundos entre cada enjuague para ajustar la temperatura;
- Para muestra de agua tomar la lectura con el indicador en μSm como la del efluente que se trabajará;
- Los resultados se expresan como ppm de sólidos. Si los resultados se leyeron en μSm se debe de dividir por 1,5 y expresar en ppm, y es la cantidad de sólidos disueltos que están en la muestra.

3.5.4.3. Medición de dureza

Para este procedimiento se utilizan diferentes reactivos, como la solución titulante de EDTA (0,01M), la solución *buffer* y como indicador el negro de ericromo, y para poder realizar esta determinación de la dureza se realiza el siguiente procedimiento:

- Agregar 50 mL de la muestra a un Erlenmeyer;
- Agregar 1 o 2 mL de la solución *buffer* y mezclar;
- Agregar 0,1 g de indicador y mezclar;
- Si al agregar el indicador la muestra se torna azul o celeste de una vez no se titula con EDTA, pero si la muestra se torna un color morado, la muestra se titula con EDTA;
- Agregar la solución de EDTA, agitando continuamente bajo condiciones normales el color final de la solución es azul;
- Si no se titula con EDTA la muestra se toma que la muestra tiene 0 ppm de dureza, y si se titula el volumen titulado se multiplica por un factor de 20 y se obtienen las ppm de dureza.

3.5.4.4. Determinación de alcalinidad

Para realizar este método basado en la Norma US Standard Methods, se utilizan los siguientes reactivos: indicador naranja de metilo y solución de ácido sulfúrico al 0,02 N y se sigue el siguiente procedimiento:

- Agregar 2 gotas de naranja de metilo a 50 mL de muestra de agua;
- Titular la muestra con la solución de ácido sulfúrico al 0,02 N hasta que la solución vire a color rosa;
- Para calcular y encontrar la cantidad de ppm de alcalinidad se multiplica por 50 el volumen de ácido utilizado para la titulación.

3.5.4.5. Determinación de fosfatos

Para poder realizar esta determinación de fosfatos se utiliza el kit de Merck basado en la Norma US Standard Methods y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están, el ion Fosfato ($\text{PO}_4\text{-1}$) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Se pipetea 5 mL de la muestra de agua a un tubo de ensayo;
- Se agregan con pipeta 1,2 mL del reactivo $\text{PO}_4\text{-1}$, se tiene que tapar el tubo de ensayo con tapón o papel parafilm, mezclar;
- Luego verter la muestra en una cubeta de 10 mm y medir con el método adecuado en el fotómetro;
- Anotar los resultados de acuerdo a los obtenidos por el equipo.

3.5.4.6. Determinación de silicatos

Para poder realizar esta determinación de silicatos se utiliza el kit de Merck basado en la Norma US Standard Methods 4500-Si E y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones silicato (Si-1 , Si-2 , Si-3) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Agregar 5 mL con pipeta de agua destilada a un tubo de ensayo;
- Agregar 0,5 mL de la muestra preparada, con pipeta al tubo de ensayo;
- Luego agregar 4 gotas de reactivo Si-1 y mezclar;
- Añadir 2,0 mL de reactivo Si-2 y mezclar;
- Luego dejar reposar por 3 minutos para que se dé la primera reacción;

- Luego agregar 4 gotas del reactivo Si-3 y mezclar;
- Dejar en reposo por 2 minutos para que se dé la segunda reacción;
- Luego introducir la muestra en una cubeta de vidrio de 10 mm y medir en el fotómetro;
- Anotar los datos dados por el fotómetro.

3.5.4.7. Determinación de cloruros

Para poder realizar esta determinación de cloruros se utiliza el kit de Merck basado en la Norma US Standard Methods y en la EPA 325.1 y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones cloruro (Cl^{-1} , Cl^{-2}) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Se agregan con pipeta 5 mL de muestra a un tubo de ensayo;
- Luego se agregan 2,5 mL de reactivo Cl-1 añadirlos con pipeta y mezclar;
- Luego agregar 0,5 mL de reactivo Cl-2 añadirlos con pipeta y mezclar;
- Dejar por tiempo de 1 minuto tapado el tubo de ensayo en reposo para que la reacción se lleve a cabo y se estabilice;
- Luego verter la muestra del tubo de ensayo a una celda de 10 mm y luego con el método de cloruros en el fotómetro realizar la medición;
- Anotar los datos que da el equipo en la pantalla.

3.5.4.8. Determinación de hierro

Para poder realizar esta determinación de hierro se utiliza el kit de Merck basado en la Norma US Standard Methods y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones hierro (Fe-) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Agregar 5 mL de muestra a un tubo de ensayo con pipeta;
- Luego añadir 3 gotas del reactivo Fe-1, tapar el tubo de ensayo y mezclar;
- Luego dejar en reposo por 3 minutos para que la reacción se lleve a cabo;
- Verter la muestra a una cubeta de 10 mm de vidrio y medir en el fotómetro.

NOTA: para este método realizarlo en una campana de extracción, con mascarilla y guantes.

3.5.4.9. Determinación de cloro total

Para poder realizar esta determinación de cloro total, se utiliza el kit de Merck basado en la Norma US Standard Methods y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones cloruro (Cl^{-1} , Cl^{-2}) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Agregar 10 mL de la muestra a un tubo de ensayo;

- Luego agregar una microcuchara del reactivo Cl_2^{-1} , añadir y agitar vigorosamente;
- Luego agregar 2 gotas del reactivo Cl_2^{-2} y mezclar;
- Dejar por un minuto que repose la muestra para que se termine de llevar a cabo la reacción;
- Luego verter la muestra a una celda de vidrio de 10 mm y medir en el fotómetro;
- Anotar los datos dados por el equipo.

3.5.4.10. Determinación de sulfatos

Para poder realizar esta determinación de sulfatos, se utiliza el kit de Merck basado en la Norma US Standard Methods y utilizando un fotómetro NOVA para su medición; entre los reactivos que se utilizan están los iones sulfato (SO_3^{-1} , SO_3^{-2}) y se utiliza la siguiente técnica para su determinación:

- Añadir 5 mL de la muestra a un recipiente de medición;
- Añadir 2 gotas de reactivo SO_3^{-1} , y agitar por balanceo;
- Añadir 2 gotas de reactivo SO_3^{-2} , y agitar por balanceo;
- Luego colocar la pipeta de valoración suelta sobre el frasco de reactivo SO_3^{-3} , abierto. Tirar lentamente del émbolo de la pipeta de valoración desde la posición más baja, hasta que el borde inferior de la junta negra del émbolo coincida con la raya de marcado cero de la escala (aquí se llena solamente el tubo cuentagotas con solución valorante);
- Sacar la pipeta de valoración y rozar brevemente la punta del tubo cuentagotas para eliminar el exceso del líquido adherido. Lentamente y agitando por balanceo gotear luego la solución de valoración a la

muestra, hasta que su color vire a azul. Poco antes de llegar al viraje de color esperar unos segundos después de cada gota;

- En el borde inferior de la junta negra del émbolo leer el valor de medición en ppm de sulfato de sodio (Na_2SO_3) en la escala de la pipeta de valoración;

3.5.4.11. Determinación de color

Para este método se utiliza un Espectrofotómetro Spectronic Genesys 20, alcohol absoluto y el procedimiento es el siguiente:

- Ajustar el espectrofotómetro usando alcohol absoluto como blanco, a una longitud de onda de 430 nm;
- Colocar en una celda la muestra y esperar a que no tenga burbujas para leer su absorbancia;
- Los datos se expresan en UIC (Unidades de Internacionales de Color) y se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$\text{UIC} = \text{Absorbancia} * 1000$$

3.5.4.12. Determinación de turbidez

Para este método utilizar un Turbidímetro Hach Ratio Modelo 2100 N, viales o celdas para medición, silicón y paño. Y el procedimiento es el siguiente:

- Encender el turbidímetro, el tiempo para calentar es de aproximadamente 15 a 20 minutos;
- Verificar el turbidímetro que esté en la unidad de medida correcta (NTU);

- Trasvasar la muestra a un vial limpio, evitando las burbujas y llegando el nivel indicado por la línea del vial;
- Agregar aceite de silicón a la superficie del vial, limpiarlo con el paño para remover el exceso de aceite y las manchas de huellas digitales, sostener el vial de la parte de arriba;
- Colocar el vial con la muestra en el compartimiento para muestra y bajar la tapadera;
- Permitir que el instrumento se estabilice, luego leer y guardar el valor;
- Anotar los resultados expresados por el equipo.

3.5.4.13. Análisis microbiológico

Para el análisis microbiológico se utiliza la técnica de filtración al vacío por membrana. El procedimiento es el siguiente:

- La toma de muestra en frascos estériles;
- Luego se arma la unidad de filtración compuesta por un kitasato, el embudo, las pinzas y la bomba de vacío;
- Luego un disco filtrante estéril se pone en la unidad de filtración;
- Se hace pasar un volumen de 100 mL de la muestra por el disco filtrante, las bacterias serán detenidas en la superficie de la membrana;
- Se quita el disco filtrante con unas pinzas que se esterilizan anteriormente y esta membrana se coloca dentro del medio para coliformes, E. Coli o recuento total según corresponda, estos medios han sido hidratados previamente;
- Luego estos medios (cajas de Petri) se introducen en la incubadora y se dejan durante 24 horas para poder realizar la lectura de los medios.

Figura 16. **Esquema del procedimiento del análisis Microbiológico**



Fuente: Laboratorio de control de calidad del Complejo Industrial.

3.6. **Recolección y ordenamiento de la información**

- Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos del efluente, de la planta de tratamiento de agua residual;
- Se determinó con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, el estado del efluente de la planta de tratamiento de agua residual;
- Se realizó una verificación de estos análisis contra la especificación del sistema de gestión para el agua utilizada de ingreso al sistema de acondicionamiento para producción;
- Luego de realizar esta verificación, se encuentra con la dualidad que pueda ser que el agua cumpla y que directamente ingrese al sistema de acondicionamiento para distribución;
- La otra opción es que el agua no cumpla en ciertos parámetros y que sea necesario un tratamiento preliminar antes de que esta ingrese y se mezcle con el agua de distribución para poder ingresar al sistema de acondicionamiento de agua;

- Se realizó una verificación última analizando los parámetros necesarios en los cuales se pueda observar si el agua cumple con los requerimientos según el sistema de gestión;
- Ya con estos datos se procedió a realizar el diseño del sistema de reutilización, ya sea directo o con un tratamiento preliminar.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se llevarán en un control en las tablas que están a continuación:

Tabla II. Datos requeridos para evaluar el efluente

Sulfitos (ppm)									
Turbidez (NTU)									
Color (UIC)									
Cloro total (ppm)									
Hierro (ppm)									
Cloruros (ppm)									
Silicatos (ppm)									
Fosfatos (ppm)									
Alcalinidad (ppm)									
Dureza (ppm)									
Solidos (ppm)									
pH									
No.									
Fecha									

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla III. **Datos requeridos para evaluar el agua de distribución (pozo)**

	Fecha	No.	pH	Solidos (ppm)	Dureza (ppm)	Alcalinidad (ppm)	Fosfatos (ppm)	Silicatos (ppm)	Cloruros (ppm)	Hierro (ppm)	Cloro total (ppm)	Color (u/c)	Turbidez (NTU)	Sulfuros (ppm)

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla IV. Datos de análisis microbiológicos para evaluar el efluente y el pozo

No.	Fecha	Muestra	Coliformes	Recuento Total	E. Coli.	Mohos Y levaduras

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

NOTA: para los análisis microbiológicos se utiliza la norma COGUANOR y se aceptan 200 UFC de recuento total y 0 UFC de Coliformes y E. Coli.

3.8. Análisis estadístico

Se trabajó con un 95 % de confiabilidad, para la realización de los análisis, para que de esta manera se pueda llegar a obtener un diseño totalmente adecuado, por lo que se realizaron 15 análisis fisicoquímicos y microbiológicos, con una frecuencia de un análisis por semana, ya que con esta cantidad de análisis se puede llegar a obtener una tendencia bastante representativa, del comportamiento de los puntos analizados para verificar que estos datos estén dentro de las especificaciones requeridas por el sistema de gestión de calidad, y así con esta cantidad de datos se obtuvieron gráficas, donde se pudo tener una tendencia del comportamiento de los componentes analizados durante ese tiempo.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para probar las diferencias entre diversas medias en el estudio, ya que las pruebas ANOVA dependen del supuesto de que todas las poblaciones en comparación, están distribuidas normalmente y con la misma varianza.

4. RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron en la medición de los diferentes parámetros, de los puntos analizados (efluente y pozo), se realizaron durante 15 semanas, teniendo dentro de estos 8 semanas de análisis cuando la producción en el complejo es alta y 7 semanas cuando la producción es normal.

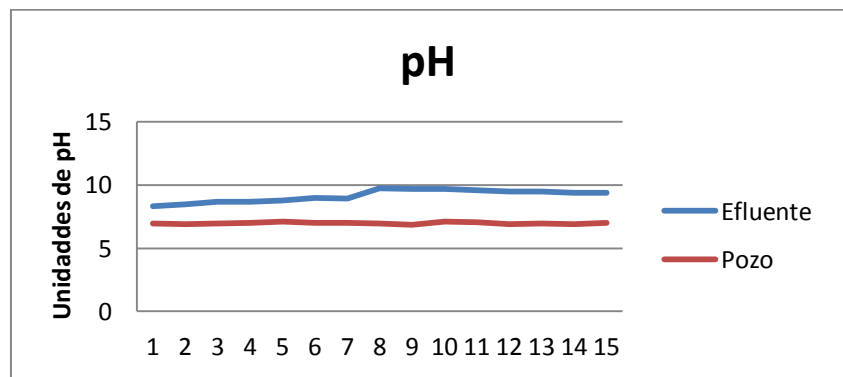
Las fechas en las que se realizaron los análisis son las semanas del 29 de noviembre del 2012 al 03 de marzo del 2013, lo que indica que en los meses de noviembre y diciembre la producción es más alta en comparación con los meses de enero, febrero y marzo. Esto es un parámetro adecuado para el estudio realizado y así se puede observar el comportamiento del efluente en los distintos tiempos de producción, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla V. **Resultados de pH Obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	8,3	6,95
2	05/12/2012	8,45	6,92
3	13/12/2012	8,65	6,93
4	19/12/2012	8,68	7,0
5	28/12/2012	8,78	7,1
6	03/01/2013	8,98	7,0
7	10/01/2013	8,92	6,98
8	14/01/2013	9,71	6,93
9	23/01/2013	9,7	6,86
10	29/01/2013	9,66	7,09
11	05/02/2013	9,58	7,04
12	13/02/2013	9,5	6,92
13	21/02/2013	9,49	6,96
14	26/02/2013	9,38	6,9
15	05/03/2013	9,36	6,98

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 17. **Comportamiento del pH del efluente y del pozo (agua de distribución)**



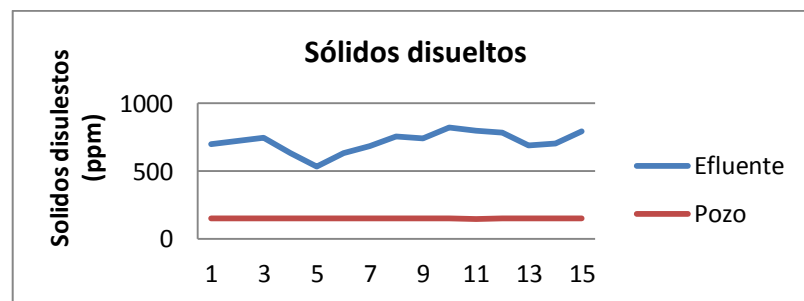
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla VI. **Resultados de sólidos disueltos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	700	150,67
2	05/12/2012	722,2	152,05
3	13/12/2012	747,3	150
4	19/12/2012	631	151
5	28/12/2012	532	150
6	03/01/2013	631	152
7	10/01/2013	685	150
8	14/01/2013	756,7	151,3
9	23/01/2013	742,7	150,7
10	29/01/2013	822,1	151,3
11	05/02/2013	800	148
12	13/02/2013	782,1	152,1
13	21/02/2013	689	153,2
14	26/02/2013	705	149,7
15	05/03/2013	792,1	150,7

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 18. **Comportamiento de los sólidos disueltos del efluente y del pozo (agua de distribución)**



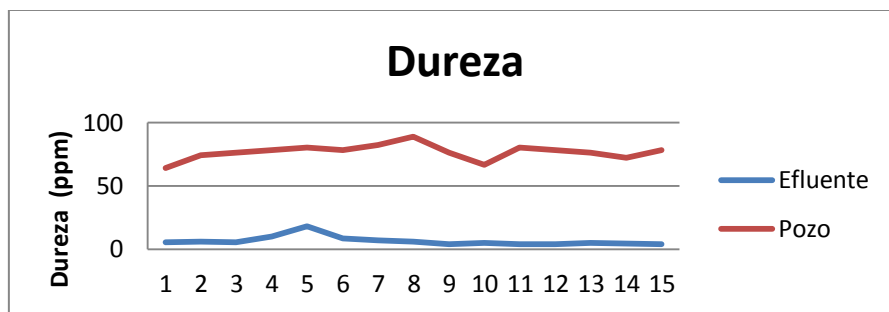
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla VII. **Resultados de dureza total (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	5,4	64,2
2	05/12/2012	5,8	74,2
3	13/12/2012	5,6	76
4	19/12/2012	10	78
5	28/12/2012	18	80
6	03/01/2013	8,3	78
7	10/01/2013	7,1	82
8	14/01/2013	6,2	89
9	23/01/2013	4	76
10	29/01/2013	4,8	66,4
11	05/02/2013	3,9	80
12	13/02/2013	4,2	78
13	21/02/2013	4,8	76
14	26/02/2013	4,6	72
15	05/03/2013	4,2	78

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 19. **Comportamiento de la dureza total del efluente y del pozo (agua de distribución)**



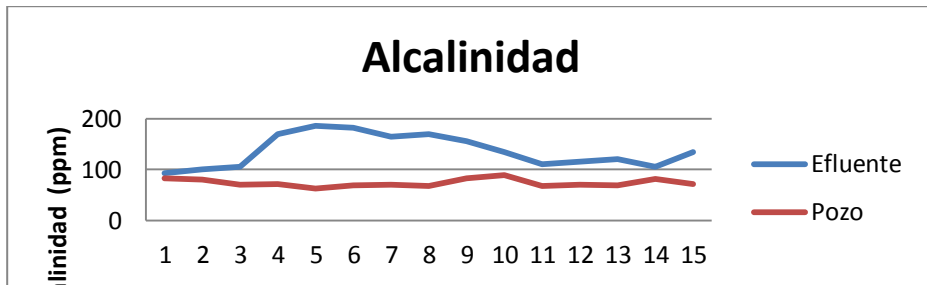
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla VIII. **Resultados de alcalinidad obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	92,5	82,5
2	05/12/2012	100	80
3	13/12/2012	105	70
4	19/12/2012	170	72
5	28/12/2012	186	63
6	03/01/2013	182	69
7	10/01/2013	165	70
8	14/01/2013	170	68
9	23/01/2013	155,5	82,5
10	29/01/2013	135	88,5
11	05/02/2013	110	68
12	13/02/2013	115	70
13	21/02/2013	120	69
14	26/02/2013	105	81
15	05/03/2013	135	72

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 20. **Comportamiento de la alcalinidad del efluente y del pozo (agua de distribución)**



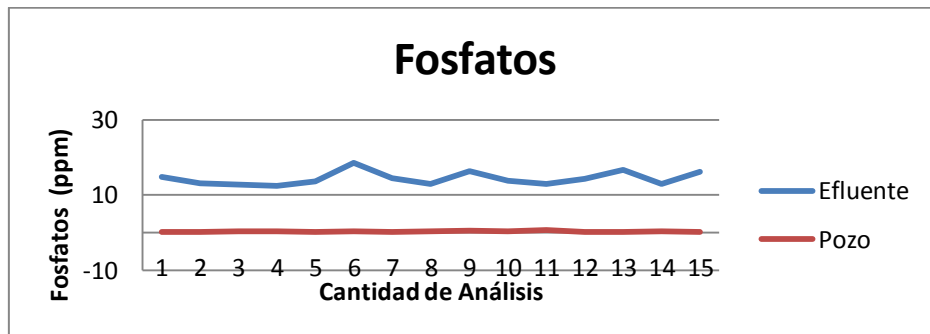
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla IX. **Resultados de fosfatos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	14,8	0,1
2	05/12/2012	13,1	0,1
3	13/12/2012	12,8	0,3
4	19/12/2012	12,4	0,3
5	28/12/2012	13,6	0,2
6	03/01/2013	18,6	0,3
7	10/01/2013	14,5	0,2
8	14/01/2013	12,9	0,3
9	23/01/2013	16,3	0,5
10	29/01/2013	13,8	0,4
11	05/02/2013	12,9	0,6
12	13/02/2013	14,3	0,1
13	21/02/2013	16,7	0,2
14	26/02/2013	12,9	0,3
15	05/03/2013	16,1	0,1

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 21. **Comportamiento de los fosfatos del efluente y del pozo (agua de distribución)**



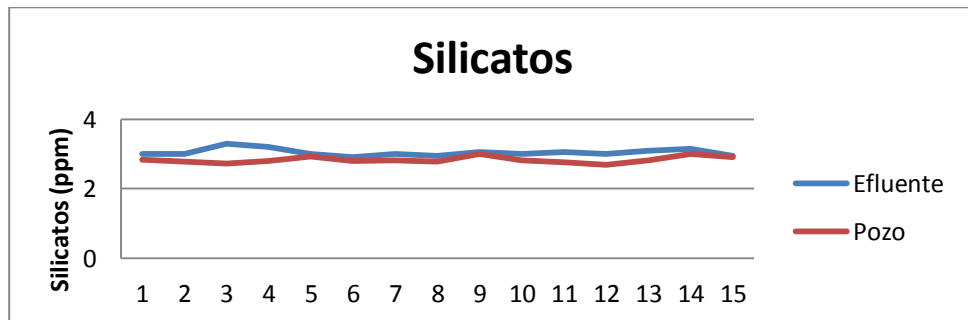
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla X. **Resultados de silicatos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	3	2,83
2	05/12/2012	3	2,78
3	13/12/2012	3,3	2,72
4	19/12/2012	3,2	2.8
5	28/12/2012	3	2,92
6	03/01/2013	2,91	2.8
7	10/01/2013	3	2,82
8	14/01/2013	2,95	2,78
9	23/01/2013	3,05	3
10	29/01/2013	3	2,82
11	05/02/2013	3,05	2,76
12	13/02/2013	3	2,68
13	21/02/2013	3,1	2,81
14	26/02/2013	3,15	3
15	05/03/2013	2,95	2,91

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 22. **Comportamiento de los silicatos del efluente y del pozo (agua de distribución)**



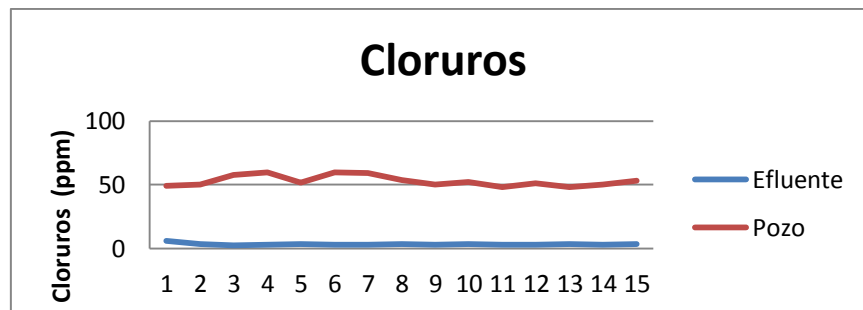
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XI. **Resultados de cloruros (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	5,83	49,3
2	05/12/2012	3,8	50,3
3	13/12/2012	2,4	57,7
4	19/12/2012	2,9	59,8
5	28/12/2012	3,4	51,6
6	03/01/2013	2,9	60
7	10/01/2013	3,1	59,1
8	14/01/2013	3,7	53,8
9	23/01/2013	3,1	50,1
10	29/01/2013	3,4	52
11	05/02/2013	2,8	48
12	13/02/2013	2,9	51,2
13	21/02/2013	3,4	48
14	26/02/2013	3	50
15	05/03/2013	3,7	53,2

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 23. **Comportamiento de los cloruros del efluente y del pozo (agua de distribución)**



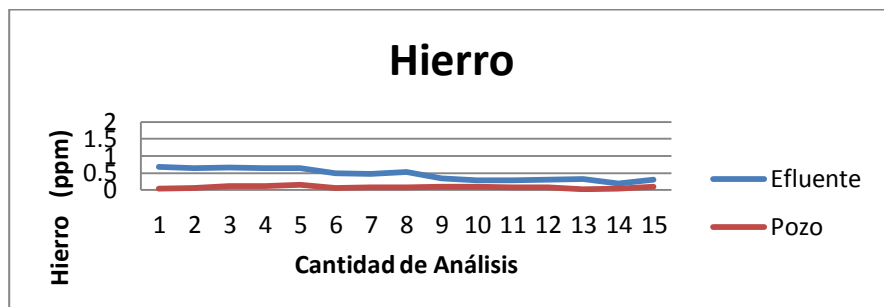
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XII. **Resultados de hierro (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	0,68	0,04
2	05/12/2012	0,65	0,06
3	13/12/2012	0,67	0,11
4	19/12/2012	0,64	0,12
5	28/12/2012	0,65	0,15
6	03/01/2013	0,5	0,05
7	10/01/2013	0,48	0,07
8	14/01/2013	0,52	0,08
9	23/01/2013	0,34	0,1
10	29/01/2013	0,28	0,09
11	05/02/2013	0,28	0,08
12	13/02/2013	0,3	0,07
13	21/02/2013	0,32	0,02
14	26/02/2013	0,2	0,04
15	05/03/2013	0,3	0,09

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 24. **Comportamiento del hierro del efluente y del pozo (agua de distribución)**



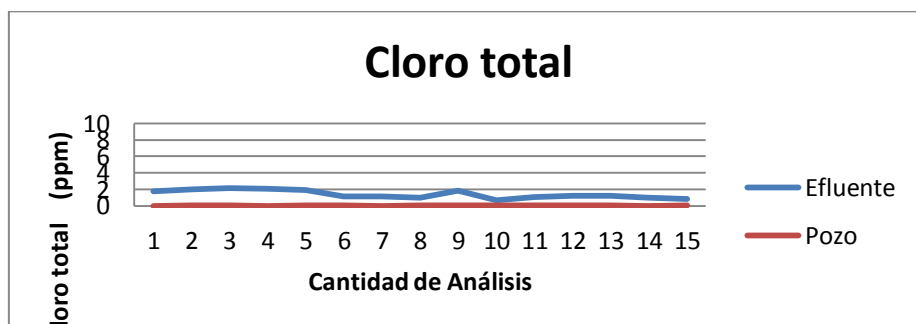
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XIII. **Resultados de cloro total (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	1,73	0,01
2	05/12/2012	2	0,02
3	13/12/2012	2,11	0,03
4	19/12/2012	2,1	0,01
5	28/12/2012	1,95	0,02
6	03/01/2013	1,15	0,02
7	10/01/2013	1,1	0,01
8	14/01/2013	1,01	0,03
9	23/01/2013	1,8	0,03
10	29/01/2013	0,7	0,07
11	05/02/2013	1,05	0,04
12	13/02/2013	1,2	0,03
13	21/02/2013	1,25	0,02
14	26/02/2013	1	0,01
15	05/03/2013	0,8	0,03

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 25. **Comportamiento del cloro total del efluente y del pozo (agua de distribución)**



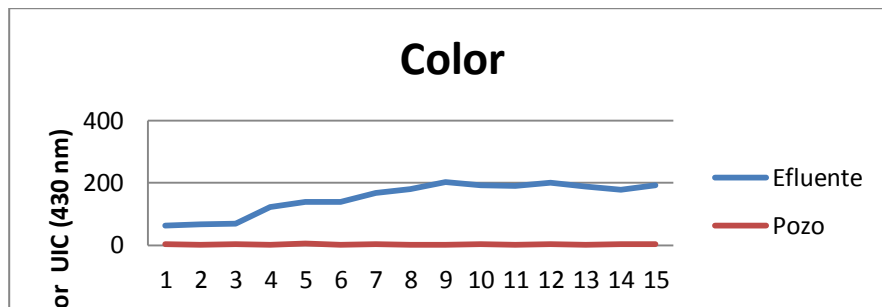
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XIV. **Resultados de color (UIC a 430 nm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	62	3
2	05/12/2012	68	2
3	13/12/2012	70	3
4	19/12/2012	122	2
5	28/12/2012	138	5
6	03/01/2013	139	2
7	10/01/2013	168	3
8	14/01/2013	181	2
9	23/01/2013	202	1
10	29/01/2013	193	4
11	05/02/2013	190	2
12	13/02/2013	200	3
13	21/02/2013	189	1
14	26/02/2013	178	4
15	05/03/2013	192	3

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 26. **Comportamiento del color del efluente y del pozo (agua de distribución)**



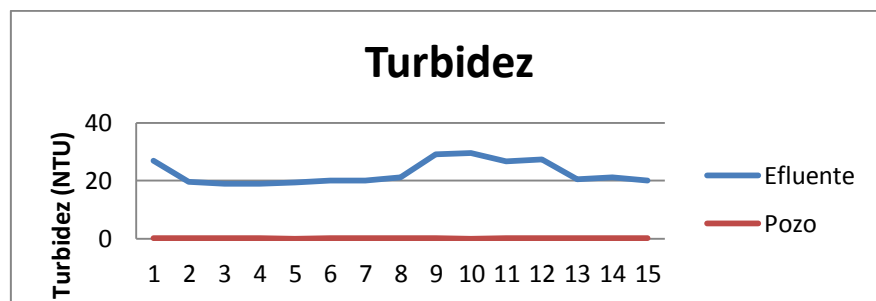
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XV. **Resultados de turbidez (NTU) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	27	0,154
2	05/12/2012	19,7	0,138
3	13/12/2012	19	0,146
4	19/12/2012	19	0,101
5	28/12/2012	19,4	0,093
6	03/01/2013	20	0,122
7	10/01/2013	20,1	0,131
8	14/01/2013	21,3	0,156
9	23/01/2013	29,2	0,234
10	29/01/2013	29,5	0,067
11	05/02/2013	26,8	0,132
12	13/02/2013	27,3	0,128
13	21/02/2013	20,5	0,172
14	26/02/2013	21,2	0,162
15	05/03/2013	20	0,132

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 27. **Comportamiento de la turbidez del efluente y del pozo (agua de distribución)**



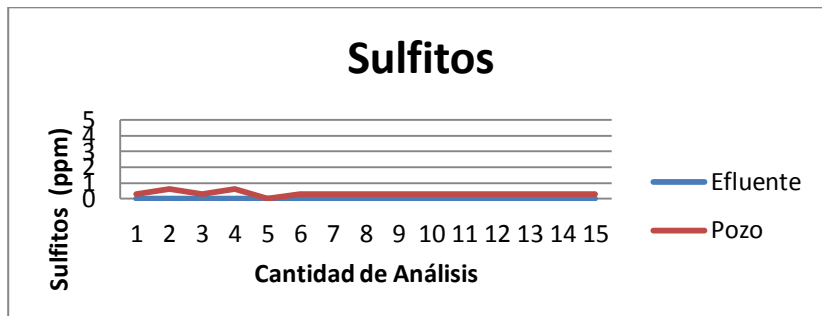
Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XVI. **Resultados de sulfitos (ppm) obtenidos para el efluente y el pozo**

No.	FECHA	Efluente	Pozo
1	29/11/2012	0	0,316
2	05/12/2012	0	0,632
3	13/12/2012	0	0,316
4	19/12/2012	0	0,632
5	28/12/2012	0	0
6	03/01/2013	0	0,316
7	10/01/2013	0	0,316
8	14/01/2013	0	0,316
9	23/01/2013	0	0,316
10	29/01/2013	0	0,316
11	05/02/2013	0	0,316
12	13/02/2013	0	0,316
13	21/02/2013	0	0,316
14	26/02/2013	0	0,316
15	05/03/2013	0	0,316

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Figura 28. **Comportamiento de los sulfitos del efluente y del pozo (agua de distribución)**



Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XVII. **Resultados microbiológicos obtenidos para el efluente**

No.	Fecha	Muestra	Coliformes	Recuento Total	E. Coli.	Mohos Y levaduras
1	29/11/2012	Efluente	incontable	3	1	2
2	05/12/2012	Efluente	incontable	34	0	4
3	13/12/2012	Efluente	incontable	7	0	5
4	19/12/2012	Efluente	154	4	0	3
5	28/12/2012	Efluente	178	8	0	6
6	03/01/2013	Efluente	190	14	0	1
7	10/01/2013	Efluente	89	56	0	0
8	14/01/2013	Efluente	incontable	35	4	0
9	23/01/2013	Efluente	225	64	7	0
10	29/01/2013	Efluente	incontable	24	3	1
11	05/02/2013	Efluente	108	52	5	5
12	13/02/2013	Efluente	110	68	9	2
13	21/02/2013	Efluente	incontable	15	0	0
14	26/02/2013	Efluente	incontable	25	7	0
15	05/03/2013	Efluente	incontable	33	0	9

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XVIII. **Resultados microbiológicos obtenidos para el pozo (agua de distribución)**

No.	Fecha	Muestra	Coliformes	Recuento Total	E. Coli.	Mohos Y levaduras
1	29/11/2012	Distribución	2	3	0	1
2	05/12/2012	Distribución	0	12	0	2
3	13/12/2012	Distribución	0	4	0	0
4	19/12/2012	Distribución	1	5	0	0
5	28/12/2012	Distribución	2	7	0	0
6	03/01/2013	Distribución	0	2	0	0
7	10/01/2013	Distribución	0	3	0	0
8	14/01/2013	Distribución	3	2	0	0
9	23/01/2013	Distribución	5	6	0	0
10	29/01/2013	Distribución	0	11	0	0
11	05/02/2013	Distribución	0	7	0	0
12	13/02/2013	Distribucion	0	6	0	2
13	21/02/2013	Distribución	2	5	0	0
14	26/02/2013	Distribución	1	1	0	0
15	05/03/2013	Distribución	3	6	0	4

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

Tabla XIX. **Desviaciones estándar obtenidas en los resultados de los análisis realizados**

Análisis Realizados	Efluente	Pozo
Dureza total	3,499	5,77
pH	0,4689	0,065265
Sólidos disueltos	0,074	1,210092
Alcalinidad	30,23	7,011419
Fosfatos	1,7436	0,14453
Silicatos	0,100519	0,089134
Cloruros	0,760043	4,08049
Hierro	0,167284	0,032904
Cloro total	0,477838	0,014996
Color	48,85	1,074968
Turbidez	3,85221	0,036972
Sulfitos	0	0,13974

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

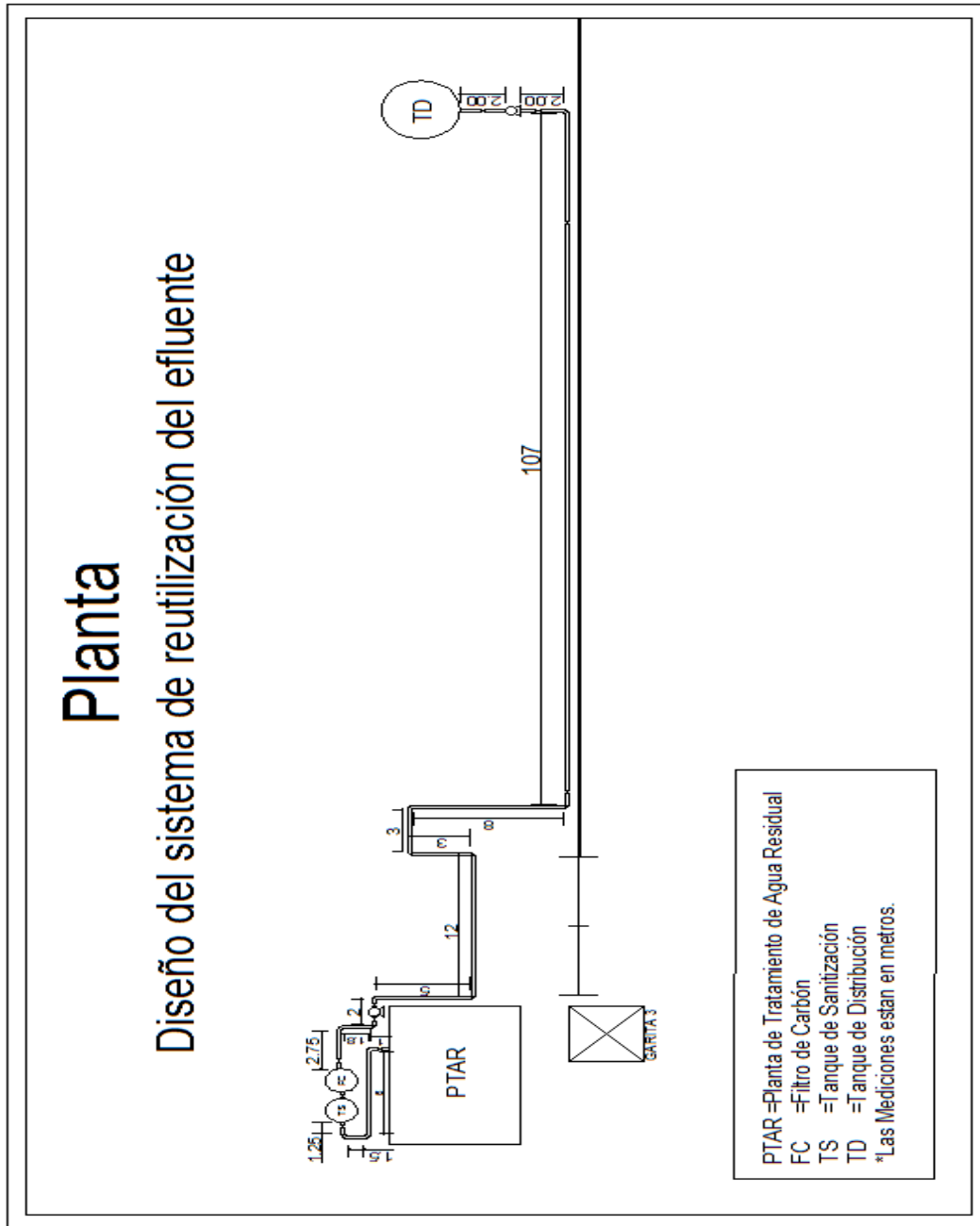
Tabla XX. Presupuesto del Costo del Sistema de Reutilización

Materiales	Costo unitario	Costo total
Tubos de hierro BS 1387 Liviano de cédula 20 de 3" de diámetro	Q390,00 C/U * 22 = Q8 580,00	Q8 580,00
Anclajes de hierro (90 grados)	Q75,00 * 60 = Q4 500,00	Q4 500,00
Codos de 3"	Q20,00 * 25 = Q500,00	Q500,00
Válvulas	10 * Q 1 500,00 = Q15 000,00	Q15 000,00
Bombas ya instaladas (de 5 HP)	2 * Q22 000,00= Q44 000,00	Q44 000,00
Tanque de sanitización ya instalado (10 000 L)		Q50 000,00
Filtro de carbón activado ya instalado		Q75 000,00
Acoples	35 * Q 30,00 = Q1 050,00	Q1 050,00
Instalación de tubería subterránea en dos puntos		Q10 000,00
Adaptadores de válvulas	10 * Q42,00 = Q420,00	Q420,00
Dosificadores de cloro		Q2 500,00
Sensor de apertura y cierre del sistema		Q3 000,00
TOTAL		Q214 550,00

Fuente: elaboración propia. Microsoft Excel.

- Presupuesto para diseño con capacidad para 300 m³ de reutilización de agua.
- Siguiendo según el CIU = 1591, (para una industria de Destilación, Rectificación y Mezcla de bebidas alcohólicas, producción de etanol a partir de sustancias fermentadas).

Figura 29. **Diseño del sistema de reutilización del efluente**



Fuente: elaboración propia. Autocad

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo del presente trabajo de graduación fue el diseño de un sistema de reutilización del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales, en un complejo industrial dedicado a la fabricación y envasado de bebidas, para lograr obtener una reducción en el consumo de agua, un cumplimiento en el sistema de gestión de calidad, ambiente y responsabilidad social empresarial.

Para llevar a cabo este objetivo se realizaron varios análisis fisicoquímicos y microbiológicos (pH, sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, fosfatos, silicatos, cloruros, hierro, cloro total, microbiológico turbidez, color), en el efluente de la planta de tratamiento y en el pozo (agua de distribución).

Posteriormente se compararon los resultados del efluente con el agua del pozo, observando los parámetros evaluados en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos y analizando la desviación existente entre estos dos puntos, para poder realizar un buen estudio, cumpliendo con los sistemas de gestión y control de calidad.

Para poder tomar la decisión del diseño adecuado, y el área a donde se iba a reutilizar el agua; se realizaron 15 corridas de los análisis y de esta manera poder obtener una buena tendencia del comportamiento de los parámetros evaluados. Una buena observación es que el estudio fue realizado en un tiempo de 4 meses, teniendo dentro de estos dos meses de alta producción y dos de producción normal; lo que ayudó para observar el

comportamiento de la planta de tratamiento cuando el volumen de agua pasa de 375 a 400 m³ de agua diarios a 150 – 175 m³diarios.

Para comparar los resultados obtenidos del efluente que es lo que se va a utilizar, se realizó contra la Norma COGUANOR NTG 29 001, en su última versión que es la Norma para Agua para Consumo Humano (agua potable). Revisando cada uno de los parámetros analizados, se observó que los parámetros de color, turbidez y microbiológico son los que están fuera de los límites aceptados por esta norma.

Analizando los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que el área en donde se reutilizará el agua, será para el área de distribución del complejo (riego, sanitarios, lavado de carros, exterior de camiones, etc.). Por eso fue que se realizó la comparación con la Norma COGUANOR para agua potable. Esto debido a que únicamente hay que corregir pocos parámetros, los cuales se pueden corregir por medio de tratamientos preliminares del efluente antes de reutilizar el agua y de esta manera poder cumplir con los parámetros establecidos.

Analizando los resultados obtenidos se pudo observar que el pH del efluente comparando con el del pozo, presenta 1,5 puntos más alto que la del pozo, esto debido a que la cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) utilizado en las lavadoras de envase, afecta el pH del agua por lo tanto hace que se eleve el pH de la planta, ya que el agua de las lavadoras es el agua en que mayor porcentaje llega a la planta de tratamiento. Lo que se pudo observar también, es que el análisis del pH tuvo una desviación de 0,4689 para el efluente, lo que

indica que el comportamiento es bastante estable y que la concentración de estos productos es similar sin importar la fecha en la que se trabaje.

La cantidad de sólidos disueltos que se tiene en el efluente se observa que es 4,5 veces mayor que en el pozo, esto debido a los contaminantes que trae el agua de los sanitarios, de las lavadoras, de envase y de todo el proceso de producción. Otro de los parámetros analizados como lo es la dureza total (CaCO_3), se observa que el efluente presenta una dureza muy baja y esto es debido a que el 90 % del agua que llega a la planta, es agua que va del proceso de producción y ahí el agua utilizada es agua suave, también se observa que la dureza del pozo es alta alrededor de 90 ppm, estos parámetros indican que el proceso de acondicionamiento del agua para producción es muy bueno, ya que se puede observar que la dureza en el efluente disminuye hasta 5 ppm.

Para poder tomar una buena decisión y realizar el diseño de la mejor manera, se analizó la alcalinidad de los dos puntos mencionados, en este parámetro se puede observar que si existe una gran diferencia más que todo en los meses de noviembre y diciembre y esto se da debido a que en estos meses la cantidad de envase que se lava y que utiliza NaOH es mucho más alta que en los meses, de producción normal, lo que hace que aumente la capacidad alcalina del agua, lo que se observa es que esta capacidad alcalina ya la trae el agua del manto freático donde se succiona el agua del pozo ya que en el efluente, la capacidad alcalina es 2 veces más grande, obteniendo una desviación estándar de 30,23 esto debido a la variación existente por la diferencia que hay en los meses que se hizo la medición.

Los fosfatos se ven con cierta irregularidad y esto se debe a la cantidad de desinfectantes utilizados en los procesos de lavado de los diferentes envases, como también, por la materia orgánica que puede llegar a la planta y el aumento es de 28 veces en el efluente en comparación con el pozo, la desviación estándar obtenida en el efluente para fosfatos fue de 1,7436. Un parámetro analizado y que no ha sido un problema son los silicatos, esto se debe a que las variaciones son mínimas, obteniendo una desviación de 0,09 y con esto se puede decir, que durante el proceso productivo no hay ninguna fuente que le agregue silicio al agua.

Con los cloruros si se puede observar una diferencia de 20 veces mayor en el pozo comparando con el efluente, esto se debe a que la cantidad de iones agregados en la planta de tratamiento para neutralizar son pocos, en comparación con la cantidad de iones OH que puede contener el agua. El pozo contiene una media de 70 ppm de cloruros, esto es debido a que en los mantos acuíferos, la tierra tiene minerales que le puede agregar este tipo de compuesto al agua, en la medición de este parámetro se obtuvo una desviación de 0,760043.

Otro parámetro analizado y considerado importante en la realización de este trabajo, es el hierro, en los análisis realizados se puede observar como el hierro presenta un aumento de 0,65 ppm en el efluente durante los dos meses de producción más alta y tiene un descenso de 0,35 ppm durante los meses de producción regular, por lo que se puede llegar a concluir que este aumento de hierro puede darse debido a que el caudal por la tubería en los primeros dos meses es mucho más alto, por lo que este flujo turbulento puede tener una mayor reacción con la tubería la cual es de hierro y de esta manera, ocasionar

este pequeño aumento de hierro en el efluente; y puede ser la fuente que le esté suministrando este compuesto ya que en los meses de producción regular cuando el caudal es mucho menor, se puede observar que el resultado de hierro en el efluente es similar al obtenido en el pozo.

Otro parámetro analizado fue el color y la turbidez dos parámetros que van conjuntos, ya que cuando la turbidez es alta el color es alto, son directamente proporcionales, el aumento de estos se da cuando la producción es regular y la cantidad de agua que ingresa a la planta de tratamiento es de 175 m³, por lo que el agua pasa más tiempo en la planta y se mantiene más tiempo estancada obteniendo una turbidez mayor y un color elevado. El último parámetro analizado fue el parámetro microbiológico, en el cual se puede observar en las tablas XVII y XVIII, para el efluente hay presencia de coliformes y de recuento existe presencia en todas las mediciones hechas, se puede observar que el pozo no presenta coliformes ni E.Coli, pero si hay presencia de recuento total.

De acuerdo a los análisis realizados en los dos puntos (pozo y efluente), se concluyó que el área más adecuada para poder reutilizar el agua era para el sistema de distribución del complejo, el cual distribuye agua para sanitarios, riego, lavado exterior de camiones y carros. Por lo que se procedió a realizar un diseño elegante, que cumpliera con los requisitos de sistemas de gestión y normas COGUANOR para el cumplimiento de los parámetros del agua.

Comparando los parámetros del efluente con los del pozo y con la Norma COGUANOR, se agregan en el diseño un tanque de sanitización con una concentración de cloro de 25 %, y luego que pase el agua por un filtro de

carbón activado, esto para atacar los parámetros microbiológicos, de color y turbidez que son los que estaban fuera de los requerimientos de la norma.

Con este diseño se planea el poder reutilizar un aproximado de 90 a 100 m³ diarios de agua, con una capacidad para poder reutilizar el 100 % del agua que llega a la planta de tratamiento, siendo de unos 375 m³ en temporada de producción elevada, y de unos 200 m³ en meses de producción regular, con lo que se tendría una inversión media para el sistema de reutilización pero una ganancia a mediano y a largo plazo mucho mayor, de igual manera la empresa cumpliría con requerimientos de sistemas de gestión de calidad, de ambiente, y de responsabilidad social empresarial.

Con este diseño se planea reducir un 35 % el consumo diario de agua, ya que se planean reutilizar 90 a 100 m³ de agua diarios, alrededor de 2 200 m³ al mes y aproximadamente 26 500 m³ al año.

CONCLUSIONES

1. Con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al efluente, se observa que estos parámetros cumplen con requisitos del sistema de gestión de la empresa y con la Norma COGUANOR NTG 029001.
2. Para control del sistema de acondicionamiento de agua, de los análisis realizados al pozo se obtuvieron resultados dentro de los parámetros de la Norma COGUANOR 29001 de agua potable, por lo que se comparó con el efluente obteniendo resultados dentro de los límites y con diferencias de acuerdo a la producción del complejo empresarial.
3. Se determinó que el uso que se le dará al agua reutilizada, será para el área de distribución de todo el complejo el agua de distribución abarca las funciones de sanitarios, riego, lavado exterior de camiones y vehículos, etc.
4. De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis realizados al efluente, se concretó que para poder reutilizar el agua, hay que corregir los parámetros de color, turbidez y microbiológicos, por medio de sistemas de sanitización y filtración.
5. Con el diseño se reutilizará el 35 % diaria del agua utilizada, alrededor de 2 200 m³ al mes y 26 000m³ al año.

RECOMENDACIONES

1. Completar el estudio realizar análisis externos de otros parámetros para el agua.
2. El análisis externo se realice con una frecuencia de cada 3 meses.
3. A través de un futuro estudio de investigación se determine el costo unitario del metro cúbico de agua producida y recirculada.

BIBLIOGRAFÍA

1. CANALES, Francisca. *Metodología de la investigación*. México D.F.: Limusa, 2002. p. 15-28.
2. CHANG, Raymond. *Química*. México D.F.: McGraw-Hill, 2003. 986 p.
3. CHAPMAN Román; STEPHEN, Curtis. *Uso del análisis de flexibilidad de sistemas de tuberías para la selección y especificación de soportes dinámicos*. México D.F.: McGraw-Hill, 1997. 58 p.
4. GARCÍA REZA, Clemente. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. Guadalajara: Crane, 2000. 389 p.
5. HERNÁNDEZ, Mario; CAMARA, Lesly. *Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias: Mini proyecto de IQ, departamento de fenómenos de transporte*. México D.F.: Limusa, 1999. 90 p.
6. HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., et.al. *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill, 1998. 285 p.
7. JOHNSON, Robert; KUBY, Patricia. *Estadística elemental*. México D.F.: Thomson, 2004. 435 p.

8. LÓPEZ NOGUERO, F; POZO LLORENTE, T. *Métodos de investigación en ecuación*. México: Nuevas Perspectivas, 2002. 35 p.
9. McCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. México D.F.: McGraw-Hill, 2007. 1189 p.
10. MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos aplicada*. México D.F.: Pearson, 1996. 588 p.
11. PELCZAR, Michael, J. *Microbiología*. México D.F.: McGraw-Hill, 1999. 825 p.

APÉNDICES

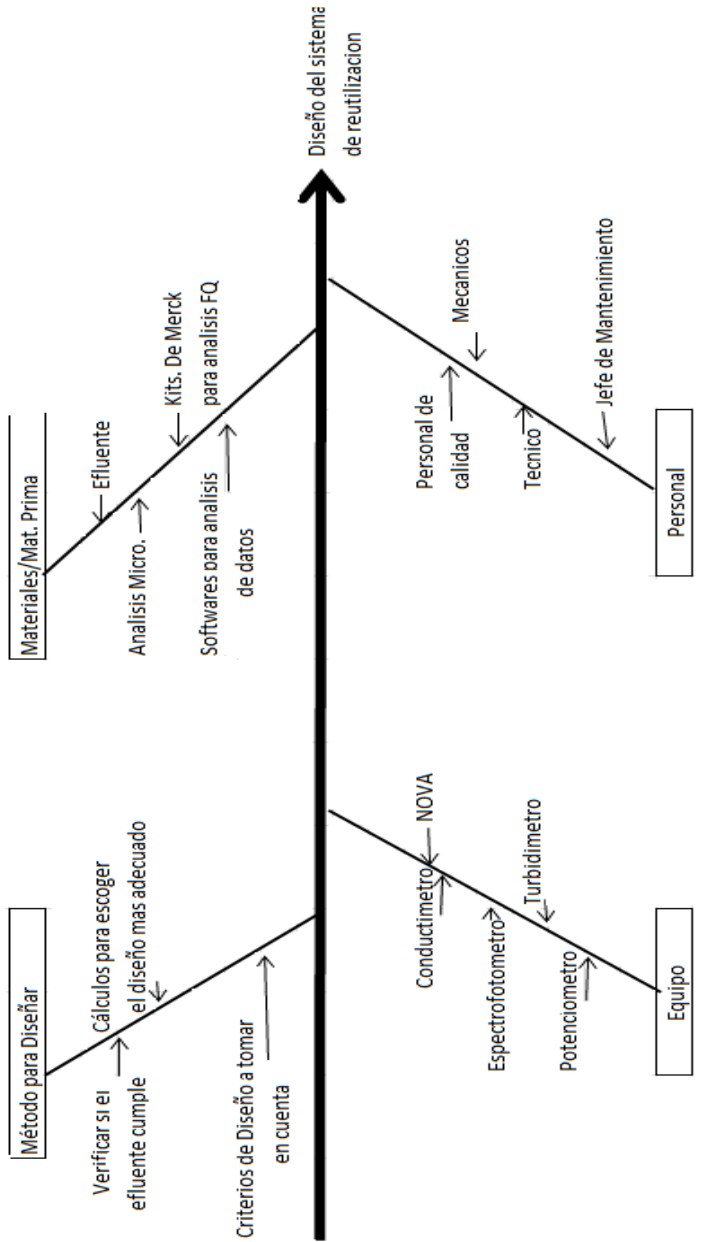
Apéndice 1. Requisitos académicos

1 paso	2 paso	3 paso	4 paso	5 paso	6 paso	7 paso	
Carrera	Área	Tema genérico	Tema específico	Especificación	Problema a resolver	Temario tentativo	
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA	QUÍMICA	Química 3 y 4	Soluciones y disoluciones	Concentración de una solución	La Reutilización del Efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual, para el complejo industrial dedicado a la fabricación y envasado de bebidas.	<p>1. Parámetros establecidos para el agua luego de evaluar el efluente.</p> <p>2. Determinación por medio de análisis FQ para evaluar la calidad FQ del efluente..</p> <p>3. Análisis microbiológico del efluente y del agua que ingresa al sistema de acondicionamiento..</p> <p>4. Definir el diseño más adecuado para la reutilización del efluente y realizar la mezcla de a</p> <p>5. Análisis estadístico de un conjunto de datos</p> <p>6. Interpretación de datos</p>	
			Propiedades intensivas y extensivas	Densidad, pH			
		Análisis Cuantitativo	Métodos analíticos	Volumetría y análisis FQ.			
		DE ESPECIALIZACION	Microbiología	Análisis microbiológicos			siembras microbiológicas
				Análisis del comportamiento de los fluidos en las tuberías para realizar el diseño del sistema.			Determinar el diseño más adecuado y elegante para la reutilización del efluente.
		OPERACIONES UNITARIAS	Flujo de Fluidos y Diseño de Equipo	Análisis de datos			Método ANOVA
	Análisis y Recolección de Datos			Por medio de medidas de tendencia central.			
	CIENCIAS BÁSICAS	Estadística	Análisis de datos	Método ANOVA			
			Análisis y Recolección de Datos	Por medio de medidas de tendencia central.			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa

Diagrama Ishikawa: Para el Diseño de Un sistema para reutilización del efluente de una planta de tratamiento de agua residual



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. **Recolección de información y ampliación de métodos**

Análisis estadístico de los resultados

El principal punto a ser considerado en el tratamiento estadístico de los resultados de un ejercicio de intercomparación es el establecimiento del valor asignado para un determinado analito, que se considera como valor verdadero o valor diana, asumiendo que los resultados obtenidos por los distintos laboratorios siguen una distribución normal y que sus varianzas son iguales para cada nivel.

Este valor es una estimación práctica de la concentración de analito en la matriz y se puede calcular a partir de los resultados obtenidos por los participantes, a partir de los resultados de laboratorios considerados de referencia o considerando la formulación del material analizado.

Previamente a la determinación del valor asignado, es necesaria la detección y eliminación de los resultados discrepantes o anómalos (outliers), por medio de diversos criterios. El test de Cochran se basa en la repetibilidad y elimina los datos de los laboratorios que tienen una varianza intralaboratorio significativamente mayor que la del resto de participantes. El test de Grubbs (simple o doble) sirve para eliminar los laboratorios que obtienen valores medios extremos y que se alejan de la distribución gaussiana de los valores medios de los participantes. Otros métodos son Dixon o Box and Whisker.

La precisión de los resultados informa de la dispersión de los resultados del ejercicio de intercomparación y se determina a partir de las siguientes estimaciones de la varianza:

- Varianza intralaboratorio (within-laboratory): S_{w2}
- Varianza de repetibilidad (medidas independientes realizadas con el mismo método de ensayo sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, por el mismo analista y con el mismo equipo, dentro de cortos intervalos de tiempo):

$$S_{r2} = S_{w2} / n$$

- Varianza entre laboratorios (between-laboratory): S_{L2}
- Varianza de reproducibilidad (medidas realizadas con el mismo método sobre la misma muestra, en diferentes laboratorios y con diferentes equipos y operadores): $S_{R2} = S_{r2} + S_{L2}$

El análisis de la varianza (ANOVA)

El análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso.

Comparación de múltiples poblaciones

La comparación de diversos conjuntos de resultados es habitual en los laboratorios analíticos. Así, por ejemplo, puede interesar comparar diversos métodos de análisis con diferentes características, diversos analistas entre sí, o una serie de laboratorios que analizan una misma muestra con el mismo método (ensayos colaborativos).

También sería el caso cuando se quiere analizar una muestra que ha estado sometida a diferentes tratamientos o ha estado almacenada en diferentes condiciones. En todos estos ejemplos hay dos posibles fuentes de variación: una es el error aleatorio en la medida y la otra es lo que se denomina factor controlado (tipo de método, diferentes condiciones, analista o laboratorio, etc.).

Una de las herramientas estadísticas más utilizadas que permite la separación de las diversas fuentes de variación es el análisis de la varianza. El ANOVA también puede utilizarse en situaciones donde ambas fuentes de variación son aleatorias. Suponiendo que las muestras de vino se toman aleatoriamente de diferentes partes de un depósito y se realizan diversos análisis replicados. Aparte de la variación natural en la medida se tendrá una variación en la composición del vino de diferentes partes del depósito.

Cuando se tenga un factor, controlado o aleatorio, aparte del error propio de la medida, se habla del ANOVA de un factor. En el caso de que se estuviese desarrollando un nuevo método colorimétrico y se quisiera investigar la influencia de diversos factores independientes sobre la absorbancia, tales como

la concentración de reactivo A y la temperatura a la que tiene lugar la reacción, entonces se hablaría de un ANOVA de dos factores. En los casos donde se tienen dos o más factores que influyen, se realizan los experimentos para todas las combinaciones de los factores estudiados, seguido del ANOVA. Se puede deducir entonces si cada uno de los factores o una interacción entre ellos tienen influencia significativa en el resultado.

Para utilizar el ANOVA de forma satisfactoria deben cumplirse tres tipos de hipótesis, aunque se aceptan ligeras desviaciones de las condiciones ideales:

- Cada conjunto de datos debe ser independiente del resto.
- Los resultados obtenidos para cada conjunto deben seguir una distribución normal.
- Las varianzas de cada conjunto de datos no deben diferir de forma significativa.

Coeficiente de Variación de Horwitz (CV_h)

Es el coeficiente de variación definido por W. Horwitz, a través de la ecuación obtenida de un estudio estadístico. En dicho estudio, Horwitz después de reunir una serie de datos (provenientes de 150 ensayos de interlaboratorios organizados por AOAC), observó que el coeficiente de variación de los valores medios dados por los diferentes laboratorios aumentaban a medida que disminuía la concentración del analito.

La ecuación de Horwitz, está definida como:

$$CV_h = 2^{(1-0,5 \cdot \log c)} \quad \text{o} \quad \sigma_H = 0,02 \times c^{0,8495}$$

Dónde:

CV_h = coeficiente de variación de Horwitz

σ_H = desviación estándar calculada conforme al modelo de precisión de Horwitz.

C = concentración del analito expresado en potencia de 10

Este coeficiente de variación (CV_h) esta expresado en potencia de 2 y la concentración media del analito expresado como potencia de 10, de esta forma independiente del analito y el método utilizado se puede estimar el CV esperado para la precisión.

- **Requisitos de Norma COGUANOR NTG 29001 para el agua para consumo humano (agua potable)**

Cuadro 2. Características químicas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄ ⁻)	100,0	250,0
Hierro total (Fe) ^(b)	0,3	-----
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

