

1-1-2014

## **Manejo de vertimientos generados por una industria de betunes mediante procesos de precipitación química con bentonita**

Plinio Andrés Arévalo Villar  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Disney Buitrago Castrillón  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)

---

### **Citación recomendada**

Arévalo Villar, P. A., & Buitrago Castrillón, D. (2014). Manejo de vertimientos generados por una industria de betunes mediante procesos de precipitación química con bentonita. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/949](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/949)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**MANEJO DE VERTIMIENTOS GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE BETUNES  
MEDIANTE PROCESOS DE PRECIPITACIÓN QUÍMICA CON BENTONITA**

**PLINIO ANDRÉS ARÉVALO VILLAR**

**DISNEY BUITRAGO CASTRILLÓN**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2014**

MANEJO DE VERTIMIENTOS GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE BETUNES  
MEDIANTE PROCESOS DE PRECIPITACIÓN QUÍMICA CON BENTONITA

PLINIO ANDRÉS ARÉVALO VILLAR. Código: 41081143

DISNEY BUITRAGO CASTRILLÓN. Código: 41062049

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

DIRECTOR.

ROBERTO RAFAEL BALDA AYALA.

INGENIERO ALIMENTOS, ESP. INGENIERÍA SANITARIA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C.

2014

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**ROBERTO BALDA AYALA**  
**Director**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Bogotá D.C, 2014**

## AGRADECIMIENTOS

### **Plinio Andrés Arévalo Villar.**

Aprovecho esta oportunidad para agradecer a aquellas personas que confiaron en mí y en especial a mi familia que me ha brindado todo el apoyo necesario, sobre todo en los momentos difíciles. En especial a mi mamá Rosa Helena Villar C. y mi abuelita Ana de Dios Cárdenas por ser parte de mi formación como persona y como profesional, siendo ellas el motor y la fuerza para cumplir con mis objetivos y metas. Mil gracias le doy a Dios por darme la oportunidad de recoger y brindar todo el conocimiento, experiencia, y alegrías que me brindaron mis compañeros y profesores a través del tiempo, pero en especialmente al Ingeniero Roberto Balda, que siendo aún más que mi profesor y director, es para mí un amigo incondicional que me ha dado su apoyo.

### **Disney Buitrago Castrillón.**

Quiero agradecer a las personas que fueron parte de este proceso, personas que con su conocimiento y ayuda han aportado en la realización del presente trabajo. A todos mis profesores de la carrera, mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy, en especial al Ingeniero Roberto Balda director de esta investigación. Finalmente debo agradecer por el esfuerzo de mi madre que gracias a esa confianza que depositó en mí frente a este reto, implicó el desarrollo de este proyecto y al resto de mi familia que fueron apoyo incondicional; pero sin dejar atrás al más especial de todos, a ti Señor porque hiciste realidad este sueño, por todo el amor con el que me rodeas y la sabiduría que me brindas día a día, mil gracias.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	4
GLOSARIO .....	9
RESUMEN .....	14
ABSTRACT.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. LA INDUSTRIA DEL BETÚN.....	17
2.1. EL BETÚN .....	17
2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS BETUNES.....	18
2.2.1. Betunes de apariencia sólida: .....	18
2.2.2. Betunes de apariencia cremosa:.....	19
2.2.3. Betunes de apariencia líquida:.....	19
2.3 FABRICACIÓN DEL BETÚN.....	19
3. MANEJO DE EMULSIONES.....	21
3.1 EMULSIONES MULTIPLES.....	22
3.2 ROMPIMIENTO DE EMULSIONES .....	23
3.3 CLORURO DE CALCIO .....	23
3.4 ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA .....	24
4. COAGULACIÓN.....	25
4.1. COAGULANTES Y MECANISMOS DE COAGULACIÓN .....	26
5. OXIDACIÓN .....	30
6. MARCO LEGAL.....	33
7. OBJETIVOS.....	35
7.1. OBJETIVO GENERAL.....	35
7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	35

8. METODOLOGÍA.....	36
9. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	39
10. PRE-EXPERIMENTACIÓN.....	41
10.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA. ....	41
10.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRE-EXPERIMENTACIÓN.....	41
11. EXPERIMENTACIÓN.....	48
12. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	52
12.1 PRUEBAS DE MEDIAS ENTRE GRUPOS .....	52
12.2 HIPOTESIS PARA LA ESTIMACIÓN DEL MODELO .....	53
13. DISEÑO.....	56
14. ESTUDIO PRE-ECONÓMICO.....	59
14.1 INVERSIÓN INICIAL .....	59
14.2 COSTOS DE OPERACIÓN.....	60
15. CONCLUSIONES .....	62
16. RECOMENDACIONES .....	64
17. BIBLIOGRAFÍA .....	65
18. ANEXOS .....	68
Anexo 18.1 MEMORIAS DE CÁLCULO .....	69
Anexo 18.2 PLANOS.....	74

### INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Función de los componentes del betún .....	18
Tabla 2. Comparación normativa para vertimientos generados por la industria.....	34
Tabla 3: Calidad del vertimiento de la industria del Betún.....	39
Tabla 4: Niveles en DQO en el agua luego de emplear diferentes coagulantes .....	42

Tabla 5: Resultados de la fase de Pre-experimentación utilizando Bentonita .....	45
Tabla 6: Registro procesos de generación de vertimiento. ....	47
Tabla 7: Valores de DQO de acuerdo a la dosis entre las interacciones Bentonita y Peróxido de Hidrógeno suministrada al agua residual de una industria de betún. ....	50
Tabla 8: Resultados promedio en DQO para cada grupo de variables influyentes en una muestra de agua residual tratada con bentonita en una industria de betún. ....	52
Tabla 9: Valores de pH para cada uno de los FACTORES QUÍMICOS en la fase de experimentación .....	53
Tabla 10: Pruebas de efectos .....	55
Tabla 11: Dimensionamiento del Tanque de Bombeo con Criba .....	56
Tabla 12: Dimensionamiento del Tanque de Clarificación Química.....	57
Tabla 13: Dimensionamiento del Tanque de Equilibrio .....	57
Tabla 14: Dimensionamiento del Sistema de Filtración y Unidad de Acondicionamiento en la Deshidratación de Lodos.....	58
Tabla 15: Inversión del Sistema de Tratamiento.....	59
Tabla 16: Valores consumibles día por el Sistema de Tratamiento .....	61

### INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Proceso de producción del betún.....	20
Diagrama 2: Fases de la Metodología .....	38
Diagrama 3: Actividades generadoras de Agua residual en la industria del betún. ....	40

### INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Áreas de trabajo - producción del betún.....	19
Imagen 2: Descarga vertimiento industrial. ....	39
Imagen 3: Agua cruda más Bentonita .....	43



Imagen 4: Agua cruda con bentonita más $\text{CaCl}_2$ .....	43
Imagen 5: Ensayos pre-experimentación con Bentonita.....	44
Imagen 6: Ilustración de un <i>Test</i> de jarras y celdas de DQO.....	48
Imagen 7: Zona de aceptación para el diseño experimental.....	54

### INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Emulsiones simples.....	21
Figura 2: Emulsiones Múltiples del tipo y W1/O/W2 y O1/W/O2 .....	22
Figura 3: Coagulación.....	26
Figura 4: Valores en DQO Y pH utilizando Bentonita.....	46
Figura 5: Valores promedio de DQO del clarificado con los cuatro niveles de Factor Químico..	51

## GLOSARIO

- **Aceite de trementina:** Líquido incoloro, o algo amarillento, combustible y muy oloroso que se obtiene por destilación de las resinas de los pinos. Es soluble en alcohol, éter, cloroformo y ácido acético. Este término es aplicado a numerosas oleorresinas semifluidas, amarillas o de color pardo.

La trementina, sometida a un proceso de destilación, produce aceite o esencia de trementina,  $C_{10}H_{16}$ . Tiene una densidad relativa de 0,86 a 0,88 y un punto de ebullición de 155 °C. “*Arboricultura y medio ambiente. Resinas y esencia de trementina. Recuperado de <http://www.arbolesymedioambiente.es/trementina.html>”.*

- **Adsorción:** Fenómeno de concentración de una sustancia sobre la superficie de un sólido o líquido. “*Chaparro. Angélica (2002). Evaluación de aplicación de sales de sulfato como tratamiento para reducir la concentración de tensoactivos en aguas residuales industriales*”.
- **Alcalinidad:** Es un método de análisis, con el que se determina el contenido de bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ); carbonatos ( $CO_3^{2-}$ ) e hidróxidos de un agua natural o tratada. La alcalinidad tiene relación con el pH del agua.
- **Ceras:** Por sus propiedades físicas y químicas la cera natural es materia prima esencial en la elaboración de betunes para calzado. En esta aplicación la cera natural tiene dos funciones primordiales, conservar el cuero en buen estado y dar brillo al cuero del calzado.
- **Cera Carnauba:** Contiene principalmente ésteres de ácidos grasos (80-85 %), alcoholes grasos (10 a 15 %), ácidos (3 a 6 %) e hidrocarburos (1 a 3 %). Es un ingrediente indispensable en la elaboración de ceras emulsificadas.

La cera de carnauba se obtiene de las hojas de palma de carnauba, árbol silvestre que se encuentra principalmente en Brasil. Es un producto sólido a temperatura ambiente y se

presenta en forma de escamas. Tiene un color amarillo que depende del grado de purificación. Funde sobre los 85°C. La cera carnauba se valora por la mejora que aporta a la resistencia o consistencia final de productos de sectores como conservación de muebles, pieles, recubrimientos superficiales (papel, madera...), ceras para el tratamiento de superficies, cosmética y farmacia. Cera de carnauba. Recuperado de: <http://www.interfat.com/es/productos/cera-carnauba>

- **Celulosa:** Es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa, es rígido, insoluble en agua, y contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de  $\beta$ -glucosa. La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre, se encuentra en las paredes de las células de las plantas. Químicamente se considera como un polímero natural. Ecured. Celulosa. Recuperado de: <http://www.ecured.cu/index.php/Celulosa>.
- **Colorante o Pigmento:** Un colorante es una sustancia que es capaz de teñir las fibras vegetales y animales. Los colorantes se han usado desde los tiempos más remotos, empleándose para ello diversas materias procedentes de vegetales (cúrcuma, índigo natural, etc.) y de animales (cochinilla, moluscos, etc.) así como distintos minerales.

Son colorantes insolubles, razón por la cual su forma de presentación es la de un polvo coloreado finamente dividido, a temperatura ambiente.

Un pigmento puro permite que muy poca luz blanca escape, produciendo un color altamente saturado, y un gran colorido del material sobre el que se aplica. Se clasifican según su origen como pigmentos naturales y pigmentos sintéticos de forma orgánicos e inorgánicos. Red textil. Recuperado de: <http://www.redtextilargentina.com.ar>

- **Colorantes azoicos:** Son colorantes sintéticos o artificiales que contienen un grupo “azo”, del tipo  $R-N=N-R'$ , en donde R y R' son grupos que contienen átomos de carbono, y los átomos de nitrógeno están unidos por un enlace doble. Normalmente son más estables que los colorantes naturales (resistentes al calor y no se decoloran ante la luz y/o el

oxígeno). “*Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. (2002). Prevención de la contaminación en la industria textil.*”

- **Emulgente:** Se concentran y son adsorbidos en la interfase aceite – agua formando una barrera protectora alrededor de las gotas de fase dispersa. Disminuyen la tensión interfasial del sistema haciéndolo más estable.
- **Emulgente no Iónico:** los cuales poseen una gran afinidad por el agua, debido a la atracción electrostática que poseen orientada hacia los dipolos del agua suele llevar consigo a las soluciones de cadenas de hidrocarburos.
- **Emulsión:** Sistema termodinámicamente inestable constituido por una suspensión de partículas líquidas en el seno de otra fase líquida no miscible. “*Chaparro. Angélica (2002). Evaluación de aplicación de sales de sulfato como tratamiento para reducir la concentración de tensoactivos en aguas residuales industriales*”.
- **Floculación:** Fenómeno en que las partículas desestabilizadas por agentes coagulantes chocan unas con otras para formar coágulos mayores o flocs. Si éstas se encuentran cargadas positivamente o negativamente, deberá agregarse un floculante que neutralice las cargas. Si los coágulos no tienen carga, se deben emplear floculantes no iónicos.

La floculación es favorecida por el mezclado lento, que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso.

- **Hidrofílico:** Sustancia soluble en agua.
- **Parafina:** Grupo de hidrocarburos alcanos de fórmula general  $C_nH_{2n+2}$ , donde n es el

número de átomos de carbono. La molécula simple de la parafina proviene del metano,  $\text{CH}_4$ , un gas a temperatura ambiente; en cambio, los miembros más pesados de la serie, como el octano  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ , se presentan como líquidos. Las formas sólidas de parafina, llamadas cera de parafina, provienen de las moléculas más pesadas  $\text{C}_{20}$  a  $\text{C}_{40}$ .

Las ceras de parafina son unos sólidos blancos o ligeramente amarillentos, inodoros, que se obtienen a partir del petróleo y tienen un punto de ebullición que va desde 46 a 68°C; siendo soluble en la mayoría de disolventes orgánicos y miscibles con ceras y grasas cuando se calienta. *Cera de parafina. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Recuperado de: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion>.*

- **SAAM-tensoactivos:** Las sustancias activas al azul de metileno, están compuestas por uno o varios grupos hidrófilos y de uno o varios grupos hidrófobos cuyas características y tamaño permiten la disminución de la tensión superficial del agua, la formación de monocapas de esparcimiento o de adsorción en la interfase agua/aire, la formación de emulsiones y/o microemulsiones o micelas y la adsorción en la interfase agua/sólido. Los tensoactivos pueden ser ramificados o lineales. Los tensoactivos Alquilbencenosulfonatos de cadena ramificada (ABS), son de menor biodegradabilidad y más tóxicos que los de cadena lineal (LAS). “*Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Proyecto resolución SAAM*”.
- **Solvente alifático:** Los hidrocarburos alifáticos son aquellos compuestos orgánicos que están constituidos por carbono e hidrógeno, en los cuales los átomos de carbono forman cadenas abiertas. Los hidrocarburos alifáticos de cadena abierta se clasifican en alcanos (enlaces simples), alquenos (enlaces dobles) y alquinos (enlaces triples).

Si la cadena alifática se cierra formando un anillo, este se denomina hidrocarburo alifático cíclico o cicloalcano. Los hidrocarburos alifáticos pueden ser saturados (Parafinas) y no saturados (Olefinas y alquinos). Los primeros poseen enlaces covalentes simples lo cual

les confiere bioquímicamente y químicamente cierta Inercia y también son empleados como solventes del caucho natural. Las Olefinas (Alquenos) y los alquinos son relativamente inertes para el organismo. Sin embargo, son químicamente más reactivos que los hidrocarburos saturados. “*Solventes alifáticos (2009). Recuperado de: <http://grupoquimicouni.blogspot.com>.”*

- **Test de jarras:** Es una serie de pruebas que se utilizan para fijar las dosis más efectivas de coagulante y floculante para una muestra de agua específica y poder determinar las velocidades de sedimentación y con el seguimiento de un parámetro de calidad de agua, identificar la eficacia del procedimiento.

## RESUMEN

La industria del betún genera aguas residuales con altos contenidos en DQO que pueden variar entre 2000 y 6000 mg/L, originando diversos impactos negativos al medio ambiente, en especial al recurso hídrico. Como medio regulador de este tipo de acciones, las entidades competentes a nivel de Bogotá han señalado que los vertimientos de tipo industrial deben reducir las concentraciones en DQO a un valor de 1500 mg/L según los límites permisibles hacia el alcantarillado mencionados en la resolución 3957 de 2009, a nivel Distrital, siendo Bogotá D.C el contexto de este proyecto.

La realización de este trabajo tiene como fin evaluar la eficiencia de remoción en DQO por medio de la técnica de precipitación química, utilizando interacciones entre la bentonita y el peróxido de hidrógeno (en combinación y separados) previa adición de cloruro de calcio, para identificar la mejor alternativa de remoción de la carga contaminante. En las fases de pre-experimentación y de experimentación se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle. Los resultados obtenidos durante las pruebas desarrolladas sirvieron como soporte para trabajar el modo estadístico de análisis de varianza (ANOVA), en el que se utilizó el Software SPSS "Statistical Product and Service Solutions" (Pardo, A., & Ruiz, M.A., 2002, p. 3) versión 20, con el cual se efectuó el análisis descriptivo calculando medidas de tendencia central y medidas de dispersión.

El modelo empleado da la posibilidad de realizar interacciones, en las que para el presente trabajo se consideraron como variables el pH, con un rango entre 6 a 10 unidades y tiempos de reacción entre 20 a 60 minutos. Los resultados concluyen que el sistema propuesto muestra la mejor alternativa teniendo en cuenta la adición de bentonita a pH 10 y 40 minutos de tiempo de reacción de mezcla. De acuerdo a lo anterior, se determinó un diseño técnico y económicamente viable, como una propuesta útil para la industria del betún, de tal manera que se cumpliera con las concentraciones máximas permisibles de contaminantes en el vertimiento al alcantarillado público en la ciudad de Bogotá.

### ABSTRACT

The bitumen industry generates wastewater with high COD concentrations, between 2000 and 6000 mg / L, causing a variety of negative impacts on the environment, especially on the water resource. As a regulating means of such actions, the competent authorities in Bogota have indicated that the industrial discharges should reduce concentrations to a COD value of 1500 mg/L according to the permissible limits to the sewer mentioned on Resolution 3957 of 2009, for Bogotá D.C, which is the context of this project.

The completion of this work aims to evaluate the COD removal efficiency by the chemical precipitation technique using bentonite interactions and hydrogen peroxide (combined and separate) with previous addition of calcium chloride in order to identify the best alternative for the removal of the pollution load. The pre-experimentation and experimentation phases were performed at the University of La Salle environmental and sanitary laboratory. The results obtained during the test were the support to work out the statistical model, analysis of variance (ANOVA), using the SPSS software "Statistical Product and Service Solutions" ( Pardo, A., & Ruiz, M.A., 2002 , p. 3) version 20 with which the descriptive analysis was carried out by calculating central tendency and dispersion measurements.

The model used gives the possibility of developing interactions, in which for the present project the values considered were pH, with a range of 6-10 units and reaction times between 20 to 60 minutes. The results conclude that the proposed system shows the best alternative considering the addition of bentonite at pH 10 and 40 minutes of reaction mixing time. According to the above, a technical and economically feasible design was determined, as a useful proposal for the bitumen industry, so that it may meet the maximum permissible concentrations of pollutants discharged into the public sewer in the city of Bogotá.



## 1. INTRODUCCIÓN

La industria del betún ha sido desde hace muchos años una empresa especializada en la elaboración de productos para el cuidado del calzado y demás artículos de cuero, ya que lustra, impermeabiliza y mejora la apariencia del mismo, prolongando así su vida útil.

La obtención del betún se da a partir de productos como ceras, aceites, grasas, pigmentos y disolventes, los cuales se mezclan a una temperatura determinada. Posteriormente, son embalados y distribuidos en el mercado en diferentes presentaciones como: crema, pasta y líquido, según lo requiera el cliente. Su modo de empleo es sencillo, pero se debe tener ciertas precauciones, ya que puede manchar la piel y, en contacto con los ojos, causar irritación.

Los vertimientos que se obtienen de la industria del betún son generalmente de bajo caudal, pues se requiere del agua únicamente para la limpieza de las unidades como son las marmitas de mezclado y el lavado de pisos; además se caracterizan por tener cargas contaminantes altas en DQO.

En virtud de lo anterior se hace necesario el tratamiento de los vertimientos de la industria del betún con el fin de disminuir los impactos ambientales a las fuentes hídricas y llevar a cabo una armonía entre el desarrollo industrial de la ciudad y el medio ambiente, junto con el cumplimiento de la normatividad que a nivel distrital se da según la resolución 3957/09 "Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital". Para lograr esto según el nivel de contaminación las industrias requieren incluir procesos que alcancen altas eficiencias en remoción de contaminantes, bien sea por métodos de precipitación química u oxidación o la combinación de estas dos, sobre todo tratándose de aguas con relaciones de biodegradabilidad superior a 3,00(\*).

---

(\*). El índice de biodegradabilidad se expresa con la relación DQO/DBO<sub>5</sub> para materia orgánica poco degradable en este tipo de agua residual industrial, superando las 3 unidades. Cisterna Osorio, Pedro (2002). "Determinación de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales" p.7.

## 2. LA INDUSTRIA DEL BETÚN

La industria del betún ha sido por años una empresa especializada en la elaboración de productos para el cuidado del calzado y demás artículos de cuero, ya que lustra, impermeabiliza y mejora la apariencia del mismo, prolongando así su vida útil.

La obtención del betún se da a partir de productos como ceras, aceites, grasas, pigmentos y disolventes, los cuales se mezclan a una temperatura determinada. Posteriormente, son embalados y distribuidos en el mercado en diferentes presentaciones como: crema, pasta y líquido. Su modo de uso es sencillo, pero se debe tener ciertas precauciones, ya que puede manchar la piel y en contacto con los ojos causar irritación.

Los vertimientos que se obtienen de este tipo de industria son generalmente de bajo caudal, pues se requiere de agua principalmente para la limpieza de las unidades como son las marmitas de mezclado y de instrumentos o utensilios necesarios para el mantenimiento de las unidades y áreas de trabajo. Es importante realizar el tratamiento a este tipo de vertimiento industrial, puesto que influye de manera negativa sobre el recurso hídrico. Los impactos ambientales son mitigados para ejercer una armonía entre el desarrollo industrial de la ciudad y el medio ambiente, con el cumplimiento de la normatividad vigente que a nivel distrital se da según la resolución 3957/09 "Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital".

### 2.1. EL BETÚN

El betún para zapatos es un producto utilizado para dar lustre, impermeabilizar y mejorar la apariencia del cuero de los zapatos o botas. La protección de los zapatos con betún o cremas preparadas a tal efecto, aparte de mejorar la apariencia del zapato, ayuda a prolongar su vida útil.

En la actualidad, el betún se puede adquirir en diferentes presentaciones: La más común es en

forma de aplicador con esponja previamente empapada, que puede ser usado para dar brillo al cuero, sin necesidad de esperar a su secado. “Betún TITAN. (2009). *Información sobre el betún. Recuperado de <http://betuntitanmax.blogspot.com>”.*

La función que cumple cada uno de los componentes del betún se expone en la **tabla 1**:

**Tabla 1. Función de los componentes del betún**

COMPONENTE	FUNCIÓN	COMPOSICIÓN PRINCIPAL
Cera Carnauba	Brillo y pulimiento	Ésteres de ácidos grasos
Parafina	Viscosidad	Alcanos
Aceite mineral	Consistencia	Alcanos
Petróleo crudo	Afinidad	Hidrocarburos
Carbón	Color	Hidrogeno, azufre, oxígeno y nitrógeno.
Vaselina	Viscosidad, brillo, impermeabilidad y con adhesión	Hidrocarburos saturados
Varsol	Solvente	Hidrocarburos alifáticos

*Fuente: QuimiNet. (2011). Parafinas en la fabricación de betunes para calzado.*

## 2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS BETUNES

Para la fabricación de betunes, estos se pueden clasificar en tres tipos:

### 2.2.1. Betunes de apariencia sólida:

Las ceras utilizadas son normalmente duras y se combinan con solventes y otras cargas sólidas para obtener un betún de buena calidad que preserve la piel del calzado y proporcione un buen brillo; así como para que el producto tenga una larga vida de anaquel y almacenaje dentro del envase.

### 2.2.2. Betunes de apariencia cremosa:

Estos betunes están emulsionados de tal manera que parecen cremas y son normalmente aditivas con siliconas. Dan un acabado similar a los de apariencia sólida.

### 2.2.3. Betunes de apariencia líquida:

En estos productos se utilizan ceras emulsionadas en agua mezclándolas apropiadamente con emulgentes iónicos y no iónicos, con objeto de obtener un betún con las características esenciales de preservación de la piel y dar un excelente brillo al calzado, además de facilitar la aplicación del usuario. “QuimiNet. (2011). Parafinas en la fabricación de betunes para calzado. *Recuperado de <http://www.quiminet.com/articulos/parafinas-para-calzado-betunes->”.*

## 2.3 FABRICACIÓN DEL BETÚN

El primer paso en la fabricación de un pulimento de zapato típico es la fusión de la cera con el punto de fusión más alto en un calentador eléctrico. Después de esto, se añaden todas las demás ceras, generalmente por orden de punto de fusión descendente. La emulsión caliente se añade a continuación a las ceras, junto con el agua destilada. Cuando la mezcla alcanza alrededor de 100 °C, se añade aceite de trementina. Después, se mezcla y se agita continuamente. Los colorantes se añaden y se mezclan en el aceite de trementina si no es un esmalte neutro.

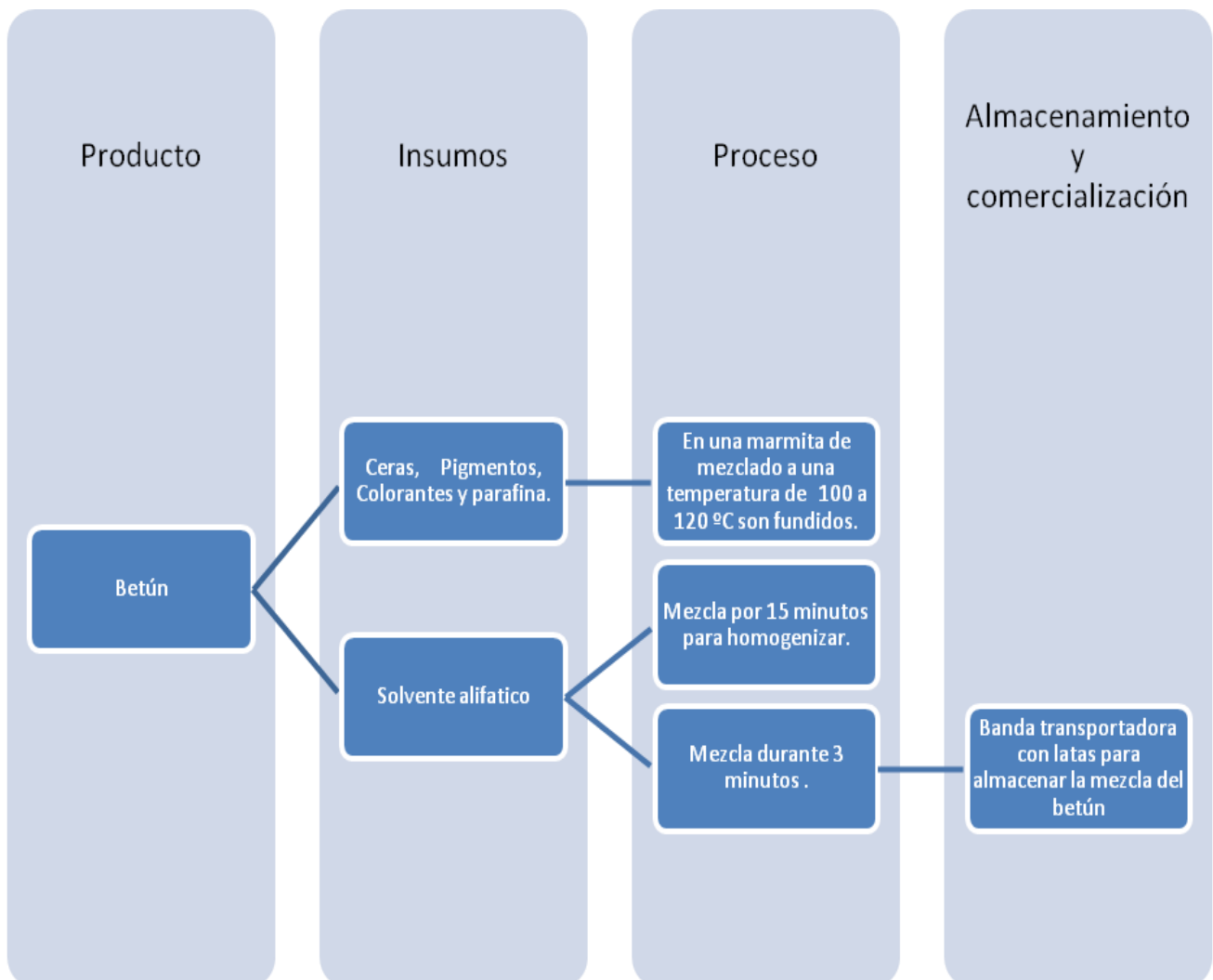
**Imagen 1: Áreas de trabajo - producción del betún.**



Fuente: Autores, 2014

La masa mezclada se reduce lentamente a 50 °C y a medida que aumenta la viscosidad, se vierte a través de un embudo cerrado en una cámara de enfriamiento y se permite a la solución distribuirse uniformemente en los recipientes. El proceso se considera sencillo y el equipo requerido es relativamente fácil de adquirir. En el **diagrama 1**, se resume el proceso de producción del betún. *Betún TITAN. (2009). Información sobre el betún. Recuperado de <http://betuntitanmax.blogspot.com>.*

**Diagrama 1: Proceso de producción del betún**

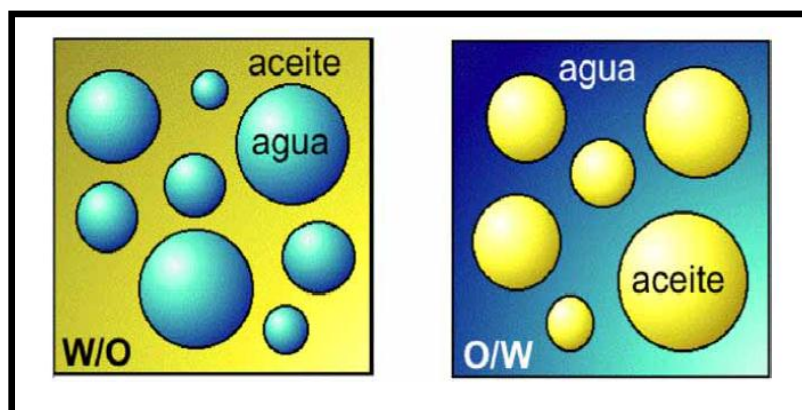


**Fuente:** *Betún TITAN. (2009). Información sobre el betún. Recuperado de <http://betuntitanmax.blogspot.com>*

### 3. MANEJO DE EMULSIONES

Cuando se tienen dos líquidos inmiscibles, como aceite y agua, y estos se agitan, se forman gotas de un líquido en otro. Estas gotas de un líquido en otro es lo que se conoce como una emulsión. Las emulsiones pueden ser entonces de dos tipos: una la emulsión directa o simplemente emulsión, en la cual las gotas (fase dispersa o interna) son de agua o solución acuosa y la fase en donde están inmersas aquéllas (fase continua o externa) es aceite. El otro tipo de emulsión es la de gotas de aceite en una fase continua acuosa, llamada “inversa”. Las primeras se denotan como emulsiones W/O agua-en-aceite (W = water, agua O = oil, aceite) y las segundas O/W, aceite-en-agua. La **figura 1** muestra los dos tipos de emulsiones. (Antonio Cardenas y Jean Louis Salaguer, 2011, p. 3).

**Figura 1: Emulsiones simples**



**Fuente:** Antonio Cardenas y Jean Louis Salaguer, 2011.

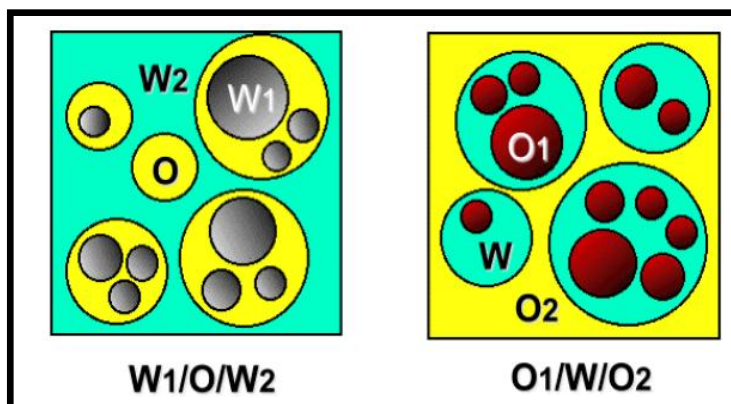
Ahora bien, como se mencionó anteriormente, al agitar dos fases inmiscibles, se forman gotas de una fase en otra, pero para que exista la emulsión, es necesario evitar que al cesar la agitación las gotas se unan de una vez. Para lograr la persistencia de las emulsiones se necesita entonces un tercer componente conocido como “surfactante” (del inglés surface active agent = surfactant, activo en la superficie). Este componente se ubica en la superficie de las gotas de la emulsión y evita o retarda la coalescencia de las gotas, haciendo de esta forma la emulsión “estable”. (Antonio Cardenas y Jean Louis Salaguer, 2011, p. 3).

### 3.1 EMULSIONES MÚLTIPLES

Además de las emulsiones sencillas, anteriormente descritas, existe otro tipo de emulsiones conocidas como emulsiones múltiples. Estas se caracterizan por el hecho de que las gotas de la fase dispersa contienen a su vez pequeñas gotas de líquido inmiscible con el de las gotas que las contiene y por lo general igual o miscible con la fase continua.

En la **figura 2**, se muestra los dos tipos corrientes de emulsiones múltiples. En estas figuras la fase de las pequeñas gotas no es del mismo color que la fase externa para indicar que no son necesariamente las mismas. (Antonio Cardenas y Jean Louis Salaguer, 2011, p. 4).

**Figura 2: Emulsiones Múltiples del tipo  $W1/O/W2$  y  $O1/W/O2$**



Fuente: Antonio Cardenas y Jean Louis Salaguer, 2011.

En los esquemas de la **figura 2**, se puede observar que en las emulsiones múltiples existe un líquido que separa a las gotas contenidas en la fase dispersa de la fase continua. Este líquido se caracteriza por ser siempre inmiscible con la fase continua externa y con las pequeñas gotas que están dentro de gotas más grandes.

Una propiedad característica de las emulsiones múltiples del tipo  $W1/O/W2$  es su conductividad electrolítica. La conductividad del agua es por lo general mayor que la del aceite, en particular si

(como casi siempre) hay algo de electrolito en la fase acuosa. Por tanto la conductividad es alta para emulsión de fase externa agua y viceversa. (Antonio Cardenas y Jean Louis Salaguer, 2011, p. 4).

La medición de la conductividad electrolítica no es de gran utilidad para la caracterización de emulsiones simple o múltiple de fase externa aceite, puesto que es muy baja y no varía significativamente con el contenido de pequeñas gotas de aceite en gotas de agua. (Cardenas y Jean Louis Salaguer, 2011, p. 5).

### 3.2 ROMPIMIENTO DE EMULSIONES

El rompimiento de la emulsión consiste en separar las dos fases de las que consta el líquido, mediante la coalescencia irreversible de las gotas. Para romper la emulsión es necesario desestabilizar las cargas de las microgotas de la fase interna, donde esto se puede conseguir mediante la adición de reactivos. Posteriormente a la adición de reactivos como el compuesto químico empleado para su rompimiento y desestabilización química, hay que posibilitar el reagrupamiento de las fases. El tiempo de ruptura puede acelerarse por medios mecánicos como es el uso de espas para realizar los procesos de coagulación y floculación con gradientes de velocidad alta y baja respectivamente. Pinotti y Zaritzky, (2001). *Recuperado en <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf?sequence>*.

### 3.3 CLORURO DE CALCIO

El cloruro de calcio como el reactivo empleado para la desestabilización, es un compuesto químico, inorgánico y mineral. Es un cristal incoloro, altamente higroscópico, reacciona fuertemente con el agua produciendo una reacción exotérmica, utilizada en:



- ✚ Tratamientos de aguas residuales, es un eficaz precipitante para la eliminación de fluoruros a la vez que mejora la eliminación de silicatos por densificación del floc.
- ✚ El tratamiento de los desechos aceitosos, debido a su capacidad para romper las emulsiones oleosas. *Recuperado de: <http://aqaltda.com/cloruro-de-calcio>.*

### 3.4 ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA

En muchas ocasiones el agua residual producto de una industria del betún requiere de un acondicionamiento para mejorar los procesos de coagulación y floculación, debido a que este vertimiento se caracteriza por contener parafina, aceite mineral, vaselina y componentes derivados del petróleo que le proporcionan una viscosidad y consistencia característica, razón por la cual se emplea para el presente trabajo el cloruro de calcio como un producto químico que le aporta al agua en solución una fuente de iones de calcio los cuales tornan insolubles a muchos compuestos. Perez, Arturo (2000). “Calidad del agua en función de su utilización”. *Recuperado de [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45 - 2\\_Capi\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45 - 2_Capi_1.pdf).*

#### 4. COAGULACIÓN

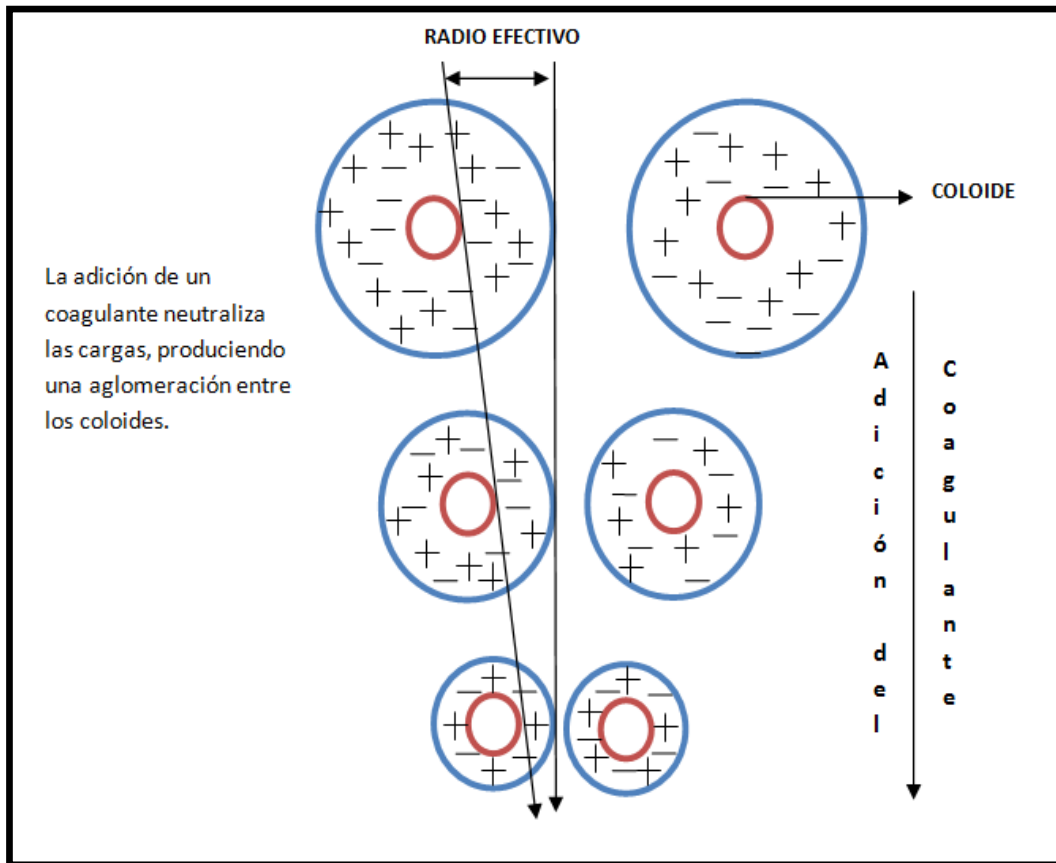
Según Yolanda Andía Cardenas (2000) en su publicación “Tratamiento de agua coagulación y floculación”, la coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

La coagulación es un pretratamiento esencial para muchos sistemas de purificación de agua especialmente los tratamientos de filtración. Este proceso aglomera entre sí a los sólidos en suspensión para formar cuerpos de mayor tamaño. El proceso a menudo se continúa con la separación por gravedad (sedimentación o flotación) y en ocasiones es seguido por la filtración.

La coagulación es igualmente un método muy utilizado porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación deficiente también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificados. En la **figura 3** se muestra cómo las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

**Figura 3: Coagulación**



Fuente: SEDAPAL. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación.*

#### 4.1. COAGULANTES Y MECANISMOS DE COAGULACIÓN

La función principal de los coagulantes es la de suministrar iones capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte del material coloidal existente en el agua y así causar su precipitación. Para favorecer su aglomeración se eliminan las materias en suspensión estables y a su vez turbiedad con la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos.

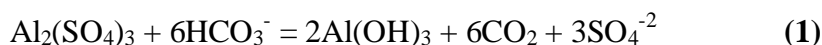
En la formación de coágulos y flóculos necesarios para separar la mayoría de los sólidos suspendidos del líquido sobrenadante, ocurre una serie de reacciones químicas al agregar el coagulante que favorecen la formación de partículas de mayor tamaño que las partículas

coloidales suspendidas. Cuando ocurre la reacción de polimerización de los agentes coagulantes, éstos atrapan las partículas coloidales y las integran a su estructura del coágulo formado.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son referenciados de acuerdo al trabajo elaborado por:

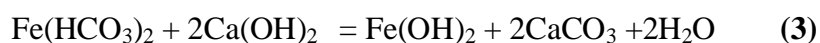
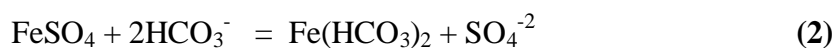
- a) **Sulfato de Aluminio:** O “alumbre” se utiliza como coagulante de impurezas en todo tipo de aguas, ya sea para el uso industrial o doméstico. El flóculo que forma al entrar en contacto con el agua en concentraciones muy diluidas es el Hidróxido de Aluminio. Este flóculo se forma y trabaja efectivamente en un pH de 5.5 a 8.0.

**Reacción Química**



- b) **Sulfato ferroso:** El sulfato ferroso reacciona con la alcalinidad del agua para formar bicarbonato ferroso,  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , el cual es bastante soluble en agua.

**Reacción Química:** el agua reacciona en una secuencia de procesos como los descritos en las siguientes reacciones:



- ✚ El hidróxido de aluminio y el hidróxido de hierro producto de las reacciones 1 y 4 anteriores, forman precipitados gelatinosos que contienen un gran número de partículas coloidales suspendidas que quedan atrapados en su red de polimerización. “*Mecanismos y reacciones químicas de la coagulación (2009). Recuperado de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/sedimentacion.htm>”*

- c) **Aluminato de Sodio:** La alta alcalinidad del Aluminato de Sodio lo hace muy útil como coagulante en tratamiento de aguas, ya sea para ser usado solo o en combinación con Sulfato Férrico o Sulfato de Aluminio, reduciendo al máximo el empleo de correctores de pH como cal, soda cáustica o carbonato de sodio.
  
- d) **Hidroxiclورو de aluminio:** Se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico en la clarificación para condiciones de alta turbiedad del agua.
  
- e) **Cloruro Férrico:** Muy usado por su efectividad en la remoción de materia orgánica, se emplea para la remoción de arsénico y fosfatos, involucra menores tiempos de sedimentación, lo cual favorece la optimización de las plantas de tratamiento sin necesidad de realizar mayores inversiones. Permite tratar aquellas aguas difíciles de coagular, como las que tienen baja turbiedad y alto color.
  
- f) **Sulfato Férrico:** Usado en procesos de clarificación de aguas en general, trabajando de forma eficiente en aguas con pH que se encuentren entre 4.0 - 11. El Sulfato Férrico proporciona un efectivo tratamiento para la remoción del color precipitándolo al mismo tiempo que actúa sobre los contenidos de hierro y manganeso presentes en el efluente.
  
- g) **Bentonita:** Arcilla natural de aspecto ferroso, fino y granular, constituido por un grupo de minerales cristalinos. Presenta buenas propiedades de adsorción, pero algunas veces éstas pueden ser mejoradas si se tratan adecuadamente según el pH. Durante el proceso se extraen iones octaédricos y algunos tetraédricos. Esta remoción depende de la relación ácido-arcilla, temperatura y el tiempo de reacción que dure el tratamiento. “*Adriana Echavarría Isáza (1998). Revista Colombiana de Química. Uso de bentonita en aguas residuales de curtiembres para la remoción de Cr (III)*”.

Se debe tener en cuenta que la cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- ✚ Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- ✚ Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.
- ✚ La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación se determina mediante los ensayos de pruebas de jarras.

## 5. OXIDACIÓN

Debido a la toxicidad o baja capacidad de biodegradabilidad de los organismos vivos para degradar agentes contaminantes en aguas residuales, la oxidación es un método capaz de producir cambios profundos en la estructura química de éstos. En virtud de ello, dentro del estudio se trató el peróxido de hidrogeno como agente oxidante para mejorar las eficiencias en remoción de contaminantes.

### *a) Peróxido de hidrogeno como agente oxidante:*

Dentro de los oxidantes convencionales el peróxido de hidrogeno es el más utilizado debido a que no produce compuestos clorados, su uso no genera precipitados y se descompone en agua y oxígeno que aumentan la biodegradabilidad del efluente. Además, el peróxido de hidrogeno no es biocida, por lo que no afecta un tratamiento biológico posterior.

Por todo ello el peróxido de hidrógeno es un oxidante medioambientalmente aceptable para el tratamiento de las aguas a las que se añade; además, es totalmente miscible en agua. Actualmente, el peróxido de hidrógeno está siendo ampliamente utilizado por la industria como oxidante ya que es más fuerte que el cloro o el permanganato. Es usado en la eliminación de color y se aplica ampliamente como agente blanqueador en las industrias textiles. “*Guwy, A.J; Hawkes, D.L., Cunnah, P. (2000). A technique for monitoring hydrogen peroxide concentration off-line and on-line*”.

De acuerdo al trabajo realizado por Jessica C. Edwards (2000) llamado “*Investigación de la remoción de color por medio de oxidación química para tres tinturas reactivas de textiles y aguas residuales de tintura de textiles*”, se encuentran diversos tratamientos para este tipo de vertimientos, tales como, la combinación de tratamientos biológicos con físicos y químicos, en donde se incluyen los procesos de coagulación, floculación, oxidación electroquímica, adsorción con carbón activado, osmosis inversa, ozono y procesos químicos oxidativos-reductivos. Se destaca este último proceso ya que parecen tener el mayor potencial en la remoción de

contaminantes, por lo cual, el trabajo investiga la eficacia del dióxido de cloro (CLO<sub>2</sub>), la radiación ultravioleta (UV), UV en combinación con dióxido de cloro (UV/CLO<sub>2</sub>), y UV en combinación con peróxido de hidrogeno (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), para decolorar las tres tinturas reactivas que son el rojo sultán, azul índigo y verde ciprés y por último, llevar a cabo el análisis con agua residual de manufactura de textil.

Los efectos de los tres tratamientos químicos de oxidación proporcionan la reducción de color para las tres tinturas. Los resultados sugieren que los tratamientos UV/CLO<sub>2</sub> y UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proporcionan la reducción máxima de color de los colorantes rojo y azul, y el tratamiento UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para el colorante verde.

Shore (1990) afirmó que las estructuras de colorantes reactivos son 95% de los colorantes azoicos, a excepción de algunos azules y verdes brillantes. Los colorantes reactivos reaccionan con un sustrato para formar un enlace covalente colorante-sustrato, donde una sustancia tal como celulosa actúa como el sustrato.



En donde: *D* = Estructura del colorante reactivo.

#### ***b) Reducción en DBO y DQO con Peróxido de Hidrogeno:***

El peróxido de hidrogeno se ha utilizado para reducir los niveles en DBO y DQO de aguas residuales industriales por muchos años, justificando su uso en diferentes situaciones específicas cuando los medios físicos o bilógicos lo requieren. Estos incluyen:

- ✚ Pre-digestión del agua residual que contiene niveles medios a altos de los compuestos que son tóxicos, inhibitorios, o recalcitrantes al tratamiento biológico como por ejemplo: Pesticidas, plastificantes, resinas, líquidos refrigerantes y colorantes.
- ✚ Tratamiento previo del agua residual con alta resistencia, donde el biotratamiento puede no ser práctico.



✚ Separación de compuestos orgánicos como grasas y aceites por flotación.

Según lo indicado en estos ejemplos el peróxido de hidrógeno puede ser utilizado como tratamiento independiente o como un suplemento a los procesos físicos o biológicos del tratamiento, dependiendo de la situación.

La separación física con  $H_2O_2$  para remover concentraciones en DBO y DQO puede ocurrir de dos maneras en el primer caso, la oxidación parcial de contaminantes orgánicos da lugar a sustancias cargadas más polares que sean más favorables a la adsorción con coagulantes y floculantes. En el segundo caso, la separación física por flotación para remover grasas y aceites ocurre por la descomposición natural del  $H_2O_2$  saturando el agua con oxígeno, que da lugar a la formación de microburbujas uniformemente dispersas que limpian el agua residual de las grasas y aceites a medida que se levantan a la superficie del agua. En algunos casos, esto puede aumentar la remoción de niveles en DBO del 50% a 90-95%, aunque generalmente todavía se puede necesitar el auxilio de un polímero. *Electro química Mexicana – Boletín técnico / Reducción de DBO y DQO con peróxido de hidrogeno.*

## 6. MARCO LEGAL

En la actualidad existe una reglamentación en cuanto a los niveles máximos de contaminantes en los vertimientos; así que para la dimensión de este proyecto se tendrá en cuenta las siguientes referencias:

- **Decreto 2811 de 1974:** *Por el cual se expide el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente*, con gran importancia ya que se proclama el ambiente como patrimonio común; en tal sentido el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo; donde define las directrices de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica (POMCH). Por lo tanto, el POMCH se constituyen en una herramienta de planificación de uso del territorio y de los Recursos Naturales Renovables de la nación para garantizar su aprovechamiento y desarrollo sustentable, con el fin de lograr la identificación y programación del proceso de conciliación de los conflictos surgidos entre el modelo de desarrollo y la dinámica autónoma de la Región. Conocimiento ambiental. (2012). “*Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Cajibío – Urbio y Puente Alto Fundación para el Desarrollo Ambiental Sostenible – FUDESO. Recuperado de <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH>”.*
- **Decreto 3930 de 2010:** *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones;* corresponde al Estado garantizar la protección la diversidad e integridad del ambiente y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario; así mismo, regular entre otros aspectos, la clasificación de las aguas, señalar las que deben ser objeto de protección y control especial, fijar su destinación y posibilidades de aprovechamiento, estableciendo la calidad de las mismas y ejerciendo control sobre los vertimientos que se introduzcan en las aguas superficiales o subterráneas, interiores o marinas, a fin de que éstas no se conviertan en

focos de contaminación que pongan en riesgo los ciclos biológicos, el normal desarrollo de las especies y la capacidad oxigenante y reguladora de los cuerpos de agua.

- **Resolución 3957 de 2009:** *Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital*". Es importante la regulación Constitucional de los recursos naturales en Colombia, el cual es atribuido al Estado y éste no le da mucha importancia por controlar los vertimientos de las industrias con elementos de planificación y control de los recursos naturales, estableciendo su manejo y aprovechamiento, con el fin de asegurar su desarrollo sostenible, conservación, restauración y sustitución, en tanto que su función de intervención, inspección y prevención, se encamina a precaver el deterioro ambiental, hacer efectiva su potestad sancionatoria, y exigir a manera de compensación los daños que a éstos se produzcan.

En la **tabla 2**, se hace una comparación de los niveles máximos permisibles para vertimientos industriales según la resolución 3957/09 y el proyecto resolución del decreto 3930/10, **artículo 43 Sección D. Industria manufacturera**, considerándose como la más representativa a nivel distrital, que aplica a los vertimientos generados por la industria del betún.

**Tabla 2. Comparación normativa para vertimientos generados por la industria**

PARÀMETRO	UNIDADES	(*) LIMITES RESOLUCIÓN 3957 DE 2009 DE SDA	(**) PROYECTO RESOLUCIÓN DECRETO 3930 DE 2010 DE MADS
FENOLES TOTALES	mg/L	0,2	0,2
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	600	400
DBO <sub>5</sub>	mg/L	800	300
DQO	mg/L	1500	800
TENSOACTIVOS	mg/L	10	8,0
GRASAS Y ACEITES	mg/L	100	50

**Fuentes:**

(\*) Norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital por la SDA.

(\*\*) Establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público.

## 7. OBJETIVOS

### 7.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la precipitación química con bentonita como un método para la remoción de contaminantes generados por vertimientos de la industria de betunes.

### 7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la alternativa más viable de tratamiento de un vertimiento de la industria del betún con bentonita y/u oxidación con peróxido de hidrogeno.
2. De acuerdo a los ensayos de tratabilidad, determinar la relación de variables al ensayo con la mejor eficiencia en remoción en DQO.
3. Desarrollar el diseño para la alternativa que resulte ser técnica y económicamente más viable para el manejo de vertimientos generados por la industria de betunes.

## 8. METODOLOGÍA

Con el fin de definir el compuesto químico ideal a emplear en el presente proyecto y demostrar que efectivamente con la bentonita se lograban resultados satisfactorios para el tratamiento de la industria de betunes, se probó inicialmente con coagulantes convencionales que se mencionarán posteriormente en la **tabla 4** del presente capítulo.

El proyecto se trabajó estadísticamente por medio de la metodología de análisis de varianza. Se emplearon los valores del ensayo de tratabilidad con mejor resultado, donde, de acuerdo a las interacciones que se realizaron por variación de pH y tiempo de mezcla, se alcanzaron los objetivos planteados. La metodología se dividió en cinco fases para la obtención del producto final y se describen a continuación:

- ***Fase 1: Diagnóstico de la situación actual:***

Para el desarrollo del proyecto se definió, en un principio, el diagnóstico de la situación actual de las principales materias primas de la industria del betún como se puede observar en la ***Función de los componentes del betún (ver tabla 1)***, e identificar la calidad del vertimiento.

- ***Fase 2: Pre-experimentación:***

Se realizaron ensayos previos a varias muestras de vertimientos de una industria de betún en la ciudad de Bogotá, con el fin de determinar que la bentonita efectivamente removía la carga contaminante de una manera satisfactoria, a través de pruebas de ***test de jarras***.

- ***Fase 3: Experimentación:***

A partir de la fase de pre-experimentación, se determinaron los valores de pH que arrojaba el agua residual de la industria del betún para ser utilizados como variables y llevar a cabo la

experimentación básicamente en el *test* de jarras, fijando la misma dosis de bentonita como coagulante.

- ***Fase 4: Análisis de resultados:***

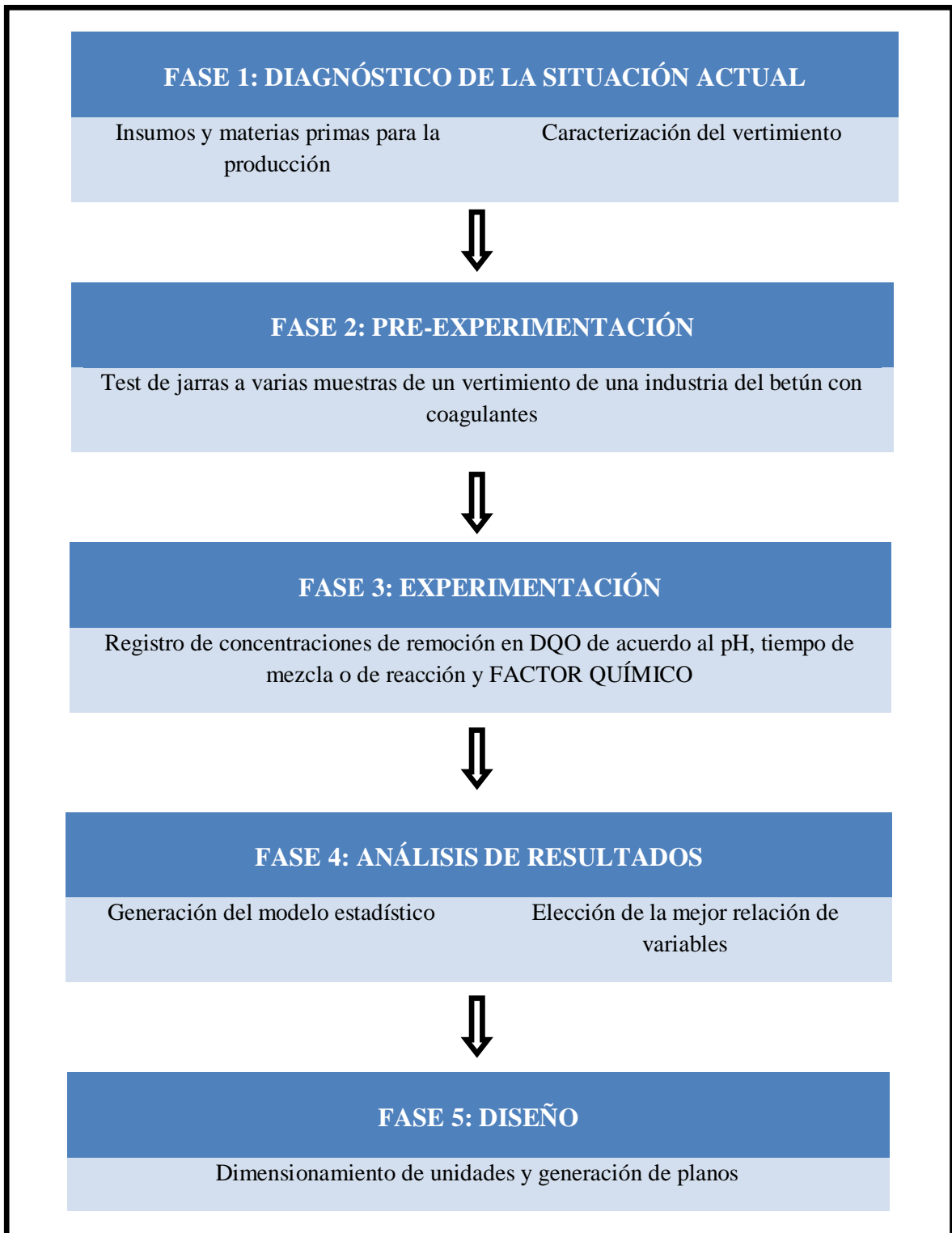
Se determinó la mejor relación de variables de pH y tiempo de reacción, para la mayor eficiencia en remoción en DQO, según el modelo estadístico.

- ***Fase 5: Diseño***

Para la alternativa más viable se realizó el diseño respectivo de cada una de las unidades en razón al caudal a tratar y se elaboraron los planos con el dimensionamiento respectivo. (***Ver anexo 18.2 Planos***).

El **Diagrama 2**, contiene los componentes principales de la metodología en las respectivas fases junto con el orden planteado para la ejecución del proyecto.

**Diagrama 2: Fases de la Metodología**



**Fuente:** Autores, 2014

## 9. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La calidad del vertimiento para cualquier industria del betún sin ningún tipo de tratamiento arroja las concentraciones que se muestran en la **tabla 3**. Así mismo en esta tabla se expone la norma de vertimientos para la ciudad de Bogotá, identificando los parámetros que se están incumpliendo. Los resultados corresponden a una muestra tomada por un laboratorio certificado antes del desarrollo del presente trabajo.

**Tabla 3: Calidad del vertimiento de la industria del Betún**

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	RES. 3957/09	CUMPLIMIENTO
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	2375	1500	No
Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	1463	800	No
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	139	600	Si
Grasas	mg/L	159	100	No
SAAM	mg/L	0,43	10	Si
pH	Unidades	5.3-6.9	5-9	Si

**Fuente:** Laboratorio Conoser Ltda., industria del betún. 2011

En el **diagrama 3** se muestran diversas actividades en las que se genera agua residual del proceso productivo de una industria de betún. Se observa que los vertimientos son generados principalmente durante las actividades de mantenimiento, aseo y limpieza, las cuales se llevan a cabo cada vez que se finaliza la línea de producción, con el fin de evitar algún tipo de alteración en la calidad del siguiente lote.

**Imagen 2: Descarga vertimiento industrial.**

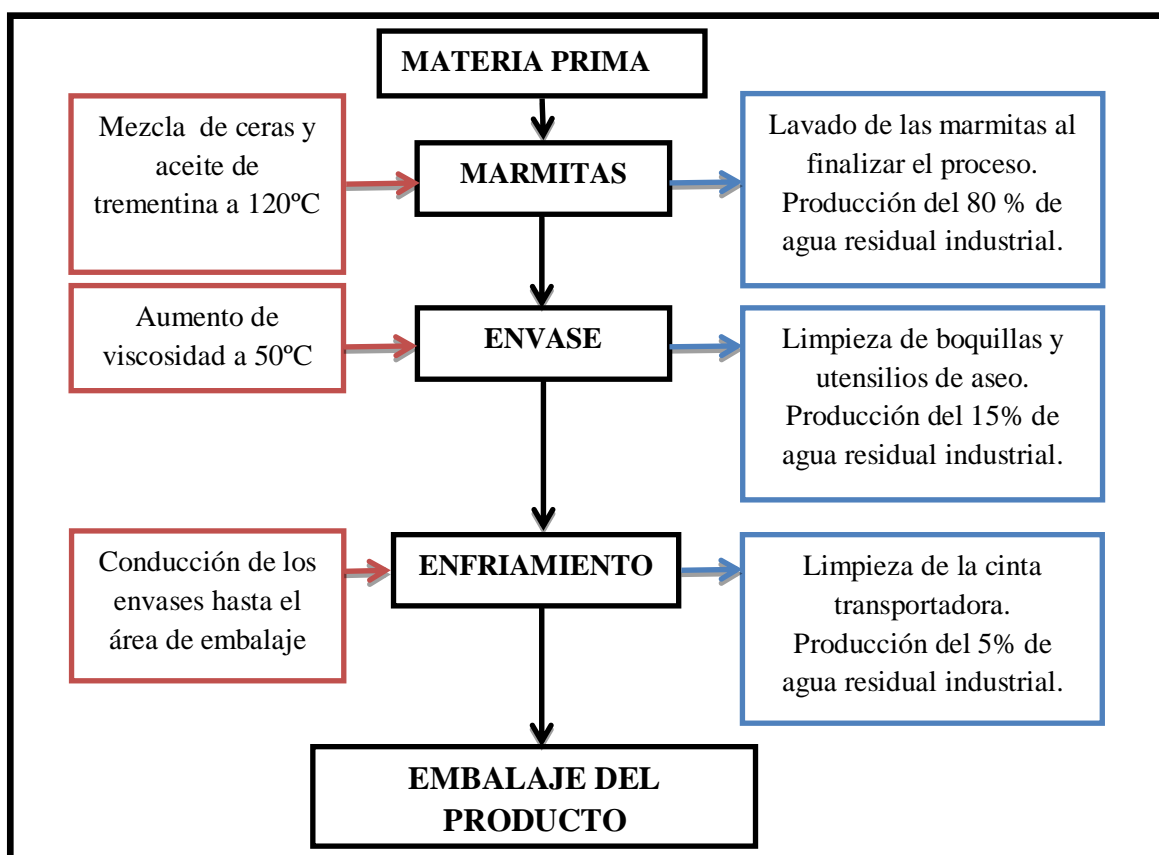


**Fuente:** Autores, 2014



El **Diagrama 3** muestra el proceso general para la producción del betún y las áreas o actividades que generan agua residual industrial, la cual es vertida directamente al alcantarillado público sin ningún tipo de tratamiento.

**Diagrama 3: Actividades generadoras de Agua residual en la industria del betún.**



Fuente: Autores, 2014.

En virtud de lo anterior, se puede observar que el mayor volumen de agua residual industrial se presenta en el lavado de las marmitas con un porcentaje del 80% del total del agua residual generada en la industria, ya que al finalizar cada lote de producción es necesario lavarlas y evitar de esta manera que la calidad de otros productos se vea afectada bien sea en su composición o apariencia física debido al uso de colorantes.

Se recalca el hecho que en el proceso productivo no se necesita agua, razón por la cual los vertimientos generados son producto del mantenimiento de las unidades y limpieza de utensilios de aseo.

## 10. PRE-EXPERIMENTACIÓN

Como punto de inicio, se realizaron ensayos previos de la tratabilidad a una muestra de agua producto de la industria del betún, con el fin de identificar el mejor coagulante para la remoción de la contaminación en términos de DQO; se utilizaron los siguientes productos que son empleados en diferentes tipos de vertimiento industrial como coagulantes:

1. Sulfato de Aluminio -líquido.
2. Cloruro Férrico -líquido.
3. Policloruro de Aluminio (PAC) -líquido.
4. Bentonita -sólido.

### 10.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Debido a los compuestos que tiene el betún como son: la cera de carnauba, parafina, aceite mineral, vaselina, entre otros, se utilizó el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) como un agente para romper las emulsiones que se encontraban en el agua y de esta manera mejorar la acción de los coagulantes anteriormente mencionados.

Para el ajuste de pH no se empleó alcalinizantes como  $\text{NaOH}$  ó  $\text{Ca(OH)}_2$  porque éstos impartían alcalinidad, así como tampoco  $\text{H}_2\text{SO}_4$  porque el agua residual industrial de este tipo generalmente tiene pH's que varían entre 6 a 10 unidades.

### 10.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRE-EXPERIMENTACIÓN.

Realizando la pre-experimentación anterior, se identificó que la bentonita efectivamente removía cargas contaminantes de una manera satisfactoria con una dosis de 3.000 mg/L en comparación con los demás coagulantes como se muestra en la **tabla 4**.

La fase de pre-experimentación se ejecutó finalmente de la siguiente manera para la bentonita:

1. Se tomaron 0,5 L de agua cruda en cada jarra.
2. Se programó el test de jarras para tiempos de reacción de 20, 40 y 60 minutos.
3. Se agregó cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), con el fin de romper las emulsiones que tiene la muestra de agua con una dosis de 1400 mg/L.
4. Se añadió bentonita como coagulante para una dosis de 3.000 mg/L.
5. Una vez finalizado el tiempo de reacción, se permitió la sedimentación de las partículas.
6. Finalmente se tabularon los valores en DQO para la muestra de agua cruda y el clarificado cuya determinación se realizó por el método HACH.

**Tabla 4: Niveles en DQO en el agua luego de emplear diferentes coagulantes**

COAGULANTE	DQO AGUA CRUDA (mg/L)	DQO AGUA CLARIFICADA (mg/L)
Sulfato de Aluminio- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{CaCl}_2)$	3520	2800
Cloruro Férrico- $\text{FeCl}_3 + (\text{CaCl}_2)$		3040
Policloruro de Aluminio (PAC) + $(\text{CaCl}_2)$		1704
Bentonita + $(\text{CaCl}_2)$		1200

Fuente: Autores, 2014.

Los resultados anteriores muestran que efectivamente con la dosis de cloruro hay una mejor generación del floc con bentonita; por esta razón, se procede a hacer una previa mezcla evaluándose dos eventos principalmente:

- 1) Agua cruda más bentonita
- 2) Agua cruda con bentonita más una concentración de  $\text{CaCl}_2$ .

De acuerdo a lo anterior se observó una mayor facilidad en la formación del floc granular en la mayoría de muestras de agua al aplicar una concentración de 1400 mg/L de  $\text{CaCl}_2$  con un gradiente de velocidad de 40 RPM durante 60 segundos, esto se puede apreciar al hacer la comparación entre las **imágenes 3 y 4**.

**Imagen 3: Agua cruda más Bentonita**



Fuente: Autores, 2014.

**Imagen 4: Agua cruda con bentonita más CaCl<sub>2</sub>.**



Fuente: Autores, 2014.

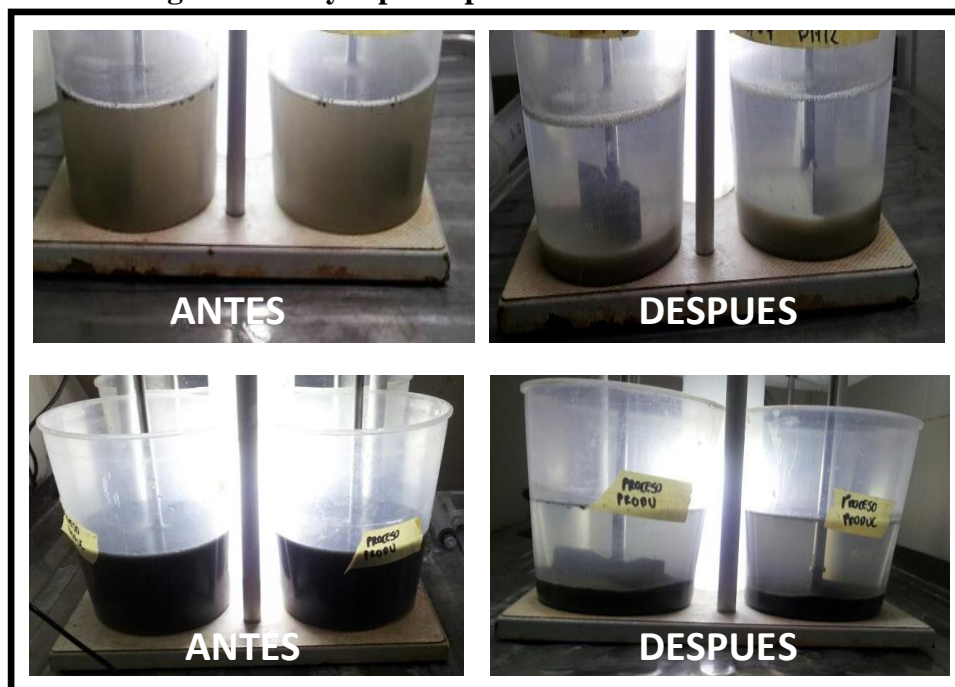
Para el presente trabajo no se emplearon valores de pH's menores a 6 porque en ninguno de los métodos empleados se observó la desestabilización de las partículas y por consiguiente la formación de un floc consistente, el cual se obtuvo entre valores de pH de 6 a 10 unidades.

De acuerdo a lo anterior se seleccionó la Bentonita para llevar a cabo la tratabilidad en el presente proyecto y como opción los investigadores tuvieron en cuenta, además, el uso del Peróxido de Hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e identificar el comportamiento de la remoción en DQO, debido a que este oxidante ha demostrado remover en otros casos concentraciones en DQO de dos maneras principalmente:

- ✚ En el primer caso, cuando la oxidación de contaminantes orgánicos es parcial y da como resultado sustancias cargadas más polares, las cuales favorecen la adsorción con coagulantes y floculantes.
- ✚ En el segundo caso, cuando se da la separación física por flotación para remover grasas y aceites, ésta ocurre por la descomposición natural del  $H_2O_2$  saturando el agua con oxígeno lo que da lugar a la formación de microburbujas que se dispersan uniformemente y liberan el agua residual de las grasas y aceites a medida que se levantan a la superficie del agua. *Electro química Mexicana – Boletín técnico / Reducción de  $DBO_5$  y  $DQO$  con peróxido de hidrogeno.*

Las pruebas de pre-experimentación se llevaron a cabo para definir el rango del pH en las muestras de agua antes y después del tratamiento (**ver Imagen 5**), debido a que en los procesos de coagulación el pH es una variable que se requiere conocer para establecer el rango de desestabilización de los coloides en el agua, logrando para el presente proyecto identificar tres (3) valores que son 6, 8 y 10 unidades de pH y ser evaluados en el modelo estadístico de análisis de varianza.

**Imagen 5: Ensayos pre-experimentación con Bentonita.**



Fuente: Autores, 2014.

Como se mencionó anteriormente, no se tomaron valores por debajo de 6 porque en ninguno de los métodos empleados se observó la desestabilización de las partículas y por consiguiente la formación del floc consistente. A su vez, en las pruebas de pre-experimentación se persiguió comprobar que la Bentonita efectivamente removía concentraciones importantes en DQO; estos valores fueron registrados en la **tabla 5**:

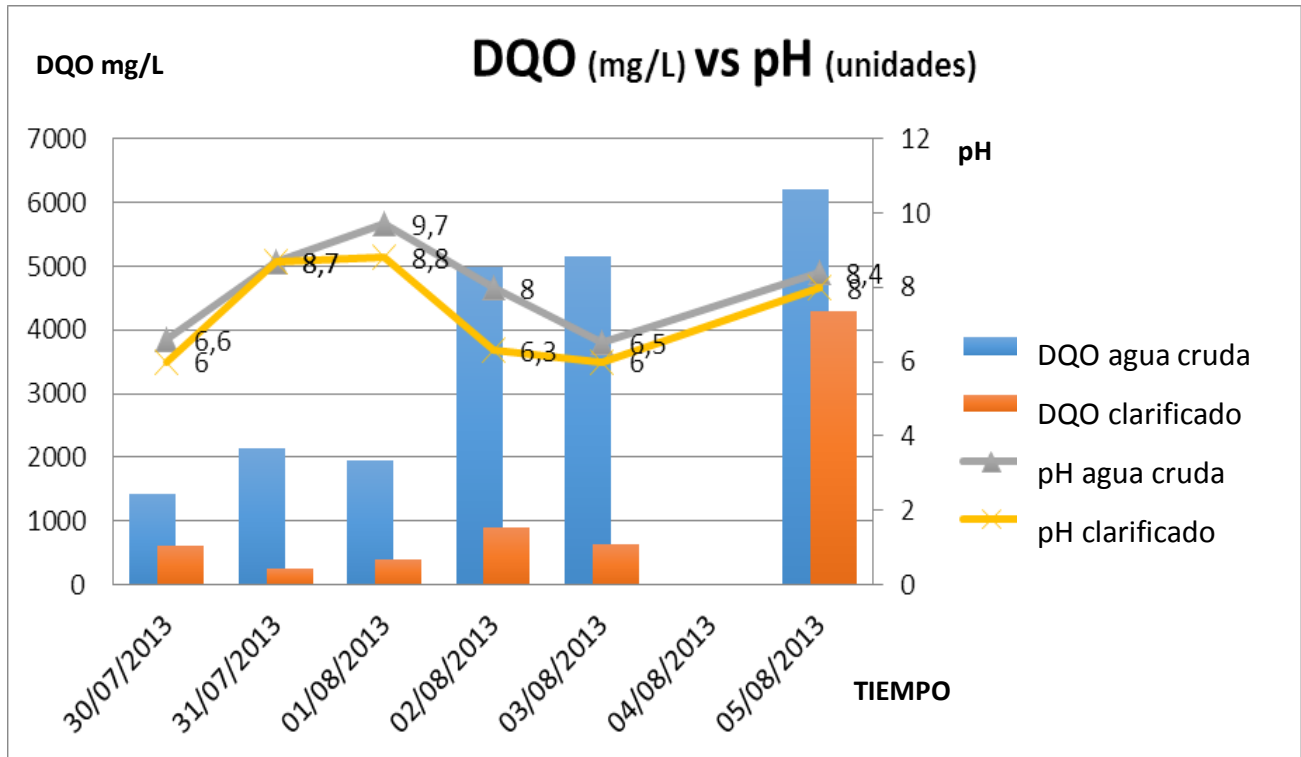
**Tabla 5: Resultados de la fase de Pre-experimentación utilizando Bentonita**

Fecha	DQO (mg/L)			pH (unidades)		
	Cruda	Clarificado	Eficiencia %	Cruda	Cruda acondicionada con (CaCl <sub>2</sub> )	Clarificado
30/07/2013	1430	610	57	6,6	6,5	6,0
31/07/2013	2130	250	88	8,7	8,6	8,7
01/08/2013	1940	390	80	9,7	9	8,8
02/08/2013	4980	900	82	8	7,8	6,3
03/08/2013	5160	640	88	6,5	6,8	6,0
05/08/2013	6210	4290	30	8,4	8,0	8,0

Fuente: Autores, 2014

De acuerdo a lo anterior, con la Bentonita se obtuvo una remoción en promedio del 70% y el pH varió entre 6 a 10 unidades aproximadamente. Estos resultados se pueden identificar de una manera más clara en la **figura 4**, en donde se relacionan los niveles en DQO y pH, tanto para el agua cruda como para el clarificado en los días en que se llevaron a cabo las pruebas.

Figura 4: Valores en DQO Y pH utilizando Bentonita



Fuente: Autores, 2014

Los procesos de generación de vertimiento en la industria del betún fueron los que se presentan en la **tabla 6**, y al realizar una comparación con los resultados obtenidos, se observó una variación de pH debido a que la muestra de agua tomada el día 03/08/13 fue producto del lavado de las marmitas con betún negro y por ende el contenido de sustancias emulsionadas es mayor, lo cual permite un mayor efecto del  $\text{CaCl}_2$  y una variación considerable de los valores de pH inicial y final.

**Tabla 6: Registro procesos de generación de vertimiento.**

FECHA	PROCESO	DISCUSIÓN
30/07/13	Lavado de utensilios con betún negro.	El lavado de utensilios se realiza todos los días para evitar algún tipo de contaminación cruzada con los demás productos.
31/07/13	Lavado de utensilios con betún negro, quita grasa, gamuza neutro y bálsamo para cuero.	Dentro de los procesos de la industria del betún se encuentran diversos productos para la limpieza y cuidado de gamuzas y cuero principalmente.
01/08/13	Lavado de utensilios Desengrasante, varsol, restaurador, bálsamo de cuero, crema para muebles.	
02/08/13	Lavado de marmitas de betún negro y utensilios	Como se puede apreciar en el transcurso de la semana en que se tomaron las muestras se encontró en producción el betún negro, razón por la cual se reflejan alta concentración de DQO en la figura 4.
03/08/13	Lavado de utensilios con contenido de betún negro	
05/08/13	Limpieza de máquinas y áreas de trabajo	Por normatividad de la empresa cada ocho días, se realiza la limpieza general de toda la planta de producción, involucrando tanto las máquinas como los pisos obteniendo altas concentraciones de contaminantes y por tal razón se refleja en los resultados una baja eficiencia en remoción de DQO.

Fuente: Autores, 2014



## 11. EXPERIMENTACIÓN

Una vez seleccionados los productos a estudiar en la fase de Pre-experimentación se procedió a detallar a fondo el estudio de variables.

Se encontró que la industria del betún arrojaba vertimientos con diferentes pH, entre 6 y 10 unidades. Dichos valores fueron utilizados como variables para llevar a cabo la fase de experimentación por medio del ensayo de tratabilidad con el método de jarras como se muestra en la **imagen 6**, al igual que la dosis de bentonita y los tiempos de mezcla o de reacción que fueron de 20, 40 y 60 minutos.

Los resultados de la fase de experimentación fueron registrados en la **tabla 7** y por medio del *Software* estadístico SPSS se efectuó el análisis descriptivo calculando medidas de tendencia central y medidas de dispersión, de acuerdo a los **FACTORES QUÍMICOS** \*; bajo la secuencia en que se llevó la dosificación para los cuatro niveles evaluados en cuanto a la remoción de DQO, así:

- ✚ Tratamiento con Bentonita suministrada a la muestra de agua cruda.
- ✚ Tratamiento con Peróxido de Hidrógeno suministrado a la muestra de agua cruda.
- ✚ Tratamiento con dosis inicial de peróxido de hidrogeno seguido de Bentonita.
- ✚ Tratamiento con dosis inicial de Bentonita, seguido de peróxido de hidrogeno.

**Imagen 6: Ilustración de un Test de jarras y celdas de DQO.**



Fuente: Autores, 2014

\* **FACTOR QUÍMICO:** Este término se define como los compuestos químicos y la secuencia para agregarlos a las muestras de agua cruda para los cuatro niveles evaluados.

Como se ha mencionado anteriormente los resultados de la tratabilidad fueron registrados en la **tabla 7**, la cual muestra a su vez la desviación estándar, entendiéndose este valor como una medida de dispersión que indica qué tan lejos están los resultados con respecto a un valor promedio, pero que es más representativo cuando se observan dichos valores con el coeficiente de variación, ya que representan un valor porcentual. Para este caso se obtuvo en promedio general el coeficiente de variación del 4,14%.

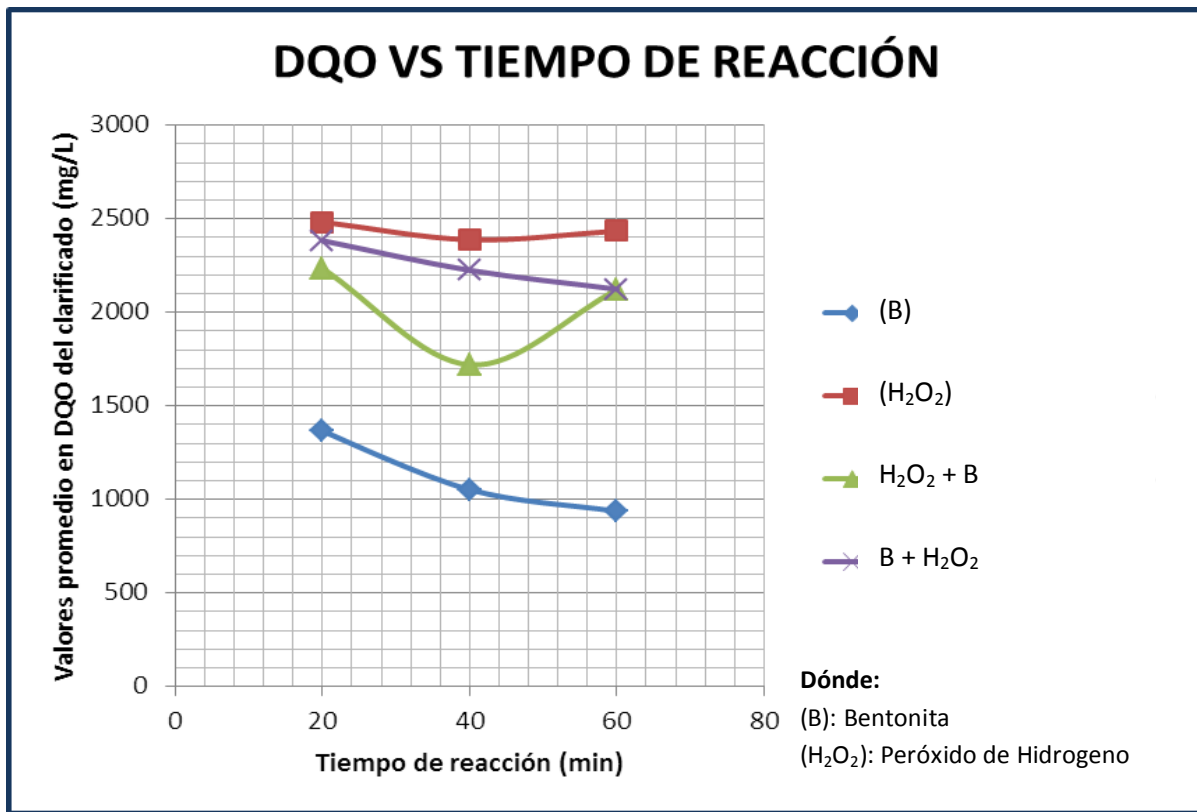
**Tabla 7: Valores de DQO de acuerdo a la dosis entre las interacciones Bentonita y Peróxido de Hidrógeno suministrada al agua residual de una industria de betún.**

Promedio en DQO (mg/L)	Tiempo (min)	pH			Valor promedio en DQO del clarificado (mg/L)	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)
		6	8	10			
Factor Químico							
Bentonita (B)	20	1478	1208,5	1409,5	1365,33	140,07	10,26
	40	1339,5	860	957,5	1052,33	253,43	24,08
	60	944	906	959,5	936,50	27,53	2,94
<b>Promedio B</b>		<b>1253,83</b>	<b>991,50</b>	<b>1108,83</b>	<b>1118,06</b>	<b>140,34</b>	<b>12,43</b>
Peróxido de hidrogeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	20	2584	2377	2488	2483,00	103,59	4,17
	40	2405,5	2378	2381,5	2388,33	14,97	0,63
	60	2504	2191	2609	2434,67	217,45	8,93
<b>Promedio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>		<b>2497,83</b>	<b>2315,33</b>	<b>2492,83</b>	<b>2435,33</b>	<b>112,00</b>	<b>4,58</b>
Peróxido de hidrogeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) + Bentonita (B)	20	2319,5	2157	2228,5	2235,00	81,44	3,64
	40	2029	2090,5	1039,5	1719,67	589,44	34,3
	60	2132,5	2156	2074	2120,83	42,23	1,99
<b>Promedio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + B</b>		<b>2160,33</b>	<b>2134,50</b>	<b>1780,67</b>	<b>2025,17</b>	<b>237,70</b>	<b>13,31</b>
Bentonita (B) + Peróxido de hidrogeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	20	2597,5	2307,5	2245	2383,33	188,09	7,89
	40	2196,5	2306,5	2172	2225,00	71,64	3,22
	60	2035,5	2178,5	2157	2123,67	77,11	3,63
<b>Promedio B + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>		<b>2276,5</b>	<b>2264,17</b>	<b>2191,33</b>	<b>2244,00</b>	<b>112,28</b>	<b>4,91</b>
<b>PROMEDIO GENERAL</b>		<b>2047,13</b>	<b>1926,38</b>	<b>1893,42</b>	<b>1955,64</b>	<b>150,58</b>	<b>8,81</b>

Fuente: Autores, 2014

Los resultados obtenidos anteriormente se resumen en la **Figura 5**, en donde se muestra los valores promedio en DQO del clarificado y se puede apreciar que para los cuatro niveles del **FACTOR QUÍMICO** la que menor concentración en DQO presenta es la Bentonita.

**Figura 5: Valores promedio de DQO del clarificado con los cuatro niveles de Factor Químico.**



Fuente: Autores, 2014

## 12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se pretende determinar el pH, tiempo de mezcla o de reacción y FACTOR QUÍMICO más significativo en la remoción de la DQO para un agua con contenidos de parafina, cera, aceite mineral, vaselina entre otros típica de una industria de betún.

### 12.1 PRUEBAS DE MEDIAS ENTRE GRUPOS

Con los valores promedios se determina la relación de variables al ensayo con la mejor eficiencia de remoción en DQO; mostrando sus resultados en la **tabla 8** para cada uno de las pruebas realizadas, teniendo como constantes el pH, Tiempo de reacción y el FACTOR QUÍMICO.

**Tabla 8: Resultados promedio en DQO para cada grupo de variables influyentes en una muestra de agua residual tratada con bentonita en una industria de betún.**

DESCRIPCIÓN		Tamaño de la muestra	VALORES DE DQO (mg/L)			
			1	2	3	4
pH (unidades)	10	24	1893			
	8	24		1926		
	6	24			2047	
Tiempo de reacción (minutos)	40	24	1846			
	60	24		1904		
	20	24			2117	
FACTOR QUÍMICO	B	18	1118			
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + B	18		2025		
	B + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	18			2244	
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	18				2435

Fuente: Autores, 2014

**Nota:** Todos los datos tienen una significancia igual a 1, toda vez que presentan que las variables influyen en su totalidad en los resultados de DQO.

En virtud de lo anterior, los valores promedios en DQO para cada una de las pruebas son estadísticamente significativos y las concentraciones varían en cada una ellas.

Las concentraciones más bajas en DQO se obtuvieron a pH de 10, con tiempo de mezcla de 40 minutos, utilizando Bentonita, en comparación con los resultados obtenidos a pH de 6, con tiempo de mezcla de 20 minutos y utilizando peróxido de hidrogeno; éstos son considerados como los más altos dentro de este rango de pruebas. Al final se obtuvieron valores de pH, como se puede observar en la **tabla 9**.

**Tabla 9: Valores de pH para cada uno de los FACTORES QUÍMICOS en la fase de experimentación**

FACTORES QUÍMICOS	VALORES DE pH					
	6		8		10	
	Cruda	Clarificada	Cruda	Clarificada	Cruda	Clarificada
BENTONITA	6,2	6	8,5	8	9,8	9
PERÓXIDO DE HIDRÓGENO	6,6	6,4	8	7,6	9,7	9,2
PERÓXIDO DE HIDRÓGENO + BENTONITA	6,3	6,3	8,1	8	10	9,5
BENTONITA + PERÓXIDO DE HIDRÓGENO	6,5	6,4	8	7,8	10	9,4

Fuente: Autores, 2014

## 12.2 HIPOTESIS PARA LA ESTIMACIÓN DEL MODELO

Para el desarrollo del modelo se tiene una hipótesis nula ( $H_0$ ) y una alternativa ( $H_1$ ) que serán rechazadas o adoptadas según el método del valor  $-p$  o nivel de **significancia** observado, que es el nivel más pequeño en el que se puede rechazar  $H_0$ , como se puede observar en la **tabla 10**.

Se plantean hipótesis para el modelo y para cada uno de los factores.

- ✚ Hipótesis Nula ( **$H_0$** ): No existe efecto entre los factores y la variable dependiente, para este caso no habría ningún tipo de variación entre los FACTORES QUIMICOS con respecto al pH y tiempo de mezcla o contacto.

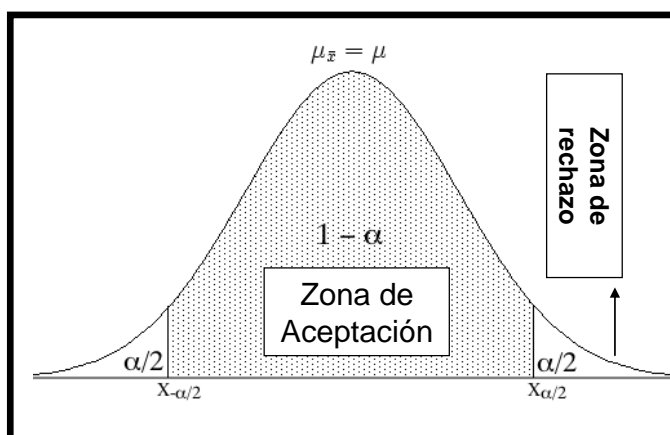
$$H_0 = \beta_i = 0$$

- ✚ Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ): Existe un efecto entre los factores y la variable dependiente, para este caso los FACTORES QUIMICOS en combinación con el pH y tiempo de mezcla tendrán una influencia sobre las concentraciones en DQO.

$$H_1 = \beta_i \neq 0$$

Los criterios de selección están regidos por el valor-p en relación a  $\alpha$  ó intervalo de confianza del 95%, como se muestra en la **imagen 7**:

**Imagen 7: Zona de aceptación para el diseño experimental**



**Dónde:**

- Se rechaza  $H_0$ , sí el valor-p  $< \alpha$  y es significativa la prueba, es decir, hay efecto del factor sobre la variable dependiente. El valor-p también se conoce como *p-value* o sig. (de significancia).
- No se rechaza  $H_1$ , sí el valor-p  $\geq \alpha$ .

Tabla 10: Pruebas de efectos

Fuente	Tipo III Suma de cuadrados	Numero de datos (Df)	Media de cuadrados	F	Significancia
Modelo Corregido	22238085,611 <sup>a</sup>	35	635373,875	247,230	,000
Intercepto	275365689,389	1	275365689,389	107147,341	,000
PH	314344,528	2	157172,264	61,157	,000
TIEMPO	973268,111	2	486634,056	189,354	,000
FACTOR	18353499,167	3	6117833,056	2380,506	,000
PH * TIEMPO	492985,972	4	123246,493	47,956	,000
PH * FACTOR	587996,917	6	97999,486	38,133	,000
TIEMPO * FACTOR	728793,667	6	121465,611	47,263	,000
PH * TIEMPO * FACTOR	787197,250	12	65599,771	25,525	,000
Error	92519,000	36	2569,972		
Total	297696294,000	72			
Corrected Total	22330604,611	71			

\* R Squared = ,996 (Adjusted R Squared = ,992)

Fuente: Autores, 2014

Se verifica que el *p-value* o nivel de significancia para el modelo es igual a 0.000 (ver tabla 10), el cual es menor al  $\alpha= 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, evidenciando una estadística para decir que el modelo se ajusta a los datos, es decir que los factores pH, TIEMPO y FACTOR QUÍMICO son **significativos** y existe un efecto de los factores con respecto a las concentraciones de DQO obtenido en el clarificado después de haber realizadas las pruebas de tratabilidad.



### 13. DISEÑO

El sistema propuesto para el tratamiento de aguas residuales industriales en una industria de betún en la ciudad de Bogotá, tiene como fin dar cumplimiento a la normatividad ambiental vigente. Para su diseño se tomó como base de cálculo un caudal de 0,15 LPS. A continuación se hace una descripción general del sistema de tratamiento propuesto y en el **Anexo 18.1 Memorias de cálculo** se especifican los parámetros de diseño y las dimensiones de las unidades, así:

- ✚ Sistema de bombeo con cribado (1): En esta unidad se colectará el agua residual sin tratar y posteriormente será conducida al tanque de igualación; esta unidad contará con una criba para la retención de sólidos gruesos con la finalidad de proteger las demás unidades del sistema de tratamiento.

**Tabla 11: Dimensionamiento del Tanque de Bombeo con Criba**

Parámetro	unidad	Cálculo	Valor	Convención
Caudal	L/s		0,14	
	m <sup>3</sup> /s		0,00014	
	m <sup>3</sup> /h		0,504	
Tiempo de retencion	min	asumido	20	Tr
Volumen	m <sup>3</sup>	$v = Q_{max} * Tr$	0,168	v
	L		168	
Altura	m	asumido	0,74	h
Borde libre	m	asumido	0,1	Bl
Altura total	m	$Ht = h + Bl$	0,84	HT
diametro	m	asumido	0,69	A
Numero de bombas	-		2	
<b>CRIBA</b>	Malla de orficios	mm	asumido	10 x 10
	Medidas	cm	asumido	30x30x30

Fuente: Autores, 2014

- ✚ Tanque de clarificación química (2): En esta unidad se llevará a cabo los procesos de coagulación y floculación para aglomerar los sólidos desestabilizados y posteriormente permitir la sedimentación de los mismos. Allí se aplicará CaCl<sub>2</sub> y Bentonita según los

resultados obtenidos en la presente investigación. El agua clarificada será conducida por medio de un decantador a la siguiente unidad.

**Tabla 12: Dimensionamiento del Tanque de Clarificación Química**

Parámetro	unidad	Cálculo	Valor	Convención
Caudal medio	m <sup>3</sup> /h		0,55	
	L/s		0,15	Q
Tiempo de retención	h	asumida	1,00	Tr
Volumen	m <sup>3</sup>	V=Q*Tr	0,55	V
	L		550	
diametro Mayor	m	asumida	1,50	DM
altura cilindro	m	asumida	1,2	H
diametro Menor - tolva	m	asumida	0,3	Dm
Velocidad de mezcla area- mayor	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia	asumida	30,00	vM
Velocidad de mezcla area- menor	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia	asumida	120,00	vm
Area Mayor	m <sup>2</sup>	A=Q/Si	0,44	
Area menor	m <sup>2</sup>	A=Q/Si	0,11	
dif. Diametros	m	dx=(DM-Dm)/2	0,60	dx
angulo tolva	º	asumida	45	
altura tolva	m	ht=1*dx	0,60	
Borde libre cilindro	m	asumida	0,20	
altura total unidad	m	HT=ht+H+bL	2,00	

Fuente: Autores, 2014

✚ Tanque de equilibrio (3): En éste se almacenará un volumen de agua tratada y por medio de bombas centrifugas será conducida a un sistema de filtración.

**Tabla 13: Dimensionamiento del Tanque de Equilibrio**

Parámetro	unidad	Cálculo	Valor	Convención
Caudal medio	m <sup>3</sup> /h		0,55	
	L/s		0,15	Q
diametro	m	asumido	0,60	D
altura	m	asumido	1,8	H
Area	m <sup>2</sup>	A= Pi/4 *D <sup>2</sup>	0,3	A
Volumen	m <sup>3</sup>	V= A*H	0,5	V
	L		508,9	
Tiempo de retención	h	tr=V/Q	1	

Fuente: Autores, 2014

- ✚ Sistema de filtración (4): Para dar una mayor remoción de contaminantes inorgánicos y orgánicos de tamaño de partículas de 1 a 1.000  $\mu$  el agua pasará a través de un filtro de arena, protegido con pintura epóxica.
- ✚ Unidad de acondicionamiento y deshidratación de lodos: Los lodos generados en el sistema serán conducidos a un tanque plástico para disminuir los porcentajes de humedad, con la adición de cal. El lodo espesado se llevará a un filtro prensa (opcional), obteniendo como resultado un contenido de humedad del 55 al 65%.

**Tabla 14: Dimensionamiento del Sistema de Filtración y Unidad de Acondicionamiento en la Deshidratación de Lodos**

PARÁMETRO	UNIDAD	CÁLCULO	VALOR	CONVENCIÓN
CAUDAL	L/s		0,14	Q
	m <sup>3</sup> /h		0,5	Q
tasa de infiltración	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h		7	Ti
<b>FILTRO DE ARENA</b>				
AREA	m <sup>2</sup>	$A=(Q/2)/Ti$	0,072	A
radio	m	$r=(As/\pi)^{(1/2)}$	0,2	r
diámetro	m		0,3	D
altura recta de abombamiento	m	asumido	0,3	Ha
altura efectiva	m	asumido	1,2	He
lecho filtrante	m	$H\text{ lecho}=2/3*He$	0,8	Hl
	cm		80	
parte vacía	m	$1/3*He$	0,4	
volumen	m <sup>3</sup>	$V=He*A$	0,0864	V
<b>CANTIDAD DE LECHO</b>				
Densidad arena	g/cm <sup>3</sup>	asumido	1,7	
Volumen lecho			0,0288	
Gravas	kg	$m=\text{densidad}*\text{volu men}$	170	
Arena	kg	$m=\text{densidad}*\text{volu men}$	1190	
<b>DIÁMETRO DE TUBERÍA</b>				
velocidad en tubería	m/s	asumido	0,8	Vt
Area	m <sup>2</sup>	$AREA = Q/V$	0,0000875	
dimetro tubería	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,01	
diámetro tubería	in		0,4	
<b>TUBERÍA DE LAVADO</b>				
caudal	m <sup>3</sup> /h		1,0	
velocidad	m/h	asumido	1,1	
area		$AREA = Q/V$	0,000254545	
dimetro tubería	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,02	
diámetro tubería	in		1	

<b>FILTRO CARBON ACTIVADO</b>				
tasa de infiltración	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h	asumido	4	
<b>TANQUE</b>				
AREA	m <sup>2</sup>	$A=(Q)/Ti$	0,063	A
radio	m	$r=(As/\pi)^{(1/2)}$	0,14	r
diámetro	m		0,3	D
altura recta de abombamiento	m	asumido	0,3	Ha
altura	m	asumido	1,8	He
lecho filtrante	m		0,9	Hl
	cm		90	
parte vacía	m		0,9	
volumen	m <sup>3</sup>		0,1134	V
<b>CANTIDAD DE LECHO</b>				
Densidad Carbon Activado	g/cm <sup>3</sup>	asumido	0,4	
Volumen lecho Grava	g/cm <sup>3</sup>		0,0063	
Volumen lecho Carbon			0,0567	
Gravas	kg	$m=\text{densidad}*\text{volu men}$	2,52	
Carbon	kg	$m=\text{densidad}*\text{volu men}$	22,68	
<b>DIÁMETRO DE TUBERÍA</b>				
velocidad en tubería	m/s	asumido	0,6	Vt
Area	m <sup>2</sup>	$AREA = Q/V$	0,0001	
dimetro tubería	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,012	
diámetro tubería	in		0,0003	
<b>TUBERÍA DE LAVADO</b>				
caudal	m <sup>3</sup> /h		1,0	
velocidad	m/h	asumido	2	
area		$AREA = Q/V$	0,00014	
dimetro tubería	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,01	
diámetro tubería	in		0,5	

Fuente: Autores, 2014

## 14. ESTUDIO PRE-ECONÓMICO

### 14.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión del sistema de tratamiento descrito anteriormente se muestra en la **tabla 15** para un sistema de tratamiento fabricado en fibra de vidrio, con recubrimiento en resina en poliéster y pintura electrostática. Este tipo de material tiene como principal ventaja una larga durabilidad, fácil mantenimiento y transporte.

**Tabla 15: Inversión del Sistema de Tratamiento**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	V/UNIT	V/TOTAL
<b>SISTEMA DE PRECIPITACIÓN QUIMICA CON CAPACIDAD DE 0.15 LPS.</b>				
1	-Sistema de bombeo con cribado.	1	\$ 2.419.200	\$ 2.419.200
2	-Tanque de precipitación química	1	\$ 8.909.250	\$ 8.909.250
3	-Tanque de equilibrio. Incluye bomba centrífuga para la alimentación del sistema de filtración.	1	\$ 3.982.000	\$ 3.982.000
4	-Filtro de arena	1	\$ 2.467.500	\$ 2.467.500
5	-Filtro de carbón activado	1	\$ 2.467.500	\$ 2.467.500
6	-Bomba dosificadora eléctrica tipo diafragma. Incluye tanques para almacenamiento de químicos.	3	\$ 891.000	\$ 2.673.000
7	-Tanque plástico de almacenamiento de lodos y base metálica con rodachinas	1	\$ 1,936.950	\$ 1,936.950
8	-Tablero eléctrico	1	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
9	-Material para conexiones hidráulicas	GLB	\$ 3.370.500	\$ 3.370.500
10	-Mano de obra de instalación.	GLB	\$ 2.625.000	\$ 2.625.000
<b>SUB - TOTAL</b>				\$ 35.350.900,00
ADMINISTRACION (10%)				\$ 3.535.090,00
IMPREVISTOS (5%)				\$ 1.767.545,00
UTILIDAD (10%)				\$ 3.535.090,00
IVA SOBRE LA UTILIDAD (16%)				\$ 565.614,40
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 44.754.239,40</b>

Fuente: Autores, 2014

De acuerdo a lo anterior, el sistema de tratamiento puede ser adquirido por la industria del betún, y de esta manera dar cumplimiento a lo establecido en la normatividad ambiental de la ciudad de Bogotá disminuyendo a su vez los impactos generados al medio ambiente producto de su actividad.

Para la instalación del sistema de tratamiento se debe tener en cuenta los siguientes aspectos principalmente:

- ✚ El lugar donde va a permanecer el sistema de tratamiento debe ser lo suficientemente grande para poder llevar a cabo su instalación y realizar cualquier tipo de mantenimiento que este requiera, se recomienda un espacio de 3,00 x 5,00 x 3,00 m de alto.
- ✚ Establecer un punto eléctrico 220 V para instalar el tablero de control y automatización de los equipos eléctricos. El sistema de encendido del bombeo inicial será por medio de un sensor de nivel tipo flotador al igual que la bomba centrífuga para la alimentación del tren de filtración.
- ✚ Establecer un punto hidráulico de agua potable en caso tal que se requiera realizar algún tipo de limpieza a las unidades de tratamiento.
- ✚ Capacitar al personal a cargo, para el óptimo funcionamiento de la planta y mantenimiento de la misma.

## 14.2 COSTOS DE OPERACIÓN.

En la **tabla 16** se describe el costo de operación por consumo de energía, insumo químico y personal que requiere el sistema de tratamiento de agua para una industria de betún.

**Tabla 16: Valores consumibles día por el Sistema de Tratamiento**

CONSUMOS ENERGÉTICOS							
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	AMPERAJE	VOLTAJE	CONSUMO DE ENERGIA (Kwh)	TARIFA (\$/Kwh)	V/TOTAL
1.1	Bomba sumergible de 1 HP	1	7	220	15,38	\$ 383	\$ 5.892
1.2	Bomba centrífuga de 1 HP	1	7	220	15,38	\$ 383	\$ 5.892
1.3	Bomba tipo diafragma	3	0,25	110	0,27	\$ 383	\$ 105
SUB - TOTAL							\$ 11.890
INSUMOS QUÍMICOS							
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DOSIS (mg/L)	CONSUMO DIA (gr/d)	VALOR COMERCIAL	V/UNIDAD	V/TOTAL
2.1	Bentonita Kg	1	3000	202,5	\$ 2.000	\$ 2,00	\$ 405
2.2	Cloruro de Calcio kg	1	1400	94,5	\$ 5.000	\$ 5,00	\$ 473
SUB - TOTAL							\$ 878
PERSONAL							
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR / HORA	HORAS	COSTO DIA	V/TOTAL	
3.1	Operario	1	\$ 3.000,00	\$ 2	\$ 6.000	\$ 6.000	
SUB - TOTAL							\$ 6.000

SUB-TOTAL CONSUMIBLES	\$ 18.767
Caudal (LPS)	0,15
Horas de trabajo	8
Volumen de agua por día (m3/d)	6,48
<b>\$/m3 de agua tratada</b>	<b>\$ 2.896</b>

Fuente: Autores, 2014

## 15. CONCLUSIONES

Con el diagnóstico de la situación actual se encontró que el vertimiento arrojado al alcantarillado por una industria de betún en la ciudad de Bogotá, incumple con dos parámetros de calidad según la resolución 3957/2009 para vertimientos al alcantarillado público en el Distrito Capital, los cuales fueron DQO con 2375 mg/L y DBO<sub>5</sub> 1463 mg/L.

Al llevar a cabo los análisis de pre-experimentación se determinó que efectivamente la alternativa más viable de tratamiento para una muestra de agua residual producto de la industria del betún es por medio de la dosificación de BENTONITA, debido a que esta obtuvo la menor concentración en DQO con un valor de 1200 mg/L, en comparación con otros tipos de coagulantes.

Se empleó cloruro de calcio con una dosis de 1400 mg/L para el acondicionamiento de la muestra de agua puesto que su origen contenía emulsiones; con esta adición se consiguió el rompimiento de éstas y logra la acción que tiene la bentonita como coagulante para la formación de floc.

Ejecutado lo anterior, el cloruro de calcio no afecta representativamente el cambio de pH respecto al valor tomado inicialmente a la muestra.

El segundo objetivo del presente trabajo se abordó de acuerdo a los ensayos de tratabilidad y por medio del modelo estadístico análisis de varianza, se logró establecer que a pH de 10 unidades, tiempo de reacción o de mezcla de 40 minutos y concentración de Bentonita de 3,000 mg/L, es la relación de variables con mejor eficiencia en remoción de DQO para una muestra de agua residual de una industria de betún.

El pH de agua clarificado y tratado con bentonita se obtuvo en valores de 8,5 unidades, esto significa que no hubo necesidad de aplicar un ácido para bajar su valor a norma de vertimiento.

Se propuso el diseño de un sistema de precipitación química con base en un caudal de 0.15 LPS, debido a las características fisicoquímicas que presenta el agua residual de la industria del betún. Una vez el agua finalice los procesos unitarios del sistema de tratamiento propuesto en el presente trabajo podrá reutilizarse para fines de enjuague de utensilios y limpieza de pisos

siempre y cuando dicho sistema sea riguroso en su operación, a lo que refiere con la dosificación de los productos químicos, tiempos de mezcla y sedimentación, principalmente.



## 16. RECOMENDACIONES

Si dentro del proceso de producción de una industria de betún se fabrican otros tipos de productos, se recomienda hacer un seguimiento por medio de ensayos de tratabilidad de tal manera que se pueda identificar qué actividades generan mayores concentraciones de contaminantes, y buscar una solución que para muchos casos, se logra ejecutando acciones con base en una producción más limpia.

Se sugiere desarrollar análisis adicionales de calidad del agua para identificar el comportamiento de la Bentonita con otros parámetros, como son los fenoles y poder estudiar la posibilidad de hacer el reúso del agua en diferentes áreas de la empresa; bien sea para la limpieza de algún tipo de maquinaria o mantenimiento en general de los elementos utilizados para la producción del betún y de esta manera disminuir costos del agua de consumo aprovechando al máximo el recurso hídrico.

En cuanto al manejo de lodos se recomienda tercerizar el tratamiento de estos con una compañía que preste el servicio, en caso tal que dentro de las instalaciones de la empresa no se cuente con suficiente área para instalar los lechos de secado ni con los recursos económicos para invertir en sistemas de deshidratación con filtro prensa.

De acuerdo a los resultados de pH obtenidos en la tabla 9, para el caso de la Bentonita con pH 9, se debería hacer un ajuste en el clarificado con ácido sulfúrico mediante una bomba dosificadora en el tanque de equilibrio para cumplir el límite permisible hacia el alcantarillado mencionado en la resolución 3957/09, a nivel Distrital.

## 17. BIBLIOGRAFÍA

### Revistas y publicaciones:

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. (2002). Prevención de la contaminación en la Industria Textil en los países del Mediterráneo.

Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia. (2002). Prevención de la contaminación en la industria textil.

Chaparro. Angélica (2002). Evaluación de aplicación de sales de sulfato como tratamiento para reducir la concentración de tensoactivos en aguas residuales industriales.

Guwy, A.J; Hawkes, D.L., Cunnah, P. (2000). A technique for monitoring hydrogen peroxide concentration off-line and on-line

Jessica C. Edwards (2000). Virginia Polytechnic Institute and State University. Investigation Of Color Removal By Chemical Oxidation For Three Reactive Textile Dyes And Spend Textile Dye Wastewater.

Revista Colombiana de Química. Adriana Echavarría, Mónica Moreno, Claudia Ramírez, Claudia Tamayo, Carlos Saldarriaga (1998). USO DE BENTONITA EN AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES PARA LA REMOCION DE Cr (III).

Antonio Cardenas y Jean Louis Salaguer, (2011). Emulsiones Múltiples

### Cibergrafía

Ecured. Celulosa. Tomado de: <http://www.ecured.cu/index.php/Celulosa>.

*Electro química Mexicana – Boletín técnico / Reducción de DBO y DQO con peróxido de hidrogeno.* Tomado de:

<http://peroxido.com.mx/Portals/peroxido/Content/Docs/Efluentes%20Municipales/Reducci%C3%B3n%20de%20la%20DBO%20y%20DQO%20utilizando%20per%C3%B3xido%20de%20hidr%C3%B3geno.pdf>

Función y fórmula de cada componente. Recuperado de: <http://betumen.wikispaces.com>

Información sobre el betún (2009). TITAN. Recuperado de:  
<http://betuntitanmax.blogspot.com/2009/11/informacion-sobre-el-betun.html>

Ing. Yolanda Andía Cárdenas Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN. Lima, Abril del 2000. Recuperado de <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>

Solventes alifáticos (2009). Recuperado de:  
<http://grupoquimicouni.blogspot.com/2009/04/solventes-alifaticos.html>.

Olga Chica; Natalia Galvis; Juliana Madrid. (2007). Recopilación De Experiencias Con Foto Fenton En El Tratamiento De Aguas. Tomado de: <http://cdigital.udem.edu.co/TESIS/CD-ROM23742007/04.Anexo.pdf>

Parafinas en la fabricación de betunes para calzado (2011). Recuperado de <http://www.quiminet.com/articulos/parafinas-para-calzado-betunes-2564326.htm>.

Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Cajibío – Urbio y Puente Alto Fundación para el Desarrollo Ambiental Sostenible – FUDESOS. Recuperado de <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH>.

*Decretos y resoluciones:*

**Decreto 2811 de 1974:** Por el cual se expide el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente

**Decreto 3930 de 2010:** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones


**Resolución 3957 de 2009:** Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito” Capital”.


Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Proyecto resolución SAAM


## 18. ANEXOS

**Anexo 18.1 MEMORIAS DE CÁLCULO**

Tomando como base de cálculo un caudal de bombeo de 0,15 LPS, se diseñaron las siguientes unidades de tratamiento.

Disney Buitrago		 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar Decidir y Servir			
Plinio Arevalo					
<b>TANQUE DE BOMBEO CON CRIBA</b>					
Parámetro	unidad	Cálculo	Valor	Convención	Comentarios
Caudal	L/s		0,14		
	m3/s		0,00014		
	m3/h		0,504		
Tiempo de retencion	min	asumido	20	Tr	
Volumen	m3	$v = Q_{max} * Tr$	0,168	v	
	L		168		
Altura	m	asumido	0,74	h	
Borde libre	m	asumido	0,1	Bl	
Altura total	m	$Ht = h + Bl$	0,84	HT	
diametro	m	asumido	0,69	A	
Numero de bombas	-		2		Se colocaron 2 bombas para que funcionen de forma alternada
<b>CRIBA</b>	Malla de orficios	mm	asumido	10 x 10	
	Medidas	cm	asumido	30x30x30	

Disney Buitrago		 UNIVERSIDAD DE LA SALLE Educar para Pensar Decidir y Servir			
Plinio Arevalo					
<b>Tanque de igualación</b>					
Parámetro	unidad	Cálculo	Valor	Convención	Comentarios
Caudal medio	m3/h		0,55		
	L/s		0,15	Q	
diametro	m	asumido	0,60	D	
altura	m	asumido	1,8	H	
Area	m2	$A = \pi/4 * D^2$	0,3	A	
Volumen	m3	$V = A * H$	0,5	V	
	L		508,9		
Tiempo de retención	h	$tr = V/Q$	1		

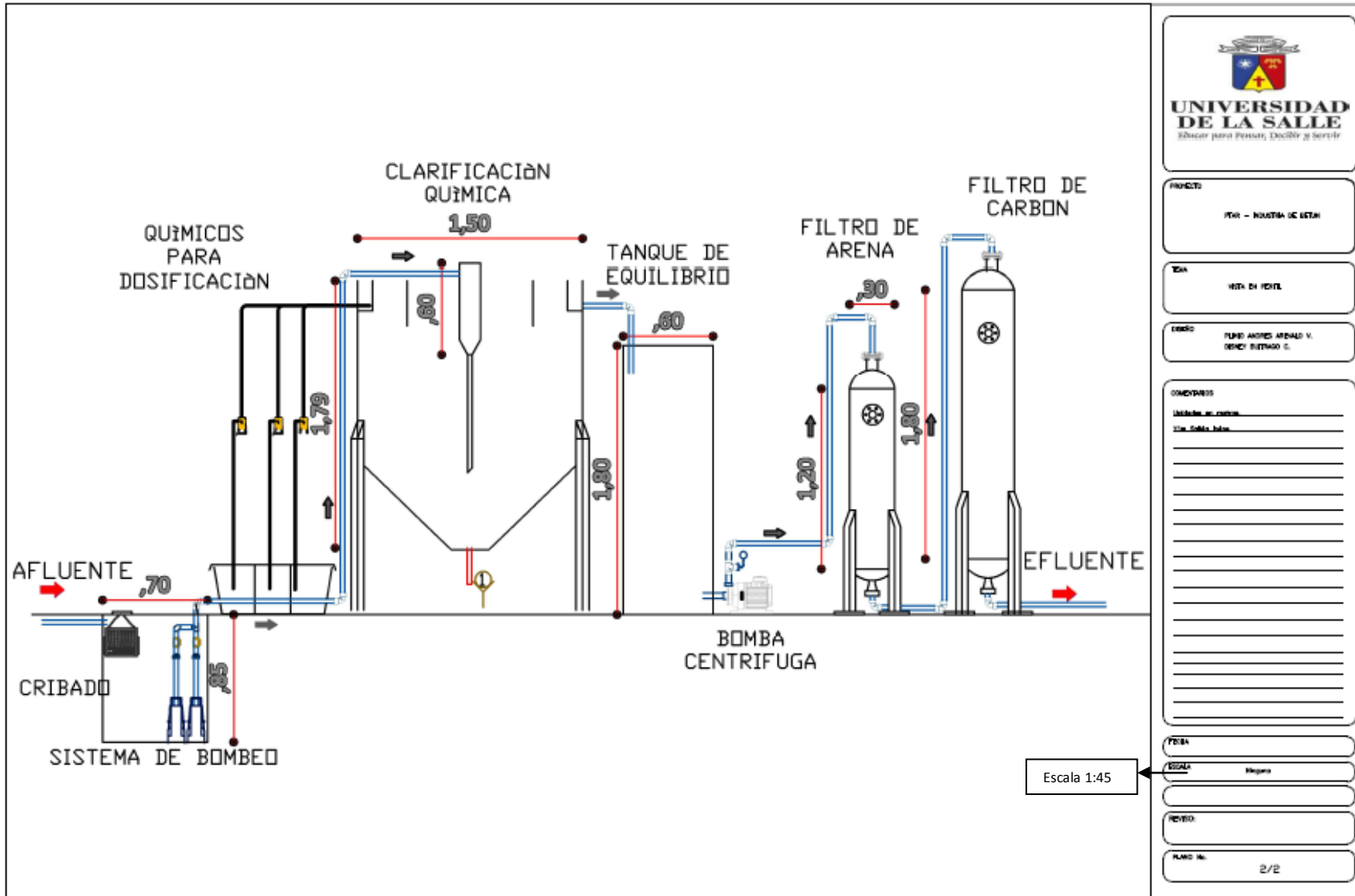
Disney Buitrago					
Plinio Arevalo					
<b>Tanque de clarificación química</b>					
Parámetro	unidad	Cálculo	Valor	Convención	Comentarios
Caudal medio	m3/h		0,55		
	L/s		0,15	Q	
Tiempo de retención	h	asumida	1,00	Tr	
Volumen	m3	V=Q*Tr	0,55	V	
	L		550		
diámetro Mayor	m	asumida	1,50	DM	
altura cilindro	m	asumida	1,2	H	
diámetro Menor - tolva	m	asumida	0,3	Dm	
Velocidad de mezcla area- mayor	m3/m2 dia	asumida	30,00	vM	30-120 mezcla
Velocidad de mezcla area- menor	m3/m2 dia	asumida	120,00	vm	30-120 mezcla
Area Mayor	m2	A=Q/Si	0,44		
Area menor	m2	A=Q/Si	0,11		
dif. Diametros	m	dx=(DM-Dm)/2	0,60	dx	
angulo tolva	º	asumida	45		
altura tolva	m	ht=1*dx	0,60		
Borde libre cilindro	m	asumida	0,20		
altura total unidad	m	HT=ht+H+bL	2,00		
<b>CONO DE MEZCLA</b>					
Velocidad tangencial	m/s	asumida	0,01	vel	0,01-0,02
Area mayor	m	AM=Q/vel	0,0153	AM	
Diametro mayor	m	DM=(4*AM/PI)^0,5	0,14	DM	
Diametro menor	m	Dm=DM/5	0,028	Dm	
	pulg		1,1		
altura cilindro	m	asumida	0,5	hc	
dif. Diametros	m	dx=(DM-Dm)/2	0,06	dx	
angulo	º	asumida	45	a	
altura troncoconica	m	htc=a*dx	0,06	htc	
Borde libre cilindro	m	asumida	0,10		
altura total	m	HT=bl+htc+hc	0,66		



Disney Buitrago					
Plinio Arevalo					
<b>Filtros</b>					
PARÁMETRO	UNIDAD	CÁLCULO	VALOR	CONVENCIÓN	COMENTARIOS
CAUDAL	L/s		0,14	Q	
	m <sup>3</sup> /h		0,5	Q	
tasa de infiltracion	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h		7	Ti	
<b>FILTRO DE ARENA</b>					
AREA	m <sup>2</sup>	$A=(Q/2)/Ti$	0,072	A	
radio	m	$r=(As/\pi)^{(1/2)}$	0,2	r	
diametro	m		0,3	D	
altura recta de abombamiento	m	asumido	0,3	Ha	parte superior e inferior del tanque
altura efectiva	m	asumido	1,2	He	
lecho filtrante	m	$H\text{ lecho}= 2/3*He$	0,8	Hl	minimo 50 cm
	cm		80		
parte vacia	m	$1/3*He$	0,4		
volumen	m <sup>3</sup>	$V=He*A$	0,0864	V	
<b>CANTIDAD DE LECHO</b>					
Densidad arena	g/cm <sup>3</sup>	asumido	1,7		1,6-2,6
Volumen lecho			0,0288		
Gravas	kg	m=densidad*volumen	170		0,1m para proteger la araña
Arena	kg	m=densidad*volumen	1190		
<b>DIAMETRO DE TUBERIA</b>					
velocidad en tuberia	m/s	asumido	0,8	Vt	0,6-1,2
Area	m <sup>2</sup>	$AREA = Q/V$	0,0000875		
dimetro tuberia	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,01		
diametro tuberia	in		0,4		1 pulgada
<b>TUBERIA DE LAVADO</b>					
caudal	m <sup>3</sup> /h		1,0		Es 2 veces el caudal de la corriente
velocidad	m/h	asumido	1,1		
area		$AREA = Q/V$	0,000254545		
dimetro tuberia	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,02		
diametro tuberia	in		1		

<b>FILTRO CARBON ACTIVADO</b>					
tasa de infiltracion	m3/m2*h	asumido	4		
<b>TANQUE</b>					
AREA	m2	$A=(Q)/T_i$	0,063	A	El caudal se divide en 2 porque se van a utilizar 2 filtros.
radio	m	$r=(As/\pi)^{(1/2)}$	0,14	r	
diámetro	m		0,3	D	
altura recta de abombamiento	m	asumido	0,3	Ha	de la parte superior e inferior del tanque
altura	m	asumido	1,8	He	
lecho filtrante	m		0,9	HI	
	cm		90		
parte vacia	m		0,9		
volumen	m3		0,1134	V	
<b>CANTIDAD DE LECHO</b>					
Densidad Carbon Activado	g/cm3	asumido	0,4		0,34-0,6
Volumen lecho Grava	g/cm3		0,0063		0,1 para cubrir la araña
Volumen lecho Carbon			0,0567		
Gravas	kg	m=densidad*volumen	2,52		
Carbon	kg	m=densidad*volumen	22,68		
<b>DIAMETRO DE TUBERIA</b>					
velocidad en tuberia	m/s	asumido	0,6	Vt	0,6-1,2
Area	m2	AREA = Q/V	0,0001		
dimetro tuberia	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,012		
diámetro tuberia	in		0,0003		
<b>TUBERIA DE LAVADO</b>					
caudal	m3/h		1,0		Es 2 veces el caudal de la corriente
velocidad	m/h	asumido	2		
area		AREA = Q/V	0,00014		
dimetro tuberia	m	$D= ((4*A)/\pi)^{(0,5)}$	0,01		
diámetro tuberia	in		0,5		

**Anexo 18.2 PLANOS**



**UNIVERSIDAD DE LA SALLE**  
Educar para Pensar, Decidir y Servir

PROYECTO:

ITSA - INDUSTRIA DE BETUNES

TEMA:

VERTIMIENTOS DE LIXIVIA

ENCARGADO:

FELIX ANDRES ARIAS V. / DENNY RIVERA C.

CONVENIOS:

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

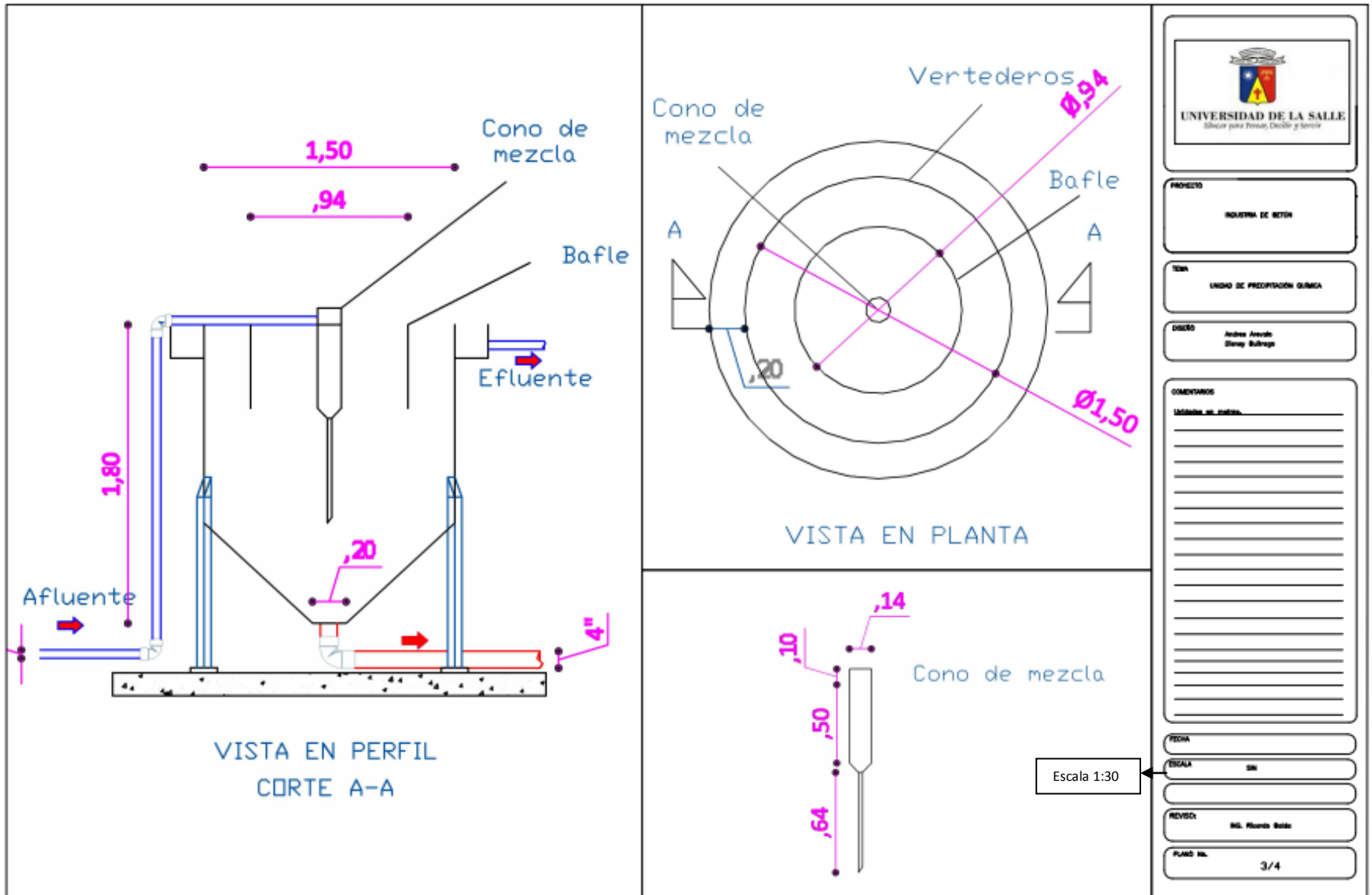
ITSA - INDUSTRIA DE BETUNES

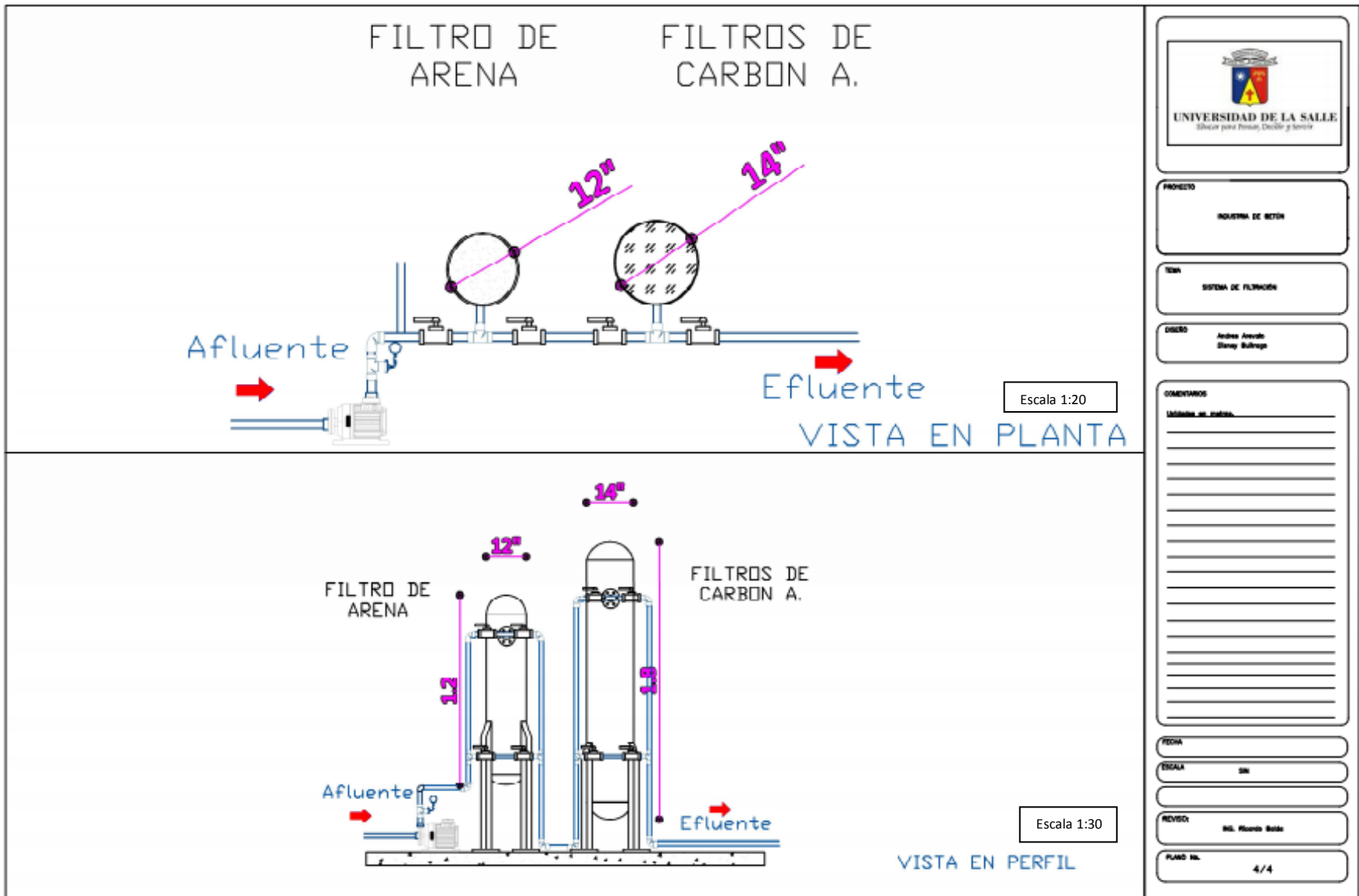
FECHA:

ESCALA: Original

REVISOR:

PLANO No. 2/2





PROYECTO  
**INDUSTRIA DE BETÓN**

TEMA  
**SISTEMA DE FILTRACIÓN**

DISEÑO  
Andrés Arevalo  
Diego Subtrago

COMENTARIOS

Indicar en metros.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

FECHA

ESCALA      mm

REVISOR:      **ING. Ricardo Balle**

PLANO No.      **4/4**

