

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERIA CIVIL

TEMA:

**Evaluación de la eficiencia del sistema Tratamiento Primario
Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary
Treatment), para aguas residuales de Guayaquil**

AUTOR:

Yáñez Veloz, Miguel Ángel

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Vasconez Gaviláñez, José Ernesto, MSc.

Guayaquil, Ecuador

13 de septiembre 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Yánez Veloz, Miguel Ángel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Vasconez Gavilánez, José Ernesto, MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, MSc.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Yánez Veloz, Miguel Ángel**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Evaluación de la eficiencia del sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary Treatment)**, para aguas residuales de Guayaquil previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

f. _____
Yánez Veloz, Miguel Ángel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Yánez Veloz, Miguel Ángel

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación de la eficiencia del sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary Treatment), para aguas residuales de Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR:

f. _____
Yánez Veloz, Miguel Ángel

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TRABAJO DE TITULO Miguel Angel Yanez Veloz.docx (D41779991)
Submitted: 9/25/2018 3:28:00 PM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 7 %

Sources included in the report:

OPTIMIZACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA
BIOALIMENTAR..pdf (D14959890)
2220-Vidal Vega, Flor Milagros.pdf (D40924721)
TESIS-Xime-FINAL.docx (D14578160)
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33704/Memoria.pdf?sequence=1>
<https://www.slideshare.net/ReyLecompte/remocion-de-materia-organica-por-coagulacion-y-floculacion>
<http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf
<http://bdigital.unal.edu.co/1090/1/alejandroquintero.2007.pdf>

Instances where selected sources appear:

67

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la salud y la vida. A mis padres, abuela y hermanos por ser un pilar fundamental en cada paso y decisión que he tomado. A mis profesores Ing. José Vasconez por su guía y consejos en el desarrollo de mi tesis, a la Ing. Clara Glass por su paciencia, apoyo, dedicación para el cumplimiento del proyecto.

MAYV

DEDICATORIA

Primero a Dios y luego a mis padres Manuel Yáñez Olalla y Janeth Veloz Sánchez que, gracias a su apoyo, sus consejos y oraciones se logró este sueño parte de una meta en esta vida. A mis hermanos Emanuel Yáñez Veloz y Nathaly Yáñez Veloz. Mi abuela Margoth su devoción, dedicación, entrega y sacrificio rindió frutos, familiares muchas gracias por sus consejos y apoyo.

Amigos Mateo, Jaime, Paul, Gissella, Ariana por aguantarme, apoyarme a lo largo de mi paso por la universidad.

The International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR), donde se consiguió las metas propuestas y seguirá creciendo con solidez, confianza, apoyo. Gracias por confiar en mi como presidente.

A mis familiares quienes me enseñaron que rendirse jamás será una opción y el estudio es la mejor arma para superarse.

MAYV



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

Ing. José Ernesto Vasconez Gavilánez, MSc.
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Lilia Valarezo Moreno de Pareja, MSc.
DECANA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alexandra Camacho, MSc.
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Clara Catalina Glas Cevallos, MSc.
OPONENTE

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I: Generalidades.....	3
1.1	Antecedentes.....	3
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	Objetivo General	4
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	Alcance.....	5
1.4	Metodología.....	5
2	CAPÍTULO II: Marco Teórico.....	6
2.1	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL	6
2.2	Aguas Residuales.....	6
2.3	Características Físicas	6
2.4	Valores Típicos del Agua Residual Domestica	10
2.5	Características Químicas.....	10
2.6	Tratamiento Primario Convencional.....	13
2.7	DBO.....	15
2.8	SST, Solidos Suspendidos Totales	15
2.9	Tratamiento Primario Químicamente Mejorado	15
2.10	Perfeccionamiento químico del tratamiento primario.....	19
2.11	Funcionamiento	20
2.12	Beneficios financieros de CEPT	20
2.13	Estudios del proceso CEPT.....	21
2.14	Experiencias a Nivel Mundial.....	22

2.15	Experiencias a Nivel Nacional	23
2.16	Requisitos para el Tratamiento en Guayaquil.....	23
2.17	Aguas Residuales de Guayaquil.....	24
2.18	Introducción a la Coagulación y floculación.....	26
2.19	Coagulación.....	26
2.20	Coagulantes	27
2.21	Selección del Coagulante	29
2.22	Cloruro Férrico.....	30
2.23	Ventajas Técnicas	31
2.24	Porciones de Coagulante	32
2.25	Concentración del Coagulante	32
2.26	Formas apropiadas de Aplicación del Coagulante	33
2.27	Mezcla Rápida (tiempo e intensidad).....	33
2.28	La mezcla rápida (coagulación).....	33
2.29	Mezcla Rápida	34
2.30	Tipos de Mezcladores.....	34
2.31	Ventajas y Desventajas de los Mezcladores Hidráulicos y Mecánicos 34	
2.32	Criterio de Diseño	35
2.33	Etapas y Fases de Coagulación	35
2.34	Mecanismo de la Coagulación.....	35
2.35	Factores que influyen a la Coagulación.....	37
2.36	Influencia de la Temperatura	38

2.37	Aplicaciones de la Coagulación	38
2.38	Floculación	39
2.39	Tipos de floculación	41
2.40	Parámetros de la floculación	42
2.41	Aplicación Práctica de los Coagulantes y Floculantes.....	42
2.42	Prueba de Jarras	42
3	Capítulo III: Metodología.....	45
3.1	Medición de Caudal	45
3.2	Propiedades del agua residual de ingreso.....	45
3.3	Caudal de agua residual entrante.....	45
3.4	Consideraciones	46
3.5	Reactivos.....	47
3.5.1	Elección del Coagulante.....	47
3.5.2	Superioridades del Cloruro Férrico.....	47
3.6	Diseño Empírico	47
3.7	Procedimiento General Experimental	48
3.7.1	Ensayo en Blanco	49
3.7.2	Ensayo con el Reactivo	49
3.8	Disposición de los Contaminantes.....	51
3.8.1	Estudio de DQO	51
3.8.2	Estudio de DBO.....	55
3.8.3	Estudio de SST	57
3.9	Construcción de la Planta Piloto.....	58

3.10	Construcción del tanque de Coagulación y floculación	58
3.11	Tanques de floculación.....	60
3.12	Construcción del Clarificador.....	61
3.13	Dosificadores de los Coagulantes y Floculantes	62
3.13.1	Calculo de la Dosificación de Cloruro Férrico	63
3.13.2	Calculo del TRH conocidos el volumen y el Caudal.....	64
3.13.3	Cálculo del Clarificador	65
4	CAPÍTULO IV: Análisis de resultados.....	66
4.1	Interpretación.....	66
4.2	Prueba de Jarras	67
4.3	Resultados Planta Piloto.....	68
4.4	Análisis disminución de DBO.....	69
4.5	Análisis disminución de DQO	69
4.6	Análisis Disminución de SST.....	69
4.7	Eficiencia del Coagulante Cloruro Férrico (FeCl₃).....	70
4.8	Dosificación Óptima.....	70
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1	Conclusiones	71
5.2	Recomendaciones.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores Típicos del agua residual doméstica.....	10
Tabla 2 Dosis y eficiencias de remoción alcanzadas con CEPT.....	16
Tabla 3 Comparación de costos de sistemas de tratamiento típicos.	21
Tabla 4. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.....	24
Tabla 5 Energía relativa de la coagulación de electrólitos.....	30
Tabla 6 Valores de pH óptimos para coagulantes metálica.....	38
Tabla 7 Resultados de prueba de jarras.....	51
Tabla 8 Cuadro de muestras, con sus primeras lecturas.....	54
Tabla 9 Resultados del agua residual de Guayaquil.....	66
Tabla 10 Resultados primera prueba de jarras.....	67
Tabla 11 Comparación de resultados.....	68
Tabla 12 Dosificación óptima de cloruro férrico y polímero.....	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Procesos en plantas de tratamiento convencional.....	14
Ilustración 2 Esquema tanque de sedimentación primaria.....	14
Ilustración 3 Esquema del funcionamiento de CEPT.	17
Ilustración 4 Diagrama de flujo de proceso del tratamiento primario mejorado químicamente.....	18
Ilustración 5 Coagulación.	27
Ilustración 6 Representación de la teoría DLVO.	28
Ilustración 7 Ficha técnica cloruro férrico.....	31
Ilustración 8 Condiciones de mezcla.	32
Ilustración 9 Fases de coagulación.....	35
Ilustración 10 Partículas Estabilizadas que se repelen entre si debido a la carga superficial.	36
Ilustración 11 Descarga de las partículas que tienden aglomerarse durante la colisión.	36
Ilustración 12 El potencial eléctrico de una partícula coloidal cargada negativamente.....	37
Ilustración 13 Representación Visual de la molécula de polímero.....	39
Ilustración 14 Diagrama esquemático de polímero absorbente sobre partículas coloidales.	40
Ilustración 15 El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas.	40
Ilustración 16 Representación esquemática de las tres conformaciones de polímero diferentes en el sólido-liquido (a) capas delgadas, (b) bobinas, (c) trenes, bucles y colas.....	41

Ilustración 17 Máquina para la realización de la prueba de jarras.	48
Ilustración 18 Diagrama de flujo de la prueba de jarras.....	50
Ilustración 19 Preparación de las muestras de DBO.	53
Ilustración 20 Preparación de las muestras para análisis de DQO.	56
Ilustración 21 Preparación de las muestras para análisis de SST.	57
Ilustración 22 Ubicación de la planta piloto.	58
Ilustración 23 Instalación de la planta piloto.....	59
Ilustración 24 Clarificador en funcionamiento.	61
Ilustración 25 Preparación de FeCl₃.	63
Ilustración 26 Comparación de Norma con agua residual de Guayaquil.	66
Ilustración 27 Resultados primera prueba de jarras.....	67
Ilustración 28 Prueba de jarras con (70-80 mg/l).....	68
Ilustración 29 Eficiencia FeCl₃.	70

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Presentación Comercial del Polímero Aniónico	77
Fotografía 2. HQ40D Portable Multi Meter marca "HATCH"	77
Fotografía 3. Caja de revisión, aguas residuales-Planta Piloto	78
Fotografía 4. Bomba marca "PEDROLLO"- succión de agua residual-Planta Piloto	78
Fotografía 5. Medición de pH agua residual domestica	79
Fotografía 6. Medición de pH agua residual domestica día 2-Planta Piloto	79
Fotografía 7.Muestra de Agua Residual Domestica para análisis y pruebas.....	80
Fotografía 8. Preparación para "Prueba de Jarras"	80
Fotografía 9. Prueba de Jarras en Proceso	81
Fotografía 10. Toma de resultados "Prueba de Jarras" (11/08/2018) ...	81
Fotografía 12. Tiempo de sedimentación en cada jarra	82
Fotografía 11. Resultados prueba de Jarras	82
Fotografía 13. Medición de Turbidez.....	83
Fotografía 14. Cloruro Férrico FeCl ₃ presentación comercial, empresa "QUIMPAC".....	83
Fotografía 16. Elaboración del Cloruro Férrico para cada dosis.....	84
Fotografía 15. Cloruro Férrico	84
Fotografía 17. Dosis listas de Cloruro Férrico	85
Fotografía 18.Toma de Dosis de Cloruro Férrico.....	85
Fotografía 20. Preparación del Polímero Aniónico.	86

Fotografía 19. Colocación del Polímero Aniónico en cada una de las Jarras con su dosis adecuada.....	86
Fotografía 21. Jarra #2. Dosis de 20 mg/l de FeCl₃ con 1 ml de Polímero Aniónico	87
Fotografía 22. Jarra #1. Dosis de 10 mg/l de FeCl₃ con 1 ml de Polímero Aniónico	87
Fotografía 24. Jarra #3. Dosis de 30 mg/l de FeCl₃ con 1 ml de Polímero Aniónico	88
Fotografía 23. Jarra #4. Dosis de 40 mg/l de FeCl₃ con 1 ml de Polímero Aniónico	88
Fotografía 26. Jarra #5. Dosis de 50 mg/l de FeCl₃ con 1 ml de Polímero Aniónico	89
Fotografía 25. Jarra #6. Dosis de 60 mg/l de FeCl₃ con 1 ml de Polímero Aniónico	89
Fotografía 28. Tiempo de sedimentación de cada una de las jarras	90
Fotografía 27. Jarra #6 con mayor grado de eficiencia en la formación de flocs y tiempo de sedimentación.....	90
Fotografía 30. Jarra #3, con resultados más óptimos en tema económico y ambiental.	91
Fotografía 29. Montaje de la planta piloto.....	91
Fotografía 32. Tanque de Mezcla Rápida, Tanque de Coagulación, Tanque de Floculación y Tanque Clarificador.....	92
Fotografía 31. Tanque Mezcla Rápida, Tanque de Coagulación.....	92
Fotografía 34. Cloruro Férrico y Polímero Aniónico para la Planta Piloto	93
Fotografía 33. Ajuste de las dosificaciones de Cloruro Férrico	93

Fotografía 36. Eficiencia de la Bomba para la Planta Piloto	94
Fotografía 35. Bomba para la Planta Piloto	94
Fotografía 38. Instalación de la Bomba-parte 1.....	95
Fotografía 37. Instalación de la Bomba-parte 2.....	95
Fotografía 40. Funcionamiento del Tanque de Mezcla rápida con 30 mg/l de Cloruro Férrico adicional con 1 ml de Polímero Aniónico.....	96
Fotografía 39. Tanque de Mezcla Rápida con 50 mg/l de Cloruro Férrico con 1 ml de Polímero Aniónico.....	96
Fotografía 41. Beneficios del Cloruro Férrico en dosis de 70-80 mg/l. Elimina la Turbidez en el agua.....	97
Fotografía 42. Agua Residual Tratada. Tanque Clarificador	97

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se realizó con el fin de evaluar la eficiencia del tratamiento primario químicamente mejorado (CEPT), para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Guayaquil, determinar el grado de eficiencia en la remoción de diversos parámetros físicos y químicos del agua residual tratada y evaluar si los niveles del efluente de la planta piloto están dentro de los límites aceptados de la norma técnica Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental (TULSMA) establecido por el Ministerio de ambiente del Ecuador.

Mediante la prueba de jarras se encuentra la dosificación óptima del coagulante cloruro férrico (FeCl_3), con diferentes dosificaciones para evaluar su eficiencia en remoción de contaminantes, para determinar la dosificación que se ajuste a los requerimientos técnicos y económicos.

La construcción de una planta piloto constó de un equipo de bombeo para llevar las aguas servidas domésticas desde red de alcantarillado de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, instalaciones de dosificación del cloruro férrico y polímero, dos tanques: tanque mezcla rápida, coagulación-floculación, un segundo tanque para clarificación.

Con la calibración de caudales para operar la planta piloto CEPT a flujo continuo. En esta circunstancia se procedió a la toma de muestras para realizar mediciones y proceder a la comparación con las eficiencias obtenidas en las pruebas de jarras.

Se tabularon los resultados para analizar y establecer la mejor dosificación respecto a la remoción de los tres parámetros analizados y costos de cada uno de ellos por metro cúbico tratado.

Palabras Claves: Tratamiento, cloruro, polímero, eficiencias, laboratorio, parámetros, remoción, coagulación, floculación.

ABSTRACT

This qualification work was carried out in order to evaluate the efficiency of the treatment (CEPT) chemically enhanced primary, for sewage domestic from the city of Guayaquil, determining the degree of efficiency in removal of various physical and chemical parameters of the treated wastewater and assess whether the pilot plant effluent levels are inside of the limits accepted technical standard text unified environmental secondary legislation (TULSMA) established by the Ministry of environment of the Ecuador.

By jar test the optimal dosage of coagulant ferric chloride (FeCl_3), meets different dosages to evaluate their efficiency in removal of contaminants, to determine the dosage which conforms to the requirements technical and economic.

The construction of a pilot plant consisted of a pumping equipment to carry domestic wastewater from sewer system of the Engineering Faculty of the Catholic University of Santiago de Guayaquil, installations of dosing ferric chloride and polymer, two tanks: tank fast mixing, flocculation, a second tank for clarification.

With the flow calibration to operate the pilot plant CEPT to continuous flow. In this circumstance was sampling measurements to make the comparison with the efficiencies obtained in tests of pitchers.

Results were tabulated to analyse and establish the best dosage with respect to the removal of the three analysed parameters and costs of each one of them per cubic meter of treated.

Key Words: Treatment, chloride, polymer, efficiencies, laboratory, parameters, removal, coagulation, flocculation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad por el aumento de la población la generación de aguas residuales debe enfrentar cambios esenciales en los sistemas de operación y mantenimiento. El gasto para el tratamiento de aguas residuales va crecer para cumplir con los requerimientos de Normas Internacionales y Nacionales, las empresas que tienen la responsabilidad de cubrir con los servicios de agua potable y recolección de aguas servidas, elevaran los precios de estos servicios públicos.

En las últimas décadas ha cobrado jerarquía el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado-CEPT, con este sistema se tiene una excelente eficiencia en la remoción de contaminantes como DBO, DQO y SST característico de las aguas residuales. Para la construcción de los sistemas de tratamiento, siendo posible aprobar recursos de solvencia o auxilios que no son reembolsables o de bajo costo, de tal forma el efecto que tiene sobre las tarifas tiene un aliviado; pero en los costos de operación y subsistencia de los sistemas de tratamiento, estos valores son inevitables y deben estar incluidos en las tarifas a pagar por los usuarios del alcantarillado.

1 CAPÍTULO I: Generalidades

1.1 Antecedentes

La calidad del agua de varios cuerpos de agua en nuestro país presenta tendencias que indican la necesidad actual de ejecutar medidas que minimicen el impacto de las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua, de manera que se puedan efectuar aprovechamientos del agua para diversas actividades, incluida la protección ecológica.

Se conoce que la contaminación del agua es un grave problema ambiental que se ha originado debido al incremento de la población mundial y sus diversas actividades. Esta problemática de las aguas residuales se ha venido produciendo históricamente, desde la creación de las primeras ciudades, tanto en la Edad Antigua como en la Edad Media. Existen pruebas que, desde esa época, algunas civilizaciones solían canalizar las aguas residuales para descargarlas en cuerpos de agua como ríos o hasta pozos ciegos más alejados. Como por ejemplo en la Antigua Roma alrededor del año 800 a.c. se construyó la muy famosa Cloaca Máxima, que básicamente funcionaba como una red de alcantarillado (la más antigua del mundo), cuyo objetivo era el de recoger los residuos producidos por los lugares poblados y llevarlos hasta un río. Pero cuando hubo la caída del Imperio Romano colapsó este sistema sanitario el cual lo denominaron la Era Negra Sanitaria, el cual vino ligado a muchas enfermedades (Cooper, 2008)

Hasta ese momento, la humanidad no había caído en cuenta de que el origen de muchas enfermedades como los brotes de cólera, tifoidea y otras plagas que causaron centenares de fallecidos, eran las consecuencias del mal manejo de las aguas residuales. (Wolfe, 1999). Ya en la segunda mitad del siglo XIX pudo probarse que existía una relación casi directamente proporcional entre la calidad del agua de consumo y los problemas sanitarios en las comunidades. Es así como en ese año cuando surgió un brote de cólera en Londres justamente cuando se contaminó un pozo público por aguas residuales, se descubrió y se verificó que era debido a la contaminación del agua. (Dimares, 2016). Con la llegada de la Revolución Industrial y el incremento de la población mundial, esta problemática de las aguas

residuales fue retomada con mucha importancia, ya que debían de crear y adoptar un sistema que les permita almacenar las descargas realizadas debido al uso, para poder posteriormente realizarle un tratamiento. Existen diversos tipos de tratamiento de aguas residuales basados en principios físicos, químicos y microbiológicos.

El sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT), es un proceso que incluye la adicción de compuestos químicos, entre los cuales se cuenta el cloruro férrico, con el propósito de mejorar la coagulación-floculación se pueden usar en combinación con un polímero. Para la implementación del sistema se requiere la construcción de tanques de mezcla rápida y de floculación, y posterior a ellos los tanques de sedimentación primaria. El proceso CEPT produce la remoción de sólidos coloidales, sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno, acción necesaria para cumplir con los límites máximos permisibles para la descarga del efluente tratado al cuerpo receptor, conforme se establece en el TULSMA.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia a nivel de planta piloto del sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado, para las aguas residuales de la ciudad de Guayaquil y establecer criterios de diseño aplicables a otras ciudades del país.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Medir el grado de eficiencia del proceso CEPT con dosis de cloruro férrico y polímero para remover las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales.
- Determinar la combinación óptima de dosis de cloruro férrico y polímero para obtener el mayor grado de eficiencia en remoción de demanda bioquímica de oxígeno demanda química de oxígeno y

solidos suspendidos totales para un agua residual de la ciudad de Guayaquil.

1.3 Alcance

Efectuar a escala piloto una planta que utilice el proceso CEPT para aguas residuales domésticas de la ciudad de Guayaquil, para establecer eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno demanda química de oxígeno y solidos suspendidos totales para combinaciones de cloruro férrico con polímero.

1.4 Metodología

En el presente trabajo se procedió a realizar:

- Investigación bibliográfica de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales de CEPT alrededor del mundo.
- Ejecución de pruebas de jarras para estimar en forma preliminar las concentraciones adecuadas de cloruro férrico y polímero para determinar un rango de dosificaciones adecuados para realizar las pruebas en la planta piloto tipo CEPT.
- Realización de análisis comparativo con las eficiencias con diferente dosificación de Cloruro Férrico obtenidas en la Prueba de Jarras.
- Construcción de una planta piloto CEPT con los tanques: tanque de mezcla rápida, coagulación, floculación y tanque de clarificación.
- Análisis de los resultados obtenidos comparándolos con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma TULSMA.
- Formular conclusiones y recomendaciones a la luz de los resultados obtenidos y analizados.

2 CAPÍTULO II: Marco Teórico

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

El agua residual se origina de los desechos humanos y animales, los procesos industriales, la escorrentía de las aguas lluvias e infiltraciones de aguas subterráneas. El entendimiento de sus características físicas, químicas y biológicas es importante para el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de recolección, tratamiento y disposición de esta. Para el tratamiento del agua residual se tienen en cuenta principalmente aspectos físicos como temperatura, contenido de sólidos, turbiedad, color, absorbancia, y parámetros químicos como DQO, DBO5, pH y alcalinidad que pueden ser útiles tanto para la selección de la tecnología a emplear como para la operación de un sistema de tratamiento de agua residual (Metcalf y Eddy, 2003).

2.2 Aguas Residuales

Las aguas residuales o aguas servidas comúnmente denominadas, aguas negras, aguas fecales o cloacales, según Marsilli (2015) “Son aquellas que resultan del uso doméstico, industrial, institucional o comercial. Son residuales cuando constituyen un residuo tras su uso y son negras debido a que están contaminadas con sustancias fecales y orina, procedentes de domicilios, oficinas o centros de gran aglomeración.

2.3 Características Físicas

Dentro de las características físicas del agua residual, la temperatura y el contenido de sólidos son factores de importancia para los procesos de tratamiento. La primera, afecta las reacciones químicas y actividades biológicas, mientras que la segunda, afecta principalmente la operación y el dimensionamiento de las unidades (Lee y Lin, 2000). Según Figuereido (2009), con excepción de los gases disueltos, las impurezas en el agua residual se relacionan generalmente con la presencia de sólidos ya sean en forma disuelta o ionizada, compuestos orgánicos en suspensión tal como

microorganismos y coloides. La presencia y concentración de estos componentes son generalmente inferidos a partir de la medición de otros parámetros que se explican a continuación:

- **Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales (AR) depende de la temperatura del ambiente, siendo generalmente más baja que esta última, aunque en algunas ocasiones puede llegar a ser levemente superior, debido a descargas de agua caliente de los hogares y algunas industrias (Metcalf y Eddy, 2003). Mientras en los países con estaciones la temperatura fluctúa entre 3 y 27°C en los países sin estaciones la temperatura es menos variable, como en el caso de la ciudad de Cali, que según la información recopilada en este estudio se encontraron temperaturas entre 18 y 25 °C en el agua residual.

Es una magnitud escalar relacionada con la energía cinética interna de un sistema termodinámico, la cual está asociada a los movimientos de las partículas del sistema, ya sean estos de translación, rotación o vibración; entre mayor sea el movimiento de las partículas, mayor es la temperatura (Ambaum, 2010). El incremento de temperatura acelera la desintegración de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación de esta y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases (Cubillos, 1981).

Este parámetro afecta la viscosidad y densidad del medio, aspectos que influyen en la velocidad de sedimentación de las partículas (Ridenour, 1930; Wong, 1999) y además define la velocidad de hidrólisis de los coagulantes, y por lo tanto la eficiencia del proceso de coagulación (Di Bernardo et al., 2002); al aumentar la temperatura, se incrementa la velocidad de hidrólisis del Fe, mientras el tiempo de formación de los polímeros que actúan como coagulantes disminuye rápidamente (Duan y Gregory, 2002).

La temperatura también influye en la solubilidad de los hidróxidos metálicos y el pH óptimo de coagulación, al respecto Kang y Cleasby (1995) reportan que de 25 a 5 °C la solubilidad del Fe (OH)₃ disminuye en 0,2 unidades logarítmicas y el pH al que ocurre la mínima solubilidad aumenta en 0,4 unidades. Esto conduce a la conclusión de que, al

disminuir la temperatura, el pH al que ocurre el punto óptimo de coagulación aumenta ya que la solubilidad de las especies metálicas se desplaza a valores de pH más alcalinos; sobre esto Van Benschoden y Edzwald (Citado por Duan y Gregory, 2002) indicaron que de 25 a 4 °C, el pH de coagulación se desplazó de 4,6 a 5,5 unidades.

Sin embargo, varios autores (Kang y Cleasby, 1995; Xiao et al., 2009) reportan que la influencia de la temperatura sobre los procesos de sedimentación y la hidrólisis del coagulante es muy débil en un rango aproximado entre 2 y 25°C, y que en cambio, el efecto más fuerte de la temperatura se nota en la velocidad de agregación de las partículas, lo cual causa que a bajas temperaturas el floc se forme de manera más lenta y sea de menor tamaño (Duan y Gregory, 2002). Xiao et al. (2009) encontraron que en el caso de la coagulación con sulfato de aluminio la velocidad de agregación de las partículas disminuye entre 1 y 8 % por cada 1°C de temperatura que descienda la temperatura en un rango de 22 a 2 °C, es decir, que el efecto más notable de la variación de la temperatura se da sobre el proceso de floculación, pero al emplear un tiempo de floculación de 20 min o más se encontró que la reducción de turbiedad no se veía afectada significativamente por la variación de temperatura.

- **Sólidos**

Los sólidos que llegan al agua residual municipal incluyen: los sólidos de las cocinas, residuos humanos, papel higiénico, empaques plásticos y, dependiendo del tipo de alcantarillado, puede contener también material de arrastre de los suelos erosionados por la escorrentía (Sincero y Sincero, 2003). En el tratamiento del agua residual, la importancia de retirar los sólidos es que estos engloban toda la materia orgánica e inorgánica en suspensión, y los microorganismos patógenos (Tsukamoto, 2002). Odegaard (1998) menciona que los contaminantes orgánicos en el agua residual pueden clasificarse según su tamaño en sólidos suspendidos y sólidos disueltos, siendo 0,1 µm el límite que divide esta clasificación en el agua residual, cerca del 60% de la materia orgánica se encuentran en forma suspendida, el 25% en forma

disuelta y 15% en un punto intermedio en forma denominada coloidal. Tanto Metcalf y Eddy (2003) como Odegaard (1998) reportan que no hay un acuerdo claro sobre el rango de tamaño que comprenden los coloides. Sin embargo, la clasificación es una aproximación de los valores reportados por múltiples autores (Odegaard, 1998, Yu, 2000, Metcalf y Eddy, 2003 y Figueiredo, 2009).

- **Turbiedad**

La turbiedad es una medida del grado en el que la materia suspendida en el agua absorbe o dispersa la luz incidente sobre ella. Actualmente se emplean dos tipos de turbidímetros, ambos basados en fotometría, pero siguiendo dos principios distintos: el primero sigue el principio de absorción, aunque mide realmente la luz que logra atravesar la muestra y relaciona esta medida con la cantidad que fue absorbida. El segundo tipo de turbidímetro se basa en el principio de dispersión y por lo tanto la celda del fotómetro se encuentra ubicada en un ángulo de 90° con respecto al rayo de luz, para así medir la luz que es refractada o dispersada por la materia suspendida en la muestra de agua. Este tipo de medición se conoce como nefelometría, la unidad de medida es UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) y es considerada una medida más adecuada de turbiedad, ya que la alternativa por medio de la absorción se ve interferida por otros factores como la presencia de una coloración en el agua (Sincero y Sincero, 2003).

Los sólidos presentes en el agua residual causan turbiedad al dispersar la luz incidente sobre ella; Su medición es una prueba empleada para indicar la calidad de las descargas de agua residual y aguas naturales respecto a su contenido de materia coloidal y suspendida (Metcalf y Eddy, 2003). En el agua residual la turbiedad puede estar relacionada con los microorganismos, algas y partículas inorgánicas, sin embargo, dada la imprecisión de estas correlaciones, en el agua residual se utiliza solo como una referencia auxiliar (Figueiredo, 2009).

El contenido de sólidos y la turbiedad es muy variable en sistemas de alcantarillado combinado debido a que, si bien una parte proviene del agua residual doméstica (ARD), el fenómeno de acumulación en las superficies y posterior lavado al momento de presentarse un evento de

lluvia causa un incremento en la concentración de sólidos totales (Zug, 1999) variando las fracciones de SSed y sólidos suspendidos, mientras la concentración de DBO5 y DQO disminuye debido a la dilución (Metcalf y Eddy, 2003), razón por la cual podría no encontrarse una buena relación entre la turbiedad y la DQO. Adicionalmente Metcalf y Eddy (2003) mencionan que no es usual encontrar una buena relación entre a turbiedad y la concentración de SST, pero si tiende a encontrarse una buena relación entre estos dos parámetros después de tratada el agua residual por medio de lodos activados.

2.4 Valores Típicos del Agua Residual Domestica

En el tratamiento primario se busca reducir la concentración de SSed y con la aplicación de coagulantes en el TPA se amplía el rango de tamaño de los sólidos que pueden ser sedimentados al lograr la aglomeración de los sólidos coloidales (Metcalf y Eddy, 2003).

Tabla 1 Valores Típicos del agua residual doméstica.

67	Baja	Media	Alta
SST	120	210	400
DBO₅	110/<200	190/350	350/500
DQO	250/400	430/700	800/1000

Fuente: Metcalf y Eddy (2003) y Mara (2004)

2.5 Características Químicas

Los sólidos disueltos y suspendidos contienen materia orgánica e inorgánica. La primera puede incluir carbohidratos, grasas, aceites, surfactantes, proteínas, pesticidas, compuestos orgánicos y otros compuestos químicos, mientras la materia inorgánica puede abarcar metales pesados, nutrientes, compuestos de cloro, y azufre, al igual que compuestos que aportan alcalinidad y modificadores de pH. Gases como anhídrido carbónico (CO₂),

gas sulfhídrico (H_2S) y metano (CH_4) pueden estar presentes en el agua residuales (Lee y Lin, 2000).

El contenido de nitrógeno en el agua residual doméstica se encuentra generalmente entre 25 y 85 mg/l y el de fósforo se encuentra entre 2 y 20 mg/l (Lee y Lin, 2000), estos dos componentes son nutrientes esenciales para el crecimiento y reproducción de los microorganismos en los procesos de tratamiento biológico. Muchos de los componentes químicos del agua no son fácilmente medibles de manera rápida o directa, por lo tanto, son cuantificados por medio de otros parámetros y/o procedimientos analíticos, entre estos se encuentran la DBO_5 , DQO, pH y la alcalinidad.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es definida como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con una muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumida es expresada en términos de su equivalencia de oxígeno. En esta prueba se oxidan tanto los componentes orgánicos como inorgánicos.

El índice de biodegradabilidad depende de los tipos de materia oxidable presentes en el agua residual doméstica y generalmente se encuentra alrededor de 0,5 en ARM (Tsukamoto, 2000) en un rango que varía entre 0,4 y 0,8 (Al-Momani et al., 2002). Un ejemplo del uso del índice de biodegradabilidad es un estudio realizado por Molina et al. (2003), en el cual se evaluó la tratabilidad biológica del agua residual urbana de Coruña y municipios limítrofes en el cual encontraron un valor medio para la relación DBO_5/DQO de 0,84; este parámetro, sumado a la evaluación que se hizo de las fracciones orgánicas y contenido de nutrientes dieron como resultado que la aplicación de un sistema de tratamiento biológico es idónea en ese caso.

- **pH**

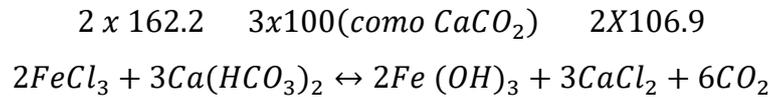
El pH es utilizado para expresar la acidez de una solución, que puede ser utilizado tanto para agua superficial, como para agua residual. La concentración de iones hidronio es un importante parámetro en el tratamiento de aguas residuales y la manera usual de expresar esta concentración es el pH, el cual es definido como el logaritmo negativo

de la concentración de iones hidronio. PH es una de las pruebas más importantes y frecuentemente empleadas en la química de agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento de aguas (neutralización ácido-base, ablandamiento de agua, precipitación, coagulación, desinfección, entre otras) dependen del pH (Metcalf y Eddy, 2003). El pH está conectado fuertemente con el grado de disociación de las moléculas de agua y por lo tanto guarda relación con la hidrólisis de los iones metálicos (Arboleda, 2000), empleados como coagulantes en el TPA. En el pasado se creía que iones libres, como Al^{3+} y Fe^{3+} eran directos responsables por la agregación de las partículas, sin embargo, ahora se reconoce que las especies producto de su hidrólisis son los verdaderos coagulantes (Metcalf y Eddy, 2003), así pues, el pH determinará la concentración de estos compuestos y por lo tanto el mecanismo de coagulación que se llevará a cabo. Cabe resaltar que las sales de hierro pueden trabajar a un rango más amplio de pH que las sales de aluminio.

- **Alcalinidad Total**

La alcalinidad total en el agua residual resulta de la presencia de los iones $[OH^-]$, $[CO_3^{2-}]$ y $[HCO_3^-]$ de elementos como calcio, magnesio, sodio potasio y amoníaco. De estos, el bicarbonato de calcio y magnesio son los más usuales; compuestos como los boratos, silicatos y fosfatos pueden contribuir también a la alcalinidad en menor cuantía. La alcalinidad total es definida entonces como la capacidad de una sustancia de neutralizar un ácido (Sincero, 2003) y, por lo tanto, el contenido de alcalinidad en el agua ayuda a resistir la disminución de pH que sería causada por la adición de una sustancia ácida, por esta razón la concentración de alcalinidad es sumamente importante en el tratamiento tanto químico como biológico (Metcalf y Eddy, 2003). En cuanto al TPA, la aplicación más útil de este parámetro es el control de pH, pues las sales de hierro y aluminio empleadas como coagulantes pueden reducir el pH del agua residual cuando ésta no tiene la suficiente alcalinidad para alimentar la reacción de neutralización (Figuereido, 2009). En estos casos es necesario adicionar cal para aumentar la alcalinidad, ya que como se mencionó anteriormente el pH

gobierna junto con la dosis de coagulante el mecanismo de coagulación que se lleva a cabo. El consumo de alcalinidad por cuenta de la aplicación de $FeCl_3$, según Metcalf y Eddy (2003) está dado por la relación estequiometría:



Con 2 moles $FeCl_3$ se consume 3 moles de alcalinidad, ya que cada mol de $FeCl_3$ pesa 162.2 g y cada mol de alcalinidad pesa 100g y se tiene que la relación será:

$$\frac{2 \text{ mol } FeCl_3}{3 \text{ mol de } CaCO_3} * \frac{162.3 \text{ g}}{1 \text{ mol } FeCl_3} * \frac{1 \text{ mol de } CaCO_3}{100 \text{ g}} = \frac{324.3}{300} \cong 1.08$$

2.6 Tratamiento Primario Convencional

Son los más sencillos en la depuración del agua residual, el principal objetivo de estos es la remoción parcial de los sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otro medio.

Las principales unidades operativas que se utilizan para el tratamiento primario para las aguas residuales principalmente son:

- Tanques de Sedimentación
- Tanques de Flotación
- Tanques Sépticos
- Tanques Imhoff
- Filtros anaeróbicos
- Tamices



Ilustración 1 Procesos en plantas de tratamiento convencional.

- **Tanques de Sedimentación**

Pueden ser circulares o rectangulares, las aguas residuales fluyen lentamente a través de los tanques de sedimentación, permitiendo que los sólidos en suspensión de mayor densidad que el líquido circundante conforme lentamente el lodo primario. Materiales flotantes, tales como grasa y aceite se retiran del tanque especialmente para su posterior tratamiento o disposición.

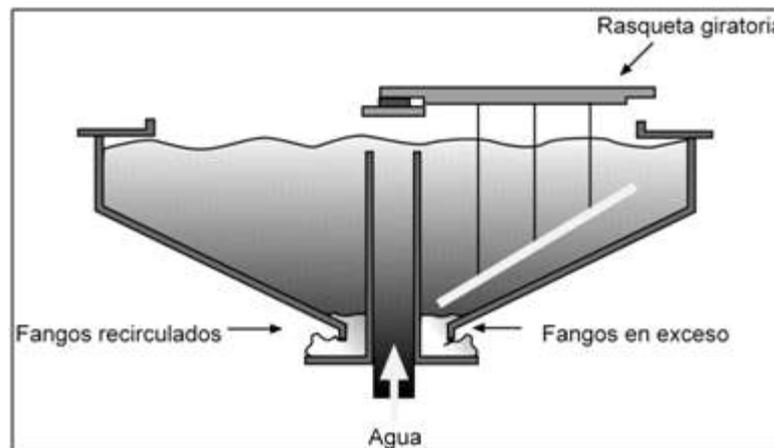


Ilustración 2 Esquema tanque de sedimentación primaria

- **Tanques de Flotación**

El proceso de flotación se usa en aguas residuales para remover partículas finas en suspensión y de baja densidad usando el aire como agente de flotación.

- **Tamices**

Los pequeños tamaños de poro que se manejan en estas unidades permiten la eliminación de una parte considerable de materia orgánica suspendida, suelen tener una inclinación de 25 grados respecto a la vertical. El material detenido se va deslizando, por la acción del agua y del nuevo material retenido, hacia el extremo inferior en donde cae a una tolva.

Para comparar el Tratamiento Primario Convencional con el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado se tiene que analizar las eliminaciones reportadas por la literatura en general de dos principales parámetros de aguas residuales, Sólidos Suspendidos (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

2.7 DBO

Es la materia orgánica, para la eliminación de la materia orgánica (DBO), se tiene que el tratamiento primario convencional puede remover entre un 20-40%, pero con el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado existe una eliminación del 65%, dejando una carga de solo 25% (Harleman and Morrissey, 1992)

2.8 SST, Sólidos Suspendidos Totales

Con el tratamiento convencional puede remover entre 50-70%, con el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado por sí mismo elimina hasta el 85% de los sólidos suspendidos. (Harleman and Morrissey, 1992).

2.9 Tratamiento Primario Químicamente Mejorado

La investigación bibliográfica efectuada permite prepararla Tabla 2. En la que constan las eficiencias de algunas plantas CEPT en el mundo.

Tabla 2 Dosis y eficiencias de remoción alcanzadas con CEPT.

Lugar	Dosis Empleada	Eficiencia en Reducción	Referencia	Escala
Michigan (EE. UU.)	14 y 20 mg/ l de cloruro férrico y 0.5 de polímero	60 a 80% SST	Parker et al., 2001	Real
Ontario (Canadá)	17 mg/l de cloruro férrico y 0.5 mg de polímero		Heinke et al., 1980	Real
California (EE. UU.)	25 mg/l de cloruro férrico y 0.2 de polímero	55% DBO 85% SST	Morrissey y Harleman 1992	Real
Hong Kong (China)	10 mg/l cloruro férrico y 1 mg/l de polímero	74% DBO 85% SST	Harleman y Murcott. 2001	Piloto y Real
Bogotá (Colombia)	32 mg/l de cloruro férrico y 0.4 mg/l de polímero	40% DBO 45% DQO 60% SST	Acueducto de Bogotá. 2011	Real
Cali (Colombia)	24.5 mg/l de cloruro férrico y 0,5 mg/l de polímero	38 a 48% DQO 60 a 71% SST	Escobar et al., 2005	Laboratorio

También conocido como CEPT o APT por sus siglas en inglés (Chemical Enhanced Primary Treatment, Advanced Primary Treatment). Este sistema busca aumentar la tasa de sedimentación gravitacional y la eficiencia de remoción de contaminantes en el tratamiento primario de aguas residuales, con la adición de pequeñas dosis de sustancias químicas, generalmente sales metálicas como coagulantes y/o polímeros en forma de polielectrolitos orgánicos.

Las sustancias químicas coagulantes hacen que las partículas en suspensión se agrupen a través de los procesos de coagulación y floculación. Las partículas agrupadas o flóculos se sedimentan más rápido y de esta manera mejora la eficiencia del tratamiento, medida como la eliminación de sólidos, materia orgánica y los nutrientes de las aguas residuales.

Con un tratamiento preliminar; seguido por una adición en mezcla rápida del coagulante y/o polímero al agua a tratar; floculación y sedimentación donde

se generan los lodos el efluente de la sedimentación es descargado al cuerpo receptor del agua tratada.

Existe un incremento significativo en la eliminación de contaminantes, los niveles de vertido pueden llegar acercarse a los objetivos de emisión. Se presentó las ventajas del CEPT al ser un proceso simple con ventajas que es de baja inversión para construcción y funcionamiento sencillo.

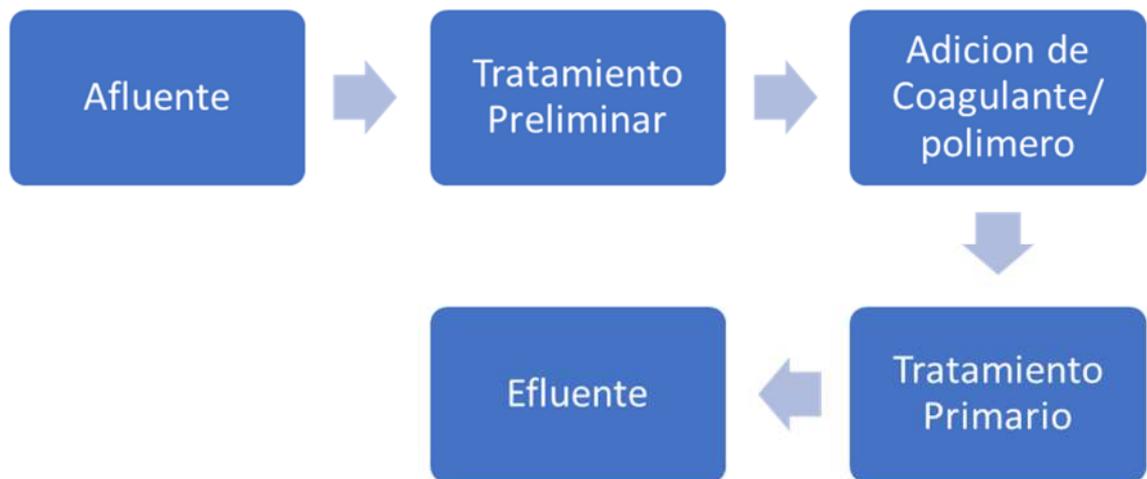


Ilustración 3 Esquema del funcionamiento de CEPT.

La remoción de SST y DBO se presenta mediante el proceso de sedimentación física por acción de la gravedad, la cual se aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas.

La formación de precipitaciones es baja, ya que estas están diseñadas para suprimir a la partícula que poseen partículas de sedimentación de 0.3 a 0.7 mm/s, la etapa de retención es muy corto, de 60 minutos a 120 minutos.

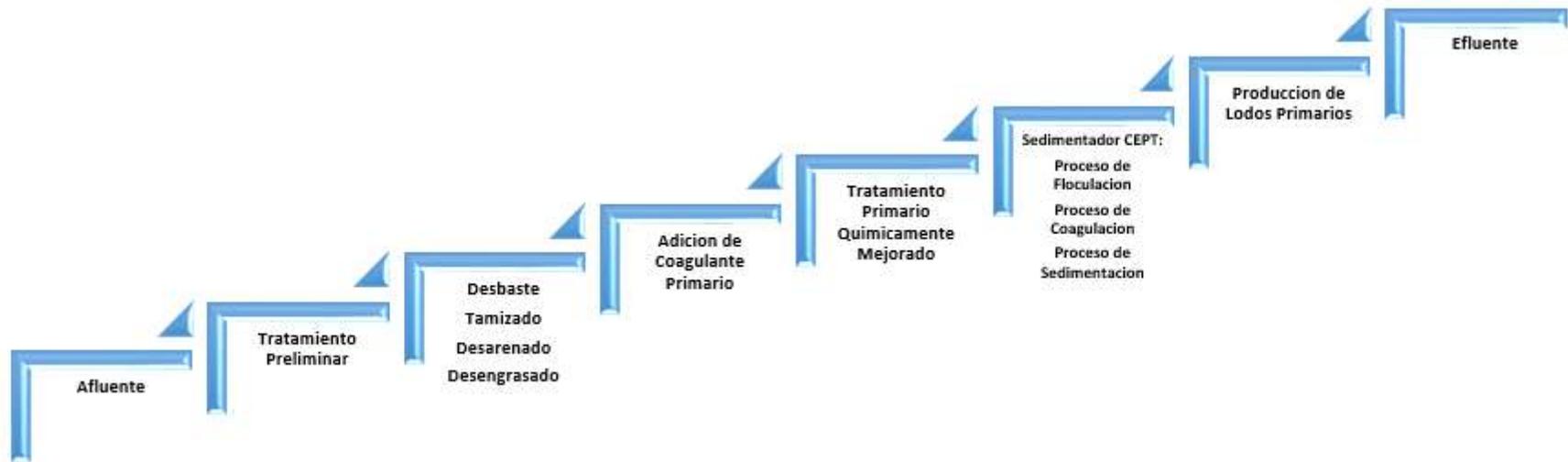


Ilustración 4 Diagrama de flujo de proceso del tratamiento primario mejorado químicamente.

Para el tratamiento de aguas residuales y cumpliendo de las eficiencias de remoción, se requiere una aérea considerable para la instalación del sistema lo cual se encuentra en un rango entre 2.5 – 5.0 m²/ habitante aproximadamente (Sperlin Von, 1998)

2.10 Perfeccionamiento químico del tratamiento primario.

Con el método químico la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos particulados, pueden ser orgánicos disueltos y sustancias inorgánicas disueltas como el fosforo. Con la adición de reactivos químicos se consigue la interacción completa con los contaminantes, produciendo que partículas de mayor tamaño que son más fáciles de eliminar del agua. Por lo general son una serie de procesos como la neutralización, floculación-coagulación, oxidación, precipitación química entre otros.

La Coagulación y Floculación desestabilizan los coloides, estos a su vez son parte de los sólidos en el agua residual para conseguir su sedimentación. Los términos de floculación y Coagulación son utilizados indistintamente en relación con la formación de agregados. Pero existen diferencias muy significativas entre ambas, en el caso de la coagulación consiste en la desestabilización de un coloide que se produce por la destrucción de su doble capa eléctrica que rodea a las partículas coloidales produciendo la formación de núcleos microscópicos. La floculación aglomera las partículas desestabilizadas primero en micro flóculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas, el método principal es la coagulación y floculación que tienen una serie de procesos de interacción, cohesión y floculación. Estos procesos producen la inestabilidad coloidal por medio de la neutralización de cargas, la cohesión de partículas por sus choques, el aumento de tamaño de los floculos por adsorción continua y por barrido.

Todos estos mecanismos se producen de manera conjunta en el agua, pero para diferentes vertidos, diferentes coagulantes y distintos fines de eliminación, existe una proporción entre ellas. Para condiciones de pH ácido,

con una alta concentración de impurezas y baja dosificación el mecanismo principal consiste en la inestabilidad y cohesión. Con pH neutro con una dosificación favorable el mecanismo que predomina es la floculación. Por eso para cada ambiente de tratamiento debe tener un análisis y estudio.

En comparación con el Tratamiento Biológico. El proceso de CEPT tiene similitud en remoción de SST (Sólidos Suspendidos Totales), cierto rango de eliminación en DQO y una eliminación de DBO5 inferior. Pero en la eliminación de fósforo (P) es muy favorable que el tratamiento biológico convencional alcanzando el 90% en eficiencia de eliminación esto reduce la eutrofización. Con el fósforo de los sedimentos formados por la reacción de precipitación química (fosfato férrico – con el Cloruro Férrico FeCl_3 como agente de coagulación) es estable y no se libera en el fango.

2.11 Funcionamiento

El tratamiento primario químicamente mejorado (CEPT, por sus siglas en inglés) es el proceso mediante el cual los químicos, típicamente sales de metal, se agregan a las cuencas de sedimentación primaria. Los químicos hacen que las partículas suspendidas se agrupen a través de los procesos de coagulación y floculación. Los agregados de partículas, o flóculos, se depositan más rápido, lo que mejora la eficacia del tratamiento, medida como la eliminación de sólidos, materias orgánicas y nutrientes del agua residual. Los productos químicos utilizados en CEPT son los mismos comúnmente añadidos en el tratamiento de agua potable (por ejemplo, cloruro férrico, sulfato de aluminio), y prácticamente no hay metales residuales en el sobrenadante [Harleman y Murcott, 1992].

2.12 Beneficios financieros de CEPT

CEPT permite que las cuencas de sedimentación operen al doble de la tasa de desbordamiento del tratamiento primario convencional, mientras se mantienen altas tasas de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Debido a la eliminación de DBO coloidal, el aumento en la remoción de DBO por CEPT es usualmente mayor que el de los sólidos suspendidos. Por lo tanto, la infraestructura de

tratamiento puede ser más pequeña, y esto reduce directamente los costos de capital.

Además, CEPT brinda la oportunidad de reducir el tamaño de las unidades de tratamiento biológico posteriores o aumentar la capacidad de las plantas de tratamiento convencionales existentes, como las cuencas de lodo activado. La adición de sales metálicas solo requerirá depósitos para los productos químicos y el equipo de inyección. En la siguiente tabla presenta datos que comparan los costos de tratamiento primario, tratamiento biológico secundario y tratamiento primario mejorado químicamente.

Tabla 3 Comparación de costos de sistemas de tratamiento típicos.

Comparación de Costos del Tratamiento		
Sistema de Tratamiento	Costo de Construcción US\$M por m3/s	O&M Costo
Tratamiento Primario (Sin desinfección)	1.5	0.2
CEPT & Desafección	1.3	0.5
Tratamiento Primario & Lodos Activados & Desafección	5.0	1.0

Los costos de CEPT son solo marginalmente superiores a los del tratamiento primario convencional, y solo aproximadamente la mitad que el tratamiento secundario. Sin embargo, las eficiencias de eliminación muestran la superioridad de CEPT, como se analiza en la siguiente sección.

2.13 Estudios del proceso CEPT.

Las características propias del proceso de CEPT esta aplicado en los siguientes casos:

- Para el pre tratamiento de aguas residuales de ciudades litorales antes de ser descargadas al mar. Por el gran aumento de contaminantes en el mar, los criterios para controlar la calidad del vertido de descarga al mar son más exigentes. Con el tratamiento primario convencional no

cumple con ninguna de las exigencias para su descarga, adicionalmente existen problemas graves de eutrofización en zonas de desembocadura, los criterios para la eliminación de fósforo se tornaron más estrictos, demandando concentraciones inferiores a 1 mg/l, el tratamiento primario convencional no cumple con esta exigencia.

- Las aguas residuales con baja concentración esto debido a que están diluidos o presentan una baja concentración por lo que su tratamiento es menos exigente. Esto sucede en determinados vertidos urbanos, donde la proporción de agua residual industrial es pequeña o el propio tratamiento al interior de la industria disminuye los niveles de contaminación asimilándose a la calidad de las aguas residuales domésticas. La integración de redes pluviales y de alcantarillado de algunas ciudades provocan que la concentración del vertido es baja.
- El valor teórico de la descarga para el diseño de sistema de tratamiento es superior al valor real provocando procesos con altas inversiones, pero con bajas eficacias de funcionamiento. En este tipo de situaciones por economía es viable el tratamiento primario mejorado como alternativa.

2.14 Experiencias a Nivel Mundial

- **Estados Unidos**

En 1985, las cuatro PTAR más grandes en el sur de California se actualizaron al proceso de TPA, funcionaban con una dosis alrededor de 25 mg/l de FeCl_3 como coagulante primario y 0,2 mg/l de un polímero aniónico como floculante. En la PTAR de San Diego la reducción de SS se incrementó a cerca del 85% y la DBO5 a más del 55%. Además, la carga superficial empleada en la planta fue 4,5 m^3/h (3 veces mayor a la carga utilizada en el diseño de tanques de sedimentación primaria convencionales - Morrissey y Harleman, 1992).

- **Canadá**

En 1980 Heinke et al. (1980) condujeron pruebas sobre TPA en tres PTAR en Ontario, Canadá. Se encontró en la planta Windsor que el funcionamiento óptimo se alcanzaba con 17 mg/l de Fe y 0,3 mg/l de polímero aniónico. Estos estudios corroboraron las investigaciones de

Dow Chemical, demostrando que TPA aumenta la velocidad de sedimentación de las partículas y la eficiencia de reducción.

- **China**

En 1997, Hong Kong completó la construcción de la planta con CEPT (Tratamiento Primario Químicamente Mejorado) más grande del mundo, con una capacidad máxima de 40 m³/s y un caudal medio de 20 m³/s, de los datos de operación de esta planta se observa que se lograron reducciones de SST alrededor del 85% y 74% de DBO₅, con una dosis de sólo 10 mg/l de FeCl₃ y una carga hidráulica superficial de 60 m/día. (Harleman y Murcott, 2001).

- **Latinoamérica**

Entre 1996 y 1997, en la Ciudad de México se llevaron a cabo estudios tanto a escala piloto como escala real, en lo que se encontró que el TPA es muy efectivo para reducir la concentración de huevos de helmintos hasta un rango de 2 a 5 huevos/l, lo cual hace más económico el pulimiento del agua residual doméstica para ser usada en el riego de cultivos. (Harleman y Murcott, 2001).

2.15 Experiencias a Nivel Nacional

En el país se está construyendo en la ciudad de Guayaquil la PTAR “Las Esclusas” con una coagulación y floculación química, seguida de sedimentación primaria. En esta planta se va a incluir la adición de cloruro férrico $FeCl_3$ (20 a 40 mg/L) en combinación con polímero (+/- mg/L) con polímero (+/- mg/L), en conjunto con tanques de mezcla rápida y de floculación, previo a los tanques de sedimentación primaria. Con este proceso se provee una eficiente en la remoción de sólidos coloidales, sólidos suspendidos y DBO, los cuales son necesarios para cumplir con los límites regulatorios para la descarga del efluente tratado al Río Guayas.

2.16 Requisitos para el Tratamiento en Guayaquil

Los requisitos estipulados, deben cumplirse en cualquier descarga a un cuerpo de agua dulce en Ecuador. Dichos requerimientos deben cumplirse antes de la descarga al cuerpo receptor.

Tabla 4. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles en Hexano	mg/l	30.0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO	mg/l	100
Solidos Suspendidos	SST	mg/l	130
Nitrógeno Total Kjeldahl	TKN	mg/l	50
Organoclorados Totales	Concentración de Organoclorados Totales	mg/l	0.05
Fosforo Total	P	mg/l	10
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200

Referencia: Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Fuente, Ministerio del Ambiente, 13 de febrero de 2015.

2.17 Aguas Residuales de Guayaquil

Según el Banco Mundial, solo un 20% son tratadas correctamente. Es vox populi las aguas del río Guayas están contaminadas, lo han dicho investigadores, consorcios, las industrias y hasta el propio Cabildo.

Los químicos vertidos por las empresas y las aguas negras de quienes viven en sus orillas han sido declaradas culpables, pero hay otro tipo de contaminante las aguas servidas mal tratadas de la propia ciudad.

Un análisis realizado por el Banco Mundial, determino que las plantas donde actualmente se procesa la mayor parte de las aguas negras de Guayaquil, como las Estaciones de Progreso, La Pradera y el emisario subfluvial del Guasmo no cumplen con la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de

Efluentes del Ecuador y superan con creces el índice de concentración de contaminantes.

Según David Matamoros (2017) “La descarga de aguas residuales de la ciudad no excede los 5 metros cúbicos por segundo. Por lo tanto, la contaminación se está diluyendo en el río Guayas y ese ha sido el argumento desde el siglo pasado para no implantar tratamientos convencionales. Sin embargo, el río Guayas no viene exactamente limpio; aguas arriba de Guayaquil hay asentamientos que también descargan sus aguas residuales en el río Daule y en el río Babahoyo. Por otro lado, efecto de marea (que sucede dos veces al día) hace que en un momento determinado el agua suba río arriba y se forme un represamiento de la contaminación que termina afectando el ecosistema del Golfo”

Según John Solórzano (2017), “Ya en 2009, solo se trataba el 34% de las aguas residuales. En 1993, solo el 12% de las aguas residuales recibía un tratamiento primario. Se suponía que eso había mejorado; pero ya en 2009 se sabía que solo el 34% de las aguas eran tratadas; y eso ha disminuido conforme han pasado los años ha aumentado la contaminación por el índice poblacional y de industrias, y las plantas de tratamiento han ido desgastando sus mecanismos. La amplia cuenca del Guayas es el elemento que siempre se cita, y como tiene microorganismos naturales, efectivamente si hay una descomposición, pero no es suficientemente rápida como para que no haya una afectación al río. Un mejor tratamiento de las aguas residuales si disminuirá la contaminación, pero debe hacerse correctamente”

Para el 2045 la meta va a ser que el 100% del tratamiento de las aguas del sur de la ciudad sean tratadas, para esto la planta de “Las Esclusas” estará lista en un plazo máximo de tres años, pero el 100% de las aguas residuales del sur de la ciudad recién se tratara para el 2045.

Esa es la meta que se pretende llegar conectando todas las viviendas del sector al sistema de alcantarillado y dejen de descargar sus aguas negras en el río. Esta obra está considerada como la más importante en edificarse en el Puerto Principal.

Las aguas de la estación Guasmo H y las de La Pradera, se mezclarán a través del sistema "CEPT" proceso que ayuda a remover sólidos y materia orgánica, garantizando que los porcentajes de Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuya en un 75% y Sólidos Suspendidos Totales en 90%.

2.18 Introducción a la Coagulación y floculación

En el tratamiento de aguas residuales el papel más importante del químico es con el coloide ya que proporciona los mecanismos y reacciones sobre los cuales, las operaciones de la ingeniería práctica se basan.¹

La coagulación y floculación son procesos universalmente empleados en el tratamiento de aguas residuales, por lo general existe gran confusión entre los dos términos.²

Pero ambas con un único objetivo mejorar la separación de partículas para la sedimentación y filtración. Las partículas coloidales y otras materias finamente divididas se juntan y se aglomeran formando partículas de mayor tamaño ya con esta división se produce una eliminación más eficiente.

La coagulación se ha utilizado principalmente para eliminar la turbidez del agua, pero en los últimos años de investigación se ha demostrado que la coagulación es muy eficaz en la eliminación de contaminantes que pueden ser absorbidos por coloides tales como metales, materia orgánica tóxica, virus y radionúclidos. Con la coagulación mejorada es un método efectivo para cumplir con los estándares recientemente propuestos por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) en el caso de Guayaquil por el Ministerio de Ambiente de la República del Ecuador.³

2.19 Coagulación

La coagulación se divide en tres pasos distintos y secuenciales según Amirtharaja y O'Melia:

1. Formación del coagulante
2. Desestabilización de partículas

3. Colisiones entre partículas

La Formación del coagulante y la desestabilización de partículas suelen ser rápidos y tienen lugar en un tanque de mezcla rápida, las colisiones entre partículas, es un proceso más lento que se logra mediante el flujo de fluidos y la mezcla lenta.⁴

En este proceso donde se logra la aglomeración de partículas tiene lugar en el tanque de floculación. La coagulación se logra mediante la adición de coagulantes inorgánicos tales como sales basadas en Aluminio (Al) o Hierro (Fe) con polímeros orgánicos sintéticos comúnmente conocidos como polielectrolitos. Los coagulantes ayudan a la desestabilización y aglomeración de material particulado difícil y lento para sedimentar.⁵

2.20 Coagulantes

Evidentemente, la aptitud del coagulante juega un papel muy importante en la eficiencia del proceso CEPT, ya que la coagulación consiste en la desestabilización de las partículas suspendidas mediante la adición de estos químicos provocando una neutralización de la carga de los coloides presentes en el agua, la disminución de las fuerzas que mantienen separadas las partículas es una característica principal. Esto ocurre en medio de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes. La coagulación inicia al incrementar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

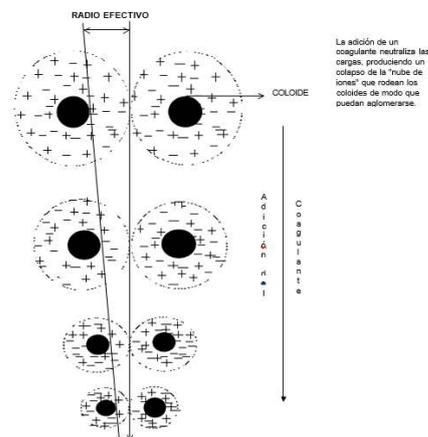


Ilustración 5 Coagulación.
Fuente: (Cárdenas, 2000)

Los coagulantes más habituales son sales de aluminio y de hierro, con purezas que pueden llegar a superar el 95% y que gracias a su base de polímero puede plantearse a las necesidades provistas.

El CEPT incluye la coagulación seguida de la sedimentación y eliminación de flóculos en una unidad de sedimentación. Dado que la mayoría de los coloides tienen cargas negativas que expulsan cargas similares estas partículas otorgan estabilidad a una suspensión. Al añadir un coagulante a las aguas residuales se desintegra con una elevada carga positiva.

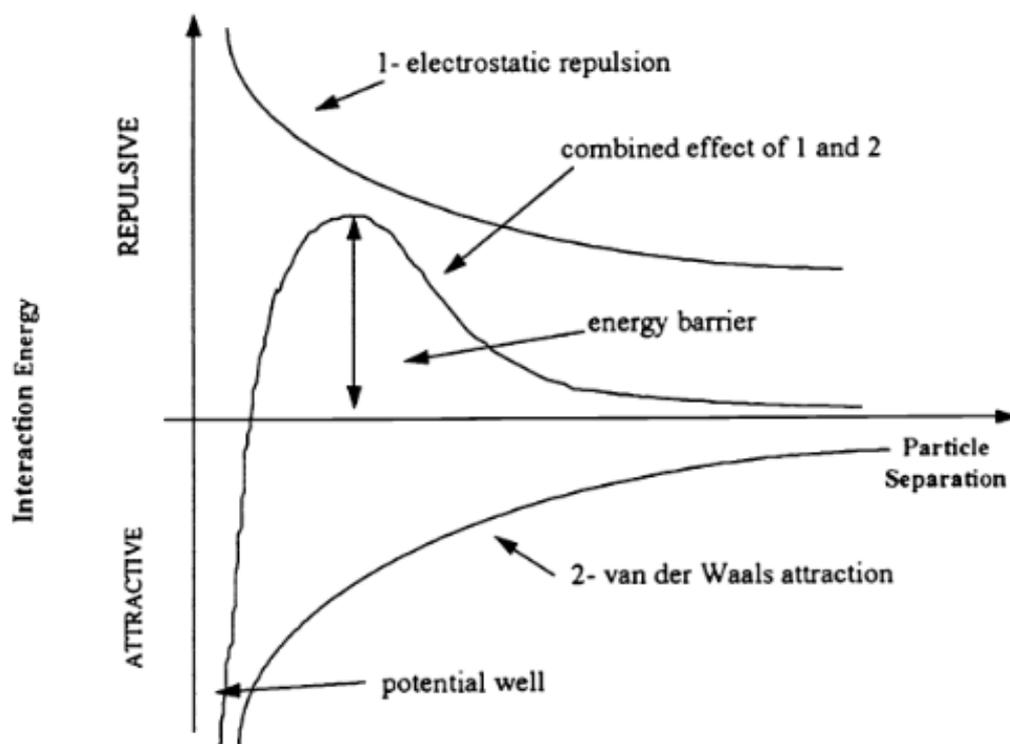


Ilustración 6 Representación de la teoría DLVO.

Estos complejos tienen altas cargas positivas, absorben los coloides de la superficie y reducen la carga negativa para neutralizar y condensar a través de fuerzas Van der Waals. Esta absorción se ve forzada por la turbulencia (floculación) formando partículas con adecuada capacidad de sedimentación. (Reynolds y Richards, 2000)

El objetivo principal de la adición del coagulante, convertir algo del material no sedimentable en material sedimentable, aumentando de este modo la absorción en general. (Narayanan, 2000).

El proceso de desestabilización sucede en escasos segundos inmediatamente de la adición del coagulante. El gradiente de velocidad (G) es una medida de intensidad de la mezcla, en el tema de aguas residuales domésticas se examina una gran importancia del valor de G en la mezcla rápida, para esto se manejan dispositivos como mezcladores mecánicos, bombas compartimientos provistos de baffles, canaletas parshall, vertederos, tuberías con baffles y difusores. Todos estos presentan un costo elevado y pueden sufrir atascamiento con los SST contenidos en el agua residual. La mezcla con aire reduce problemas de obstrucción, pero es más costosa y tiene dificultades para alcanzar gradientes G altos. (Stonecutters Island Sewage Treatment Works, 2011).

2.21 Selección del Coagulante

La viabilidad con el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado radica en la elección del coagulante, pero antes hay que tener en cuenta que las aguas residuales presentan un mayor exceso de sólidos en suspensión, en primer lugar, seguido por un exceso de DBO y DQO. Los procesos de coagulación y floculación presentan un mejor efecto para eliminar dicha fracción de sólidos.

El pH puede condicionar la efectividad de los tratamientos de coagulación. Así un pH ácido débil, típico de las aguas residuales domésticas, presenta condiciones desfavorables para los procesos de coagulación-floculación. El pH de las aguas residuales se sitúa próximo a 7,0 debido a la contribución de los vertidos industriales (ligeramente básicos).

Tabla 5 Energía relativa de la coagulación de electrólitos.

Electrolito	Coloide Positivo	Coloide Negativo
<i>NaCl</i>	1	1
<i>Na₂SO₄</i>	30	1
<i>Na₃PO₄</i>	1000	1
<i>BaCl₂</i>	1	30
<i>MgSO₄</i>	30	30
<i>AlCl₃</i>	1	1000
<i>Al₂(SO₄)₃</i>	30	>1000
<i>FeCl₃</i>	1	1000
<i>Fe₂(SO₄)</i>	30	>1000

Actualmente los coagulantes utilizados se clasifican en orgánicos, inorgánicos y biológicos, en el presente trabajo se ha optado por utilizar el Cloruro Férrico FeCl₃, coagulante polimérico de tipo inorgánico (PFS y PAC). Este coagulante presenta una misma forma hidrolizada y el mismo mecanismo de coagulación y de formación de enlaces puente.

2.22 Cloruro Férrico

Es un coagulante común que es fácilmente soluble en el agua. Presenta una buena precipitación del floculo formado y su efecto es mejor en agua con baja temperatura y turbidez.

Este se obtiene por ataque con ácido clorhídrico de óxido de hierro II y III con posterior oxidación del cloruro de hierro II. El Cloruro Férrico en medio acuoso ligeramente básico reacciona con el ion hidróxido para formar flóculos de FeO (OH)-, que puede eliminar los materiales en suspensión cuando se disuelve en agua, el cloruro de hierro (III) sufre hidrolisis y libera calor en una reacción exotérmica. De ello resulta una solución acida y corrosiva que se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales.

2.23 Ventajas Técnicas

Destaca su capacidad para trabajar en un amplio rango de pH, que va desde 4.5 hasta 12. Es muy eficaz en la eliminación de sólidos suspendidos, rastros de metales y DBO. Remueve fosfatos con una eficiencia superior al 95% permitiendo alcanzar los valores requeridos por la legislación. También actúa sobre los sulfuros evitando la formación del oloroso y corrosivo ácido sulfhídrico.

	QUIMPAC Ecuador S.A.	
	Cont. Especial - Autorización SRI 1103636762 RUC 0990344760001 Calif. CONSEP: 09-0866-I	FICHA TÉCNICA N°62 FECHA DE REVISIÓN: ENERO 2017

PRODUCTO: CLORURO FÉRRICO EN SOLUCIÓN /FERRIC CHLORIDE IN SOLUTION

NOMBRE COMERCIAL: QUIMPAC 3700

FÓRMULA: FeCl₃

DESCRIPCIÓN: Líquido de color rojizo oscuro.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

COMPONENTE	ESPECIFICACIÓN	UNIDAD
Cloruro férrico (Cl ₃ Fe)	40 - 45	% m/m
Cloruro ferroso (Cl ₂ Fe)	< 0.92	% m/m
Acidez (ClH)	< 1.0	% m/m
Insolubles	< 0.5	% m/m
Densidad (20°C)	1.418 - 1.485	g/cm ³

PRESENTACIÓN:

Tambores plásticos de 250 Kg / IBC plásticos de 1000 Kg

DOSIFICACIÓN: 250mg/l (NSF 60-Método K)

PRECAUCIONES: Rápidamente corroe la mayoría de los metales con excepción del titanio por lo tanto se debe evitar el contacto con objetos en aluminio, acero al carbón, acero inoxidable y cobre, evite también el contacto con nylon.- Los derrames en piso de concreto generan coloración y desgastes en los mismos.

Para mayor información contactar a nuestro Departamento de Ventas

NOTA: Los datos contenidos en boletín tienen por objeto orientar y dar servicio. Sin embargo y debido a sus múltiples usos la garantía de nuestro producto está sujeta al manejo posterior por parte de los usuarios.

Guayaquil: Km 16½ Vía a Daule – Av. Rosarín y Calle Cobre PBX: 2-162-660 FAX: 2732344 Website: www.quimpac.com.ec	Quito: Panamericana Sur Km. 140 Calle H y 3a Transversal Parque Industrial Sur PBX: 2693591 Fax: 3650969 Correo Electrónico: ventas@quimpac.com.ec
---	---

Ilustración 7 Ficha técnica cloruro férrico.
Fuente: QUIMPAC

2.24 Porciones de Coagulante

La cantidad del coagulante es muy importante en este proceso ya que:

- La adición de una escasa cantidad de coagulante no neutraliza la carga en su totalidad, los micro flóculos son muy escasa entonces la turbiedad residual es elevada.
- Con altas cantidades de coagulante produce la inversión de la partícula, conduce a la formación de micro flóculos de tamaño pequeño cuya velocidad de sedimentación es muy baja, la turbiedad residual es igualmente elevada.
- La selección del coagulante con su cantidad óptima se determina mediante las pruebas de jarra.

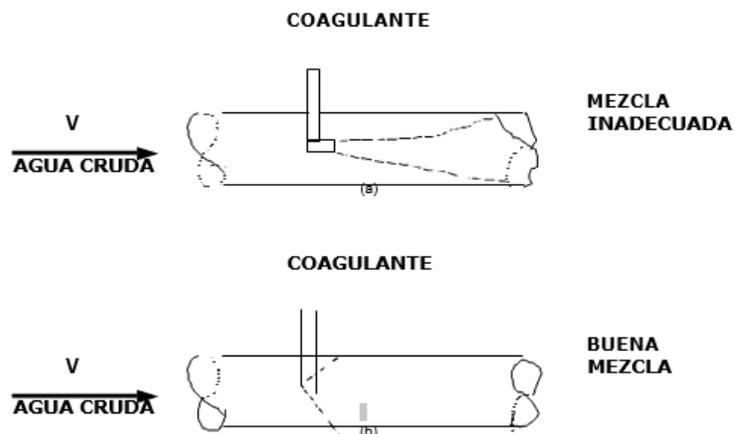


Ilustración 8 Condiciones de mezcla.

Las dosis experimentales de coagulante requieren determinarse experimentalmente, aunque algunas plantas alrededor del mundo tienen el CEPT para tratar sus aguas cada una utiliza dosis distintas para tratar el agua.

2.25 Concentración del Coagulante

Algunos problemas que se presenta este ligado a que las dosis aplicadas son mínimas en comparación con el volumen de agua para su tratamiento. Con una turbulencia adecuada, se conseguirá una dispersión más efectiva cuanto más diluida sea la solución. Pero cuando las soluciones son muy diluidas

estas pueden hidrolizarse antes de su aplicación formando productos que no son efectivos para la coagulación.⁶

2.26 Formas apropiadas de Aplicación del Coagulante

Cuando se agrega sobre la superficie del agua se requiere mayor cantidad de coagulante en comparación cuando se agrega a nivel de la paleta agitadora. Cuanto más punto de aplicación existan se tendrá mayor dispersión del coagulante.

Siempre debe seleccionarse un lugar en donde se produzca mayor turbulencia, tener en cuenta aplicar en varios puntos no tiene un rendimiento óptimo en un solo punto. Los dispersores producen una buena mezcla de coagulantes estos se basan en el uso de varios puntos de aplicación.⁷

2.27 Mezcla Rápida (tiempo e intensidad)

Se necesita una mezcla adecuada para que el coagulante sea distribuido uniformemente a través del agua. Por tanto, esta mezcla tiene que hacerse lo más rápido posible ya que las reacciones se completan en tiempos menores que un segundo. Cuando la coagulación se realiza por adsorción y con un tiempo menor a 8 segundos se efectúa por precipitación de hidróxidos.

Esta intensidad de la mezcla está estrechamente relacionada con el gradiente de velocidad el cual se deriva de la cantidad media de trabajo aplicado por unidad de tiempo a un volumen unitario con una determinada viscosidad.⁸

2.28 La mezcla rápida (coagulación)

En el momento de la adición del coagulante el grado de agitación es muy importante, determina si la coagulación es completa, con las turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte obtenga poco o nada, por ello la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla

entre el agua y el coagulante sea la correcta para que la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.⁹

2.29 Mezcla Rápida

En la zona fuerte de turbulencia se agrega los químicos, una inadecuada mezcla rápida incrementa el uso de productos químicos. La mezcla rápida está diseñada para dispersar diferentes sustancias químicas y gases.

El diseño, operación y construcción de la mezcla rápida ya sea hidráulica o mecánica, debe garantizar una rápida y uniforme dispersión del coagulante, auxiliares de coagulación y alcalinizantes los cuales deben ser aplicados de acuerdo con una dosis óptima determinada por un ensayo de jarras.¹⁰

2.30 Tipos de Mezcladores

Las unidades para producir la mezcla pueden ser:

- Mezcladores Mecánicos, retro mezcladores (agitadores)
- Mezcladores Hidráulicos, resalto hidráulico, canaleta parshall y vertedero rectangular ¹¹

2.31 Ventajas y Desventajas de los Mezcladores Hidráulicos y Mecánicos

El gradiente de velocidad en un mezclador mecánico no varía con el caudal, tiene la ventaja adicional de controlar el grado de agitación, haciendo variar la velocidad de rotación del impulsor; sin embargo, tiene la limitante de depender de la energía externa que una falla hace que el proceso de mezcla se perjudique.

Los mezcladores hidráulicos se caracterizan por presentar poca flexibilidad a las variaciones de caudal, no depende de una energía externa. Por lo general se utilizan como mezcladores rápidos las canaletas parshall y vertederos.¹²

2.32 Criterio de Diseño

El tiempo y el grado de mezcla ha sido considerado como los factores más importantes en el diseño. Sin embargo, consideraciones adicionales sobre el mecanismo de la coagulación y la cinética de las reacciones de coagulación son también necesarias.¹³

2.33 Etapas y Fases de Coagulación

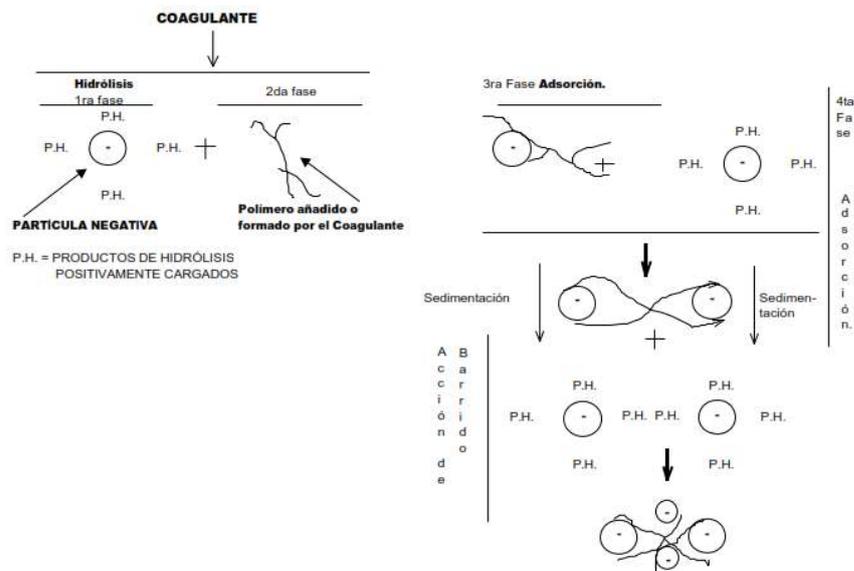


Ilustración 9 Fases de coagulación.

Fuente: (Cárdenas, 2000)

La coagulación se desarrolla en poco tiempo, instantáneo en el que se presenta las siguientes etapas:

- Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.

2.34 Mecanismo de la Coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos físicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.

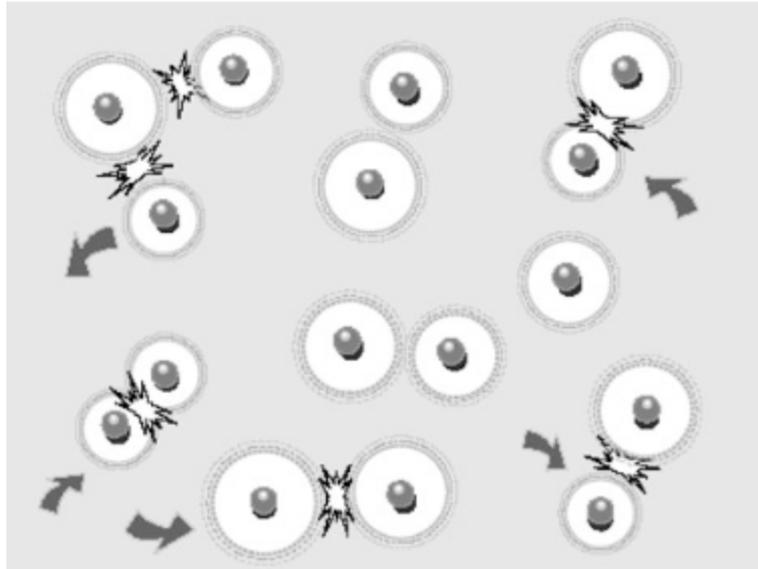


Ilustración 10 Partículas Estabilizadas que se repelen entre si debido a la carga superficial.

- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.

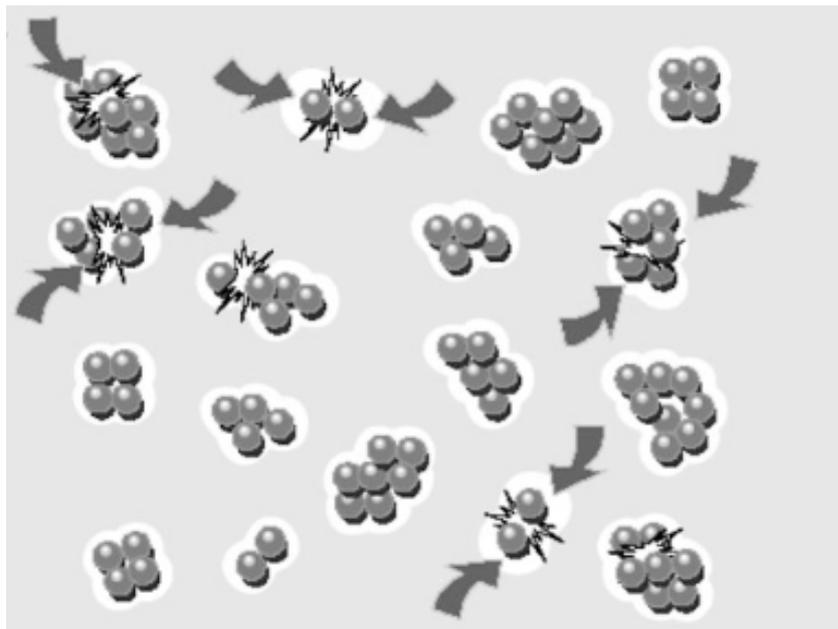


Ilustración 11 Descarga de las partículas que tienden aglomerarse durante la colisión.

- Adsorción y puente.

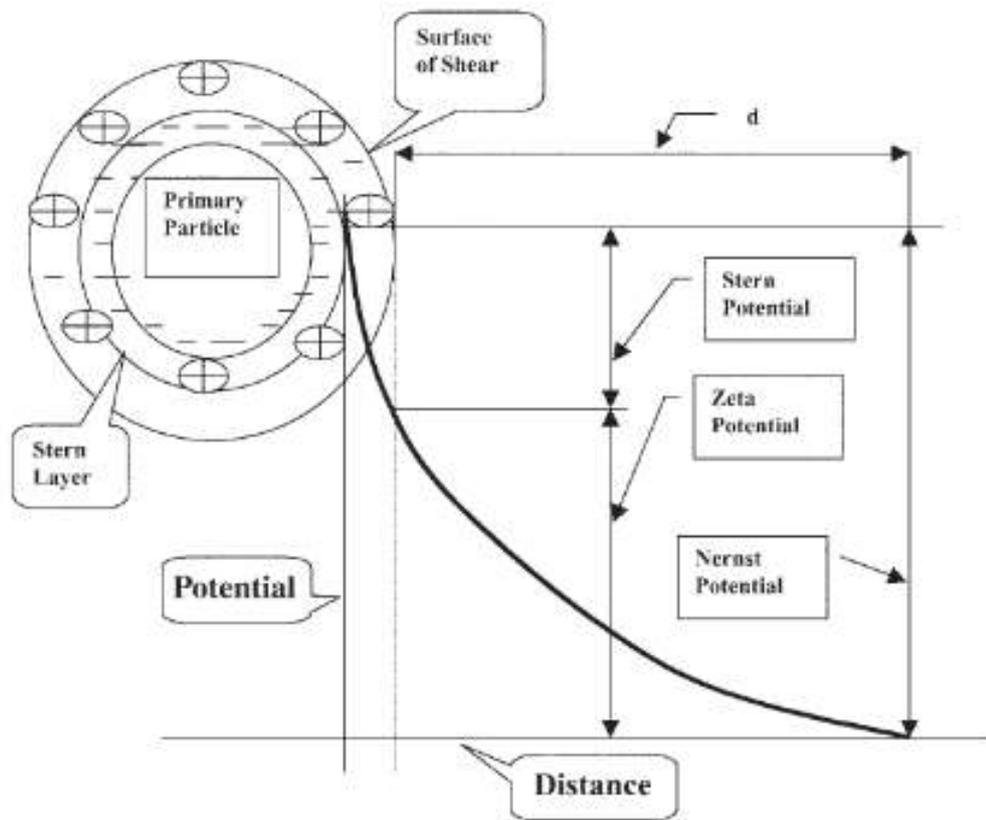


Ilustración 12 El potencial eléctrico de una partícula coloidal cargada negativamente.

2.35 Factores que influyen a la Coagulación

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

Tabla 6 Valores de pH óptimos para coagulantes metálica.

Coagulante	pH
Sulfato de Aluminio	4.0 a 7.0
Sulfato Ferroso	> 8.5
Cloruro Férrico	3.5 – 6.5 y sobre 8.5
Sulfato Férrico	3.5 – 7.0 y sobre 9.0

La interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

2.36 Influencia de la Temperatura

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

2.37 Aplicaciones de la Coagulación

- Tratamiento de Aguas
 - Eliminación de turbidez
 - Control de sabor y olor
 - Coagulación de materiales que causan olor
 - Eliminación de bacterias y virus
 - Eliminación de arsénico y radionúclidos
 - Coagulación de materia orgánica natural
- Tratamiento de Aguas residuales domesticas
 - Mejora la eficiencia de las plantas de tratamientos primario
 - Se obtiene remociones intermedias entre tratamientos primarios y secundarios

- Satisfacer los requisitos estacionales en las trasmisiones recibidas.
 - Acondicionamiento de biosólidos antes de eliminar el agua
 - Tratamiento terciario de efluentes.
- Tratamiento de Desechos Industriales
- Mejora las extracciones de efluentes secundarios
 - Manejo de desechos estacionales
 - Control de color
 - Tratamiento de desechos tóxicos
 - Eliminación de metales
 - Cumplir con los requisitos de flujo y eliminación a un menor costo de capital.¹⁴

2.38 Floculación

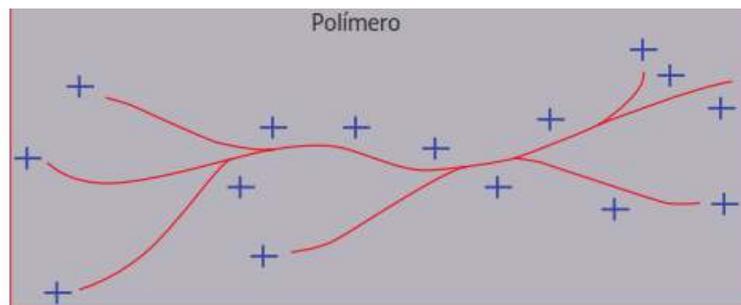


Ilustración 13 Representación Visual de la molécula de polímero.

Es el mecanismo en el cual las partículas ya desestabilizadas chocan una con otras formando coágulos mayores denominados flóculos; en este proceso los flóculos aumentan su peso específico hasta superar el del líquido que los contiene, lo cual permite la sedimentación del aglomerado (Arboleda, 2000)

La floculación a diferencia de la coagulación es que esta se produce en condiciones de mezcla suave y lenta. El proceso de floculación se puede clasificar según como se producen las colisiones entre partículas, si las colisiones son producidas por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) se denomina floculación peri cinética y si las colisiones se producen por la turbulencia del líquido originada por fuerzas externas se denomina floculación orto cinética.

Los floculantes facilitan el crecimiento del floculo combinando la carga en la superficie y las características de hidratación de un coloide.

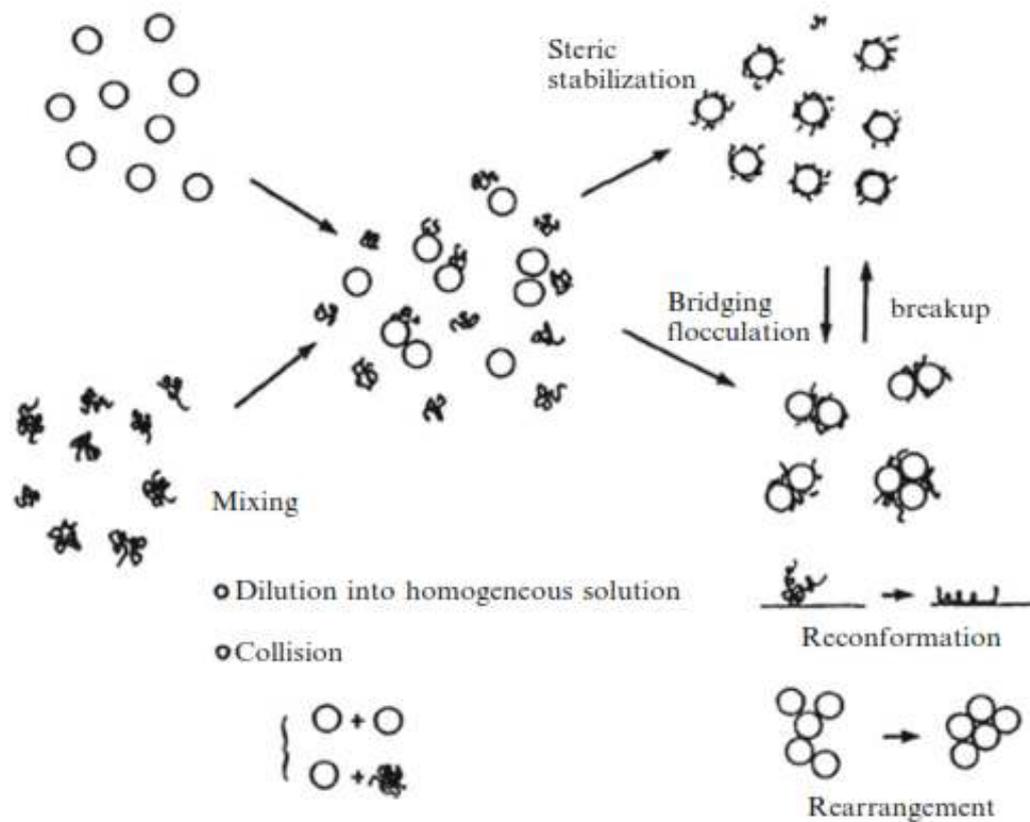


Ilustración 14 Diagrama esquemático de polímero absorbente sobre partículas coloidales.

La floculación es más lenta y depende del tiempo en conjunto con el nivel de agitación que la mezcla rápida. Los tiempos de retención típicos para la floculación varían entre 5 y 30 minutos. Un incremento del tiempo de retención por encima del rango mencionado solo ofrece beneficios marginales.



Ilustración 15 El floculante tiende un puente entre las partículas coloidales aglomeradas.

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 floculo, sino que también aumenta su peso.

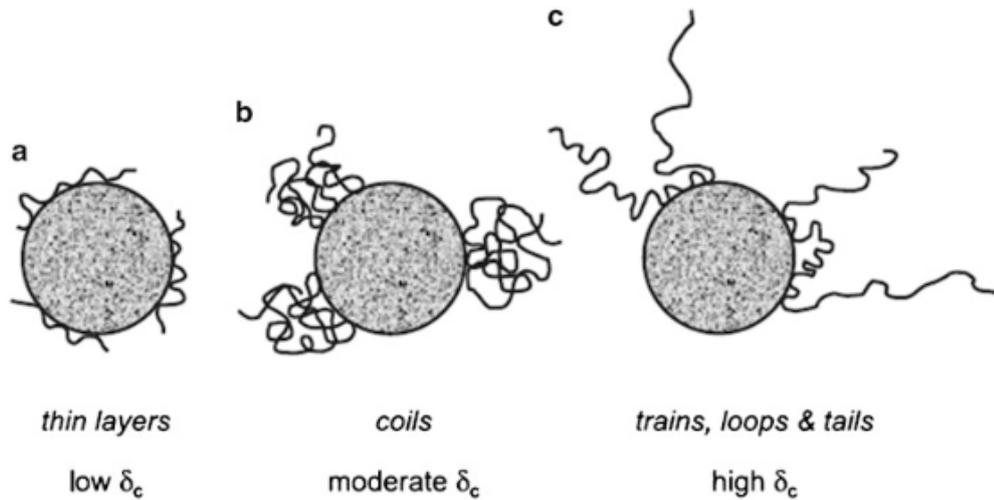


Ilustración 16 Representación esquemática de las tres conformaciones de polímero diferentes en el sólido-líquido (a) capas delgadas, (b) bobinas, (c) trenes, bucles y colas.

La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación.

2.39 Tipos de floculación

Hay 2 tipos de floculación:

- **Floculación Pericinética**

Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

- **Floculación Ortocinética**

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los micros flóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación Pericinética luego se produce la floculación Ortocinética.

2.40 Parámetros de la floculación

Los parámetros que se caracterizan la floculación son los siguientes:

- ▶ Floculación Ortocinética (Se da por el grado de agitación proporcionada: Mecánica o Hidráulica).
- ▶ Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- ▶ Número de colisiones (choque entre micro flóculos).
- ▶ Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- ▶ Densidad y tamaño de floc.
- ▶ Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

2.41 Aplicación Práctica de los Coagulantes y Floculantes

Requisitos Principales

La aplicación de los coagulantes desde el punto de vista práctico en la operación de una Planta de Tratamiento, requieren de:

- ▶ Verificación del caudal de tratamiento.
- ▶ La dosificación de los productos químicos.
- ▶ El manejo de los Equipos / Aparatos de medida y los medios de medición.

2.42 Prueba de Jarras

En la prueba de jarras se utiliza variaciones en la dosis del polímero o coagulante en cada jarra (generalmente 6 jarras), permitiendo la reducción de los coloides en suspensión y materia orgánica a través del proceso de floculación; es decir, simula los procesos unitarios de coagulación, floculación y sedimentación, permitiendo además realizar el ajuste en el pH de cada

muestra hasta llegar a los valores en los que la floculación alcanza sus mejores resultados.

Se utiliza este método cuando se requiere determinar la dosis óptima de coagulantes en plantas de tratamiento de agua potable y/o agua residual, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente; así como para establecer las dosis óptimas de polímero a ser utilizado en procesos de deshidratación de lodos.

Con este procedimiento se determina las condiciones óptimas a pequeña escala lo más representativas con el objetivo de predecir el funcionamiento de una operación unitaria a gran escala.

- **Procedimiento**

- ▶ Si requiere un volumen de 12 litros para esta prueba, se coloca 2 litros de muestra en cada uno de los seis recipientes.
- ▶ Se programa primero una mezcla rápida intensa y de corta duración aproximadamente 1 minuto seguida de una mezcla lenta de aproximadamente 25 minutos, al final se deja reposar por al menos 10 minutos sin mezcla.
- ▶ Se calcula las diferentes dosis a analizar y se coloca una dosis distinta en cada jarra, justo en el momento en el que comienza la mezcla rápida.
- ▶ Se enciende el programa secuencial y se observa el comportamiento de cada jarra.
- ▶ Al final del tiempo de reposo se observa el volumen de lodos generados.
- ▶ Se extrae una muestra del agua clarificada mediante la ayuda de las llaves que existen en cada jarra.
- ▶ Se analiza los parámetros que se consideren más representativos como pH, turbidez, temperatura, DQO, fosfatos, etc., dependiendo del proceso que se esté analizando.
- ▶ Se recomienda realizar esta prueba con vigilancia continua de la misma, es una prueba de corta duración, los detalles visuales que nos brinda junto con los resultados que se obtiene del análisis en

laboratorio de los parámetros de cada jarra nos permiten determinar la dosis óptima.

El objetivo es encontrar la dosis ideal para el proceso unitario que produzca la mejor calidad de agua posible a los menores costos.

3 Capítulo III: Metodología

Se evaluará la dosificación de cloruro férrico con la adición de un polímero aniónico con la construcción de una planta piloto y pruebas en laboratorio.

Además, se comprobará la reducción de DBO, DQO y SST con los procesos de coagulación, floculación y sedimentación ya que estos procesos presentan un mejor efecto para eliminar dicha fracción de sólidos.

3.1 Medición de Caudal

Con el fin de medir el caudal de las aguas residuales afluente a la PTAR piloto se procedió a medición del caudal con un cronometro, tubería de ½" y un recipiente de un litro al fin de conocer su caudal. Dentro del tanque de floculación y coagulación se introduce un mezclador mecánico, para la mezcla rápida.

3.2 Propiedades del agua residual de ingreso

Contrastando con las aguas residuales de otras localidades, el agua residual de la ciudad de Guayaquil está en el rango débil, presenta el mismo tipo de contaminantes, aunque tiene características propias debido a la cultura y dieta de los habitantes. La dieta básicamente de las personas de Guayaquil se basa en un alto porcentaje al consumo de carbohidratos.

El agua residual de la para la planta piloto proviene del sistema de alcantarillado sanitario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, que será elevada desde la red hasta la ubicación de la planta piloto.

3.3 Caudal de agua residual entrante

Debido a que Guayaquil es la ciudad más poblada del país, en consecuencia, tiene una mayor necesidad para tratar aguas residuales, si bien existe plantas de tratamiento de aguas residuales no son suficientes para la gran demanda, por lo que la planta tipo CEPT es una alternativa viable para la ciudad.

Los vertidos industriales son pequeños corresponde al 10% y el 90% corresponde al agua residual doméstica, la norma prescribe que las aguas pluviales y sanitarias deben estar separadas. Pero en la construcción en la vida real no llega a la expectativa deseada, esto provoca que exista la unión de aguas sanitarias con aguas lluvia y esto hace que tenga una variación de cantidad y calidad del agua residual a tratar.

3.4 Consideraciones

Las aguas residuales de la ciudad de Guayaquil presentan un mayor exceso de sólidos en suspensión, en primer lugar, seguido por una exuberancia de DBO y DQO. Los métodos de coagulación y floculación exhiben un mejor efecto para excluir dicha fracción de sólidos.

El pH puede ajustar la efectividad de los métodos de coagulación. Así un pH ácido débil, típico de aguas residuales domésticas, presentan condiciones desfavorables para los procesos de coagulación-floculación.

El pH de las aguas residuales se ubica cercano a 8,0. A través de pruebas de laboratorio, se intenta encontrar la dosis correcta de cada coagulante.

En el presente trabajo se ha seleccionado por utilizar dos coagulantes poliméricos de tipo inorgánico. Estos coagulantes muestran una misma forma hidrolizada y el mismo componente de coagulación y de formación de enlaces puente, por lo que se podrían utilizarse conjuntamente. Para comparar la efectividad de los preliminares se ha manejado Cloruro Férrico y Polímero Aniónico para elevar su peso molecular.

Una de las particularidades del cloruro férrico es un coagulante usual que es cómodamente soluble en agua. Muestra una buena precipitación del floculo desarrollado y su efecto mejor en agua con baja temperatura y turbidez.

En el laboratorio de Aguas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se utilizó cloruro férrico líquido a 250 ml de concentración fabricado por la empresa QUIMPAC de la ciudad de Guayaquil.

3.5 Reactivos

Se presenta los criterios aplicados en la selección de los coagulantes para su estudio en el proceso, con cada una de sus propiedades.

3.5.1 Elección del Coagulante

Para que el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado tenga una gran efectividad la selección del coagulante es el principal objetivo para que presente altas eficiencias.

Para este trabajo se ha optado por utilizar coagulante de tipo inorgánico y un polímero aniónico. Estos presentan una misma forma hidrolizada y un mecanismo homogéneo de coagulación y floculación en formación de enlaces puente, por lo que se pueden utilizar conjuntamente. Debido a su gran trayectoria en PTAR de CEPT alrededor del mundo se ha optado en utilizar Cloruro Férrico.

3.5.2 Superioridades del Cloruro Férrico

A continuación, se indican las ventajas que tiene el cloruro férrico como coagulante para procesos de tratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales.

- ▶ Fácilmente soluble en el agua
- ▶ Su efecto es bueno en agua con baja temperatura y turbidez.
- ▶ Tiene una buena precipitación del floculo formado.

3.6 Diseño Empírico

El objetivo principal de un modo experimental en el que consiste en identificar la dosis optima con cada uno de los coagulantes para el agua residual domestica de la ciudad de Guayaquil, con las dosificaciones adecuadas se tratara de eliminar

El objetivo principal de un procedimiento experimental consiste en identificar la dosificación optima de cada uno de los coagulantes para el agua residual domestica de la ciudad de Guayaquil, ya que con las dosificaciones

adecuadas se tratará de eliminar la mayor cantidad de los diferentes contaminantes presentes.

3.7 Procedimiento General Experimental

En el laboratorio de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería, se realizaron ensayos de tratamiento del agua residual utilizando distintos coagulantes y diferentes dosificaciones de estos para eso se ha tomado 6 vasos de 1000 ml de agua residual a tratar y situado en un agitador PHIPPS & BIRD como mostrado en la figura.



Ilustración 17 Máquina para la realización de la prueba de jarras.

Se agitó la muestra durante 0.5 minutos con una velocidad de 220 vueltas/minuto, luego de ello se introdujo, en cada uno de los vasos, las distintas dosis prediseñadas (10, 20, 30, 40, 50,60) mg/l de $FeCl_3$ agitando la mezcla por 30 segundos con la misma velocidad (200 vueltas/minuto) y se mantuvo durante 300 segundos para permitir una buena interacción química de los reactivos y la formación de flóculos. Posteriormente, se detuvo la agitación y se mantuvo en reposo por 600 segundos debidamente.

Así se posibilitó la sedimentación del fango, transcurrido dicho periodo, se separó una fracción del líquido sobrenadante para su análisis.

3.7.1 Ensayo en Blanco

En 6 vasos de 1000 ml, se colocó agua residual tomada de la caja de revisión del bar de la Facultad de Ingeniería con ausencia de los coagulantes, cumpliendo con el procedimiento general antes descrito.

3.7.2 Ensayo con el Reactivo

En cada vaso de 1000 ml de agua residual se añade diferente dosificación de $FeCl_3$ (10, 20, 30, 40, 50,60) mg/l en cada vaso.

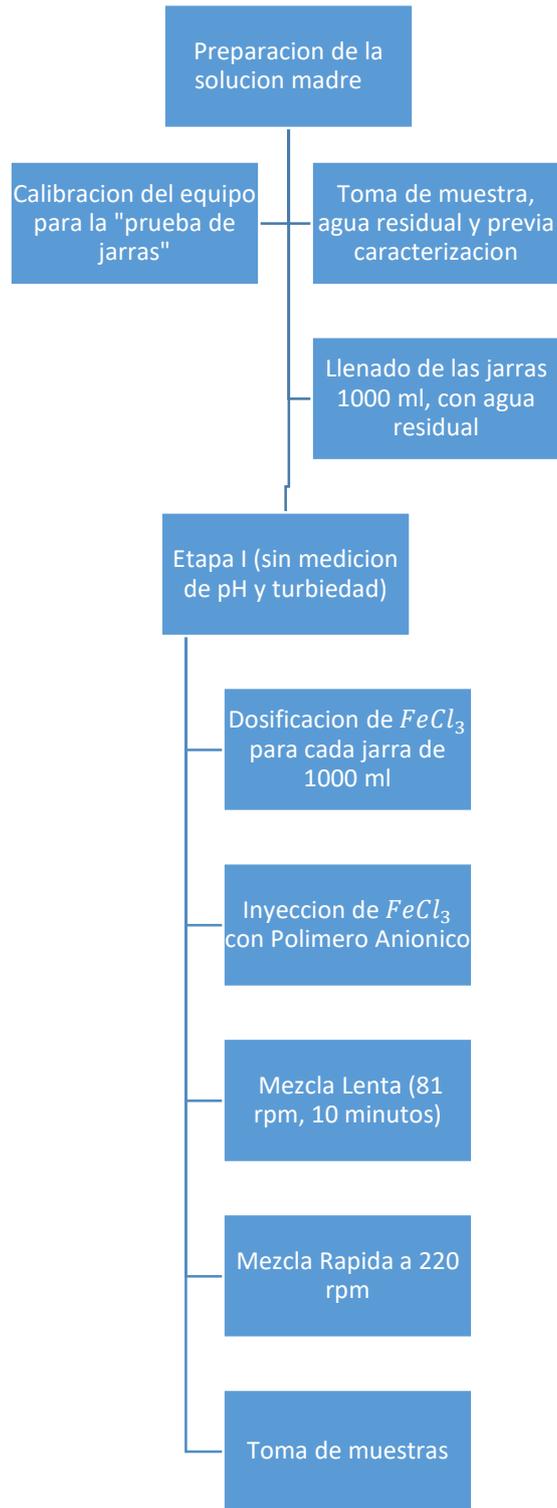


Ilustración 18 Diagrama de flujo de la prueba de jarras.

Tabla 7 Resultados de prueba de jarras.

Dosis mg/l	pH	Turbiedad NTU	Temperatura °C
10	6.41	131,0	24.5
20	6.84	86,0	24.5
30	6.79	83.1	24.2
40	6.70	64.2	24.3
50	6.63	71.6	24.3
60	6.56	48,0	24.4

3.8 Disposición de los Contaminantes

Luego de haber realizado los ensayos de laboratorio se ha extraído una fracción del líquido sobrenadante, en el que se retiró una fracción del líquido y se ha medido los siguientes contaminantes:

- ▶ Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- ▶ Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)
- ▶ Sólidos Suspendidos Totales (SST)

3.8.1 Estudio de DQO

Una vez que se han realizado los ensayos se debe tener cuidado para garantizar las condiciones ambientales adecuadas, para que el desarrollo bacteria existente durante todo el proceso cuente con la suficiente cantidad de oxígeno.

Adicionalmente, se necesita que la población de organismos suficientes en cantidad y en variedad de especies, llamada "Cepa" o "semilla (cultivo heterogéneo de microorganismos aeróbicos que transforman la materia orgánica en CO₂ y H₂O)", durante la realización del ensayo para degradar la materia orgánica. (Navarro, 2007)

▶ Preservación de las Muestras

Una vez recolectadas las muestras se colocaron en refrigeración, en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería, dichas muestras se refrigeraron a 4 °C, hasta el momento de su análisis.

El ensayo de DBO_5 se colocaron las muestras a temperatura ambiente de 20 °C – 25°C.

Para que los resultados no sufran ninguna alteración, los ensayos se los realiza dentro de las 24 horas después de tomar las muestras.

► **Equipos, materiales para realizar el ensayo de DBO_5**

- Botellas color ámbar de 300 ml (15 unidades)
- 5000 ml de agua destilada a 20 °C
- Probeta de 1000 ml (1 unidad)
- Pipetas graduadas de 10 ml (8 unidades)
- Balanza analítica de 3 cifras decimales (1 unidad)
- Incubadora marca “POL-EKO” tipo ST 4+
- Equipo multiparámetro “HQ40D” con sonda “LBOD10101” (sensor de oxígeno disuelto luminiscente (LDO) con sistema agitador integrado)

► **Reactivos**

Para realizar el ensayo se procede a preparar cuatro reactivos, mediante el siguiente procedimiento:

1. Solución Buffer de fosfato.

- Se disuelve 0.85 g de KH_2PO_4 ,
- 2.175 gramos de KH_2PO_4 ,
- 3.34 gramos $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$.
- 0.17 gramos de NH_4Cl

En 500 ml de agua ultra pura y diluir a 100 ml. El pH del buffer preparado debe ser 7.2 sin posteriores ajustes, para tener un intervalo entre 7.1 – 7.3, después de cada preparación verificar el pH de cada preparación. Si existe alguna señal de crecimiento biológico, descartar el reactivo (Navarro, 2007).

2. Preparación de Sulfato de Magnesio

2.25 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ disueltos en agua destilada y se disuelve a 100 ml. Cuando se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo (Navarro, 2007)

3. Preparación de Cloruro de Calcio.

2.75 g de $CaCl_2$ en agua destilada diluyendo a 100 ml. Cuando se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo (Navarro, 2007)

4. Preparación de Cloruro de Hierro (III)

0.025 g de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ en agua destilada y se disuelve a 100 ml. Cuando se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo (Navarro, 2007).

► **Procedimiento**

En la solución de 5000 ml de agua destilada a temperatura de 20 °C, se procede a verter cada una de las soluciones (3.3 ml con ayuda de una pipeta de 10 ml) preparados el 25 de agosto de 2018. Todo este procedimiento se debe realizar de una forma precisa de la pipeta por medio de un manipulador de 3 vías.

Una vez obtenidas las muestras se coloca a una temperatura ambiente de 20-25 °C, como las muestras de este proyecto son de tipo agua residual doméstica se denominan de la siguiente manera (30, 40, 50, 60,70) en el caso del “Blanco 1” se lo envasa hasta el borde con agua destilada en conjunto con los 4 reactivos a 20 ± 3 °C aireando esta mezcla por 2 horas como mínimo con ayuda de una bomba de acuario.



Ilustración 19 Preparación de las muestras de DBO.

Tabla 8 Cuadro de muestras, con sus primeras lecturas.

BLANCO #1		8.97
BLANCO #2	0.1 ml	9.05
BLANCO #3	3 ml	9.01
BLANCO #4	6ml+1	9.03
30 MG	5 ml	9.05
30 MG	10 ml	8.99
40 MG	5 ml	8.94
40 MG	10 ml	9.02
50 MG	5 ml	9.03
50 MG	10 ml	9.03
60 MG	5 ml	9.04
60 MG	10 ml	9.02
70 MG	5 ml	9.05
70 MG	10 ml	9.02
AGUA CRUDA	2 ml	9.04
AGUA CRUDA	5 ml	8.98

Cuando las 16 botellas están preparadas con cada denominación se introdujo a la incubadora de DBO de acuerdo con los parámetros del ensayo de DBO se retirará al quinto día para hallar DBO_5 a una temperatura de 20 °C.

Se procedió a retirar el día 30 de agosto del 2018 las muestras recolectadas el 26 de agosto de 2018.

Una vez que las muestras se retiraron se analizaron las muestras con la ayuda de un equipo multiparámetro "HQ40d" el oxígeno disuelto. Con la formula se calcula el DBO.

$$DBO_5, \frac{mg}{l} = \frac{D1 - D2}{P}$$

Esta fórmula es aplicable cuando la dilución del agua no está con la semilla.

- D1 = Oxígeno disuelto de la muestra inmediatamente diluido después de la preparación, mg/l.
- D2 = Oxígeno disuelto de la muestra luego de pasar 5 días en la incubadora a 20 °C.
- P= Fracción volumétrica decimal de la muestra usada.
- $P = \frac{\text{Volumen de la muestra de agua residual (ml)}}{\text{Volumen del frasco para DBO (ml)}}$

3.8.2 Estudio de DBO

Cuando se recolectan las muestras lo más aconsejable es realizarlo en botellas de plástico estériles, limpias. Para luego mantener en refrigeración hasta el momento de su análisis, cuyo tiempo máximo de vida útil será de 28 días. Antes de su análisis las muestras deben ser agitadas muy bien para su análisis para así tener un compuesto homogéneo y los datos obtenidos sean más representativos.

▶ Equipos y Materiales para el ensayo de DQO.

- Gradilla
- Tirillas de pH
- Tubos para digestión de boro silicato con el reactivo, 10 x 100mm
- Balanza Analítica
- Termo reactor para DQO diseñado para mantener a una temperatura constante de análisis de 150 °C.
- Pipeta para agua destilada
- Matraz de 100 y 500 ml

▶ Reactivos

- Ácido Sulfúrico (solución a 20%)

- Ácido Sulfúrico (95-97% de concentración)
- Solución “Standard de Pitalito Hidrogenado de Potasio (KHP) de 500 mg/l y de 30 mg/l.
- Kit de viales con reactivos HACH en rango de 3-150 mg/l

► **Procedimiento**

Se extrae las muestras para luego empezar con el precalentado previo a esto el digester debe estar precalentado para que las muestras alcancen una temperatura 150 °C.

Cuando las muestras se encuentren homogenizadas (2 minutos), se introduce la pipeta volumétrica para absorber 2 ml de la muestra para colocar en las cubetas donde se encuentra el reactivo para que esté listo para su análisis tomando en cuenta el rango requerido (20-150 mg/L) aplicando todos los parámetros de calidad.

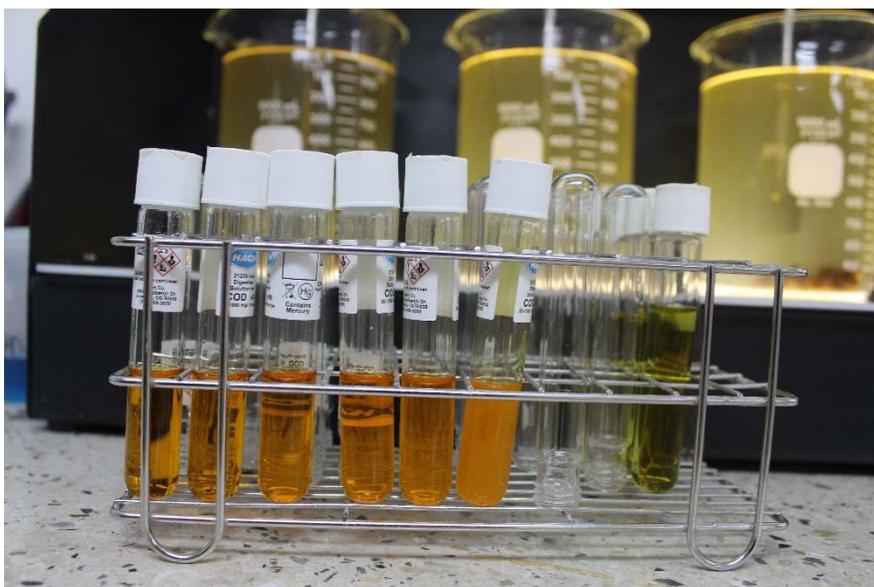


Ilustración 20 Preparación de las muestras para análisis de DQO.

Se agita todos los componentes dentro del tubo, limpiar los tubos para colocarlos en el termo reactor para su análisis a 150 °C por 2 horas (120 minutos). Después que las muestras salen del termo reactor se agita la cubeta por balanceo para que lleguen a temperatura ambiente, tiene un tiempo de enfriamiento de 30 minutos mínimo. Para obtener las lecturas se colocan los viales comenzando con el blanco para encerrar el equipo y seguir los parámetros como describe el instructivo IE-1.6. El equipo emite los resultados en mg/L con una lectura directa.

3.8.3 Estudio de SST

► Equipos y Materiales

- Horno con termómetro
- Balanza analítica
- Capsulas de porcelana debidamente enumeradas
- Filtros de fibra de vidrio
- Probeta de 50 ml

► Procedimiento

Una consideración para realizar esta prueba es que las muestras se encuentren a una temperatura ambiente de 20 °C – 25 °C. Se pesan los filtros de fibra de vidrio para luego colocar en cada una de las capsulas con su respectiva denominación para que no exista confusión. Se agitan las muestras para homogenizar y colocar en la probeta filtrando de acuerdo con cada muestra y a cada filtro se coloca en una máquina de filtración “Millipore” para verter sobre ellas 50 ml de cada muestra.



Ilustración 21 Preparación de las muestras para análisis de SST.

Cuando la maquina finalizo con el proceso de filtración, se retiran los filtros cuidadosamente con una pinza, para colocarlas en cada una de las capsulas e introducir al horno a 103 °C – 105 °C durante 1 hora (60 minutos).

Se retiran las muestras del horno para pesar, nuevamente se ingresa al horno durante 1 hora más y así sucesivamente hasta que el peso sea constante en todas las muestras.

Para calcular los Solidos Suspendidos Totales se aplica la siguiente formula:

$$SST \left(\frac{mg \text{ de solidos totales}}{L} \right) = \frac{(A - B) * 1000000}{Volumen \text{ de muestra, ml}}$$

Donde:

A=Peso final del papel filtro en gramos

B= Peso inicial del papel filtro en gramos

3.9 Construcción de la Planta Piloto

Para la construcción de la planta piloto se tomaron varios factores en cuenta como la ubicación de la planta piloto, esta se ubica en la parte de atrás de la Facultad de Ingeniería en los límites con la Facultad de Arquitectura, ver ilustración 22.

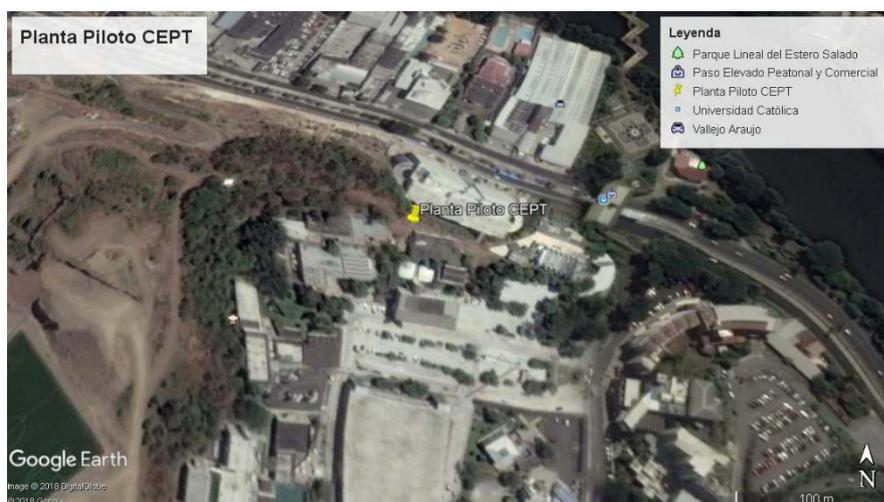


Ilustración 22 Ubicación de la planta piloto.

Fuente: Google Earth

3.10 Construcción del tanque de Coagulación y floculación

La función del primer tanque dentro de nuestra planta piloto es remover recibir el agua residual en este periodo es relativamente corto (± 5 minutos). En este primer tanque se producirá una mezcla rápida, con esto se busca optimizar los procesos de coagulación y floculación para capturar una mayor cantidad de solidos coloidales.



Ilustración 23 Instalación de la planta piloto.

Adicionalmente se instaló un mezclador mecánico rápido para mantener los sólidos en suspensión mientras se forma un floculo.

Las dosis de Cloruro Férrico a utilizar están entre los 30, 40 y 50 mg/l con una inyección de polímero aniónico que va a estar entre (0.15 y 0.30) mg/l.

Para que la coagulación sea exitosa se realiza con base en una mezcla rápida y completa, el Cloruro Férrico es el químico coagulante que se utiliza en esta planta piloto.

Ya que la coagulación por dos mecanismos:

- ▶ Adsorción
Esta desestabilización ocurre dentro de un rango de tiempo de 1 segundo.
- ▶ La coagulación por barrido dura entre 1 a 7 segundos, por lo cual es más lenta.

El grado de mezcla se mide por medio del gradiente hidráulico, siendo “G” a mayor valor de G, la mezcla es más intensa.

$$G = \left(\frac{P}{\mu * V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- ▶ $G = \text{Gradiente Hidraulico (seg}^{-1}\text{)}$
- ▶ $P = \text{Potencia (W)}$
- ▶ $V = \text{Volumen de agua en el tanque de mezcla m}^3$
- ▶ $\mu = \text{Viscosidad (N * } \frac{s}{m^2}\text{) a 27 grados centigrados} = 0.00086 \text{ N * } \frac{s}{m^2}$

Donde la viscosidad absoluta y la viscosidad cinemática del agua son esencialmente la misma.

$$G = \left(\frac{370 \text{ W}}{0.00086 \frac{\text{N} * \text{s}}{\text{m}^2} * 0.06 \text{ m}^3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$G = 2677.78 \text{ sec}^{-1}$$

En este tanque la mezcla rápida se realizará por medio de un mezclador rápido tipo mecánico accionado con dos mariposas sumergidas agilitando la mezcla rápida.

El gradiente hidráulico máximo es de $G = 2677.78 \text{ sec}^{-1}$ el Cloruro Férrico en conjunto con el Polímero aniónico se introducirá en forma conjunta directamente en el sitio del mezclador mecánico.

3.11 Tanques de floculación

Dentro del mismo tanque se llevó a cabo el proceso de mezcla rápida y el de floculación y además para producir una aireación adecuada.

$$\text{Volumen I} = 0.3 * 0.4 * 0.5$$

$$\text{Volumen I} = 0.06 \text{ m}^3$$

$$Q = 0.6 \frac{l}{s}$$

$$Q = 0.0006 \frac{\text{m}^3}{s}$$

$$D.T = \frac{\text{Volumen } l}{Q}$$

$$D.T = \frac{0.06 \text{ m}^3}{0.0006 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$D.T = 100 \text{ s}$$

El tiempo de retención es de 100 segundos (1.67 min)

3.12 Construcción del Clarificador

Por lo general la clarificación se da por la sedimentación gracias a la acción de la fuerza de gravedad.

La sedimentación por gravedad elimina una parte de los Sólidos Suspending Totales (SST), así como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y nutrientes (nitrógeno y fosforo), presentes en el agua residual afluyente.

Con el tratamiento de CEPT aumenta el rendimiento de las unidades de sedimentación primaria. El Cloruro Férrico y el Polímero aniónico aumentan la intensidad de la sedimentación reteniendo una mayor cantidad de sólidos, y permitiendo así emplear una mayor Carga Hidráulica Superficial (CHS).

La coagulación y la floculación, favorecen la agrupación y formación de flóculos de gran tamaño y esto conlleva a un aumento en la remoción de SST, DBO y nutrientes.



Ilustración 24 Clarificador en funcionamiento.

Para la construcción del tanque clarificador de la planta piloto se utilizó un tanque de plástico de 550 litros de capacidad está conectado con un tubo de ½" con el tanque en donde se producirá la mezcla rápida, coagulación y floculación del Cloruro Férrico con el Polímero aniónico.

A través de la tubería llega las aguas residuales mezcladas con el Cloruro Férrico y el Polímero aniónico se depositan en taque clarificador para que se asienten los sólidos totales y tomar las muestras de estos.

3.13 Dosificadores de los Coagulantes y Floculantes

Para la adicción a la mezcla se preparó las soluciones de Cloruro Férrico. El Cloruro Férrico se adquirió a la empresa QUIMPAC la cual en su ficha técnica muestra que la solución está a 250 ml de concentración.

Con la formula siguiente se disminuyó la concentración a (30, 40,50) mg/l con la ayuda de agua destilada:

- ▶ Para 30 mg/l de solución

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ml} * 30 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = C_2 * \frac{250\text{mg}}{\text{l}}$$

$$C_2 = 120 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- ▶ Para 40 mg/l de solución

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ml} * 40 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = C_2 * \frac{250\text{mg}}{\text{l}}$$

$$C_2 = 160 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

- ▶ Para 50 mg/l de solución:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ml} * 50 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = C_2 * \frac{250\text{mg}}{\text{l}}$$

$$C_2 = 200 \frac{mg}{l}$$

Para la inyección del Polímero aniónico se introdujo 0.15 mg/l a la mezcla.

Para la dosificación del Cloruro Férrico se introdujo la solución en un suero previo al cálculo de su aforo.

3.13.1 Calculo de la Dosificación de Cloruro Férrico

Para la dosificación del Cloruro Férrico se introdujo la solución en un suero previo al cálculo de su aforo.



Ilustración 25 Preparación de FeCl3.

$$30 \frac{mg}{l} * \frac{0.2l}{s} * \frac{3600 s}{1 hora} * \frac{1 gr}{1000 mg}$$

$$21.6 \frac{gr}{hora}$$

$$V = \frac{21.6 gr/hora}{1.42 kg/l}$$

$$V = 0.015 \frac{litro}{hora}$$

$$V = 15.21 \frac{ml}{hora}$$

$$\frac{15.21}{45 \text{ min}} = 0.34 \text{ ml/min}$$

$$1.7 \frac{ml}{5 \text{ min}}$$

$$11.40 \frac{ml}{45 \text{ min}}$$

$$x = \frac{1 \text{ litro} * 1 \text{ hora}}{0.015 \text{ litros}}$$

$$x = 66.7 \text{ horas}$$

$$Q = 0.2 \frac{l}{s}$$

$$TRH = 5 \text{ minutos}$$

$$V = Q * TRH$$

$$V = 0.2 \frac{l}{s} * 300 \text{ s}$$

$$V = 60 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen del Tanque} = 42 \text{ litros}$$

3.13.2 Calculo del TRH conocidos el volumen y el Caudal

$$V = Q * TRH$$

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

$$TRH = \frac{42 \text{ litros}}{0.2 \frac{\text{litros}}{s}}$$

$$TRH = 210 \text{ segundos}$$

$$TRH = 3.5 \text{ minutos}$$

3.13.3 Cálculo del Clarificador

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

$$TRH = \frac{550 \text{ litros}}{0.2 \text{ litros/s}}$$

$$TRH = 2750 \text{ segundos}$$

$$TRH = 45.83 \text{ minutos}$$

4 CAPÍTULO IV: Análisis de resultados.

4.1 Interpretación

Para una explicación sobre los resultados se elaboró una gráfica de barras para comparar los parámetros analizados y emitir una respuesta favorable.

Tabla 9 Resultados del agua residual de Guayaquil.

Descripción	DBO (mgO ₂ /l)	DQO (mgO ₂ /l)	SST (mg/l)	pH	Turbidez (ntu)
Agua residual (Agua Cruda)	287	738.55	78	8.02	1000

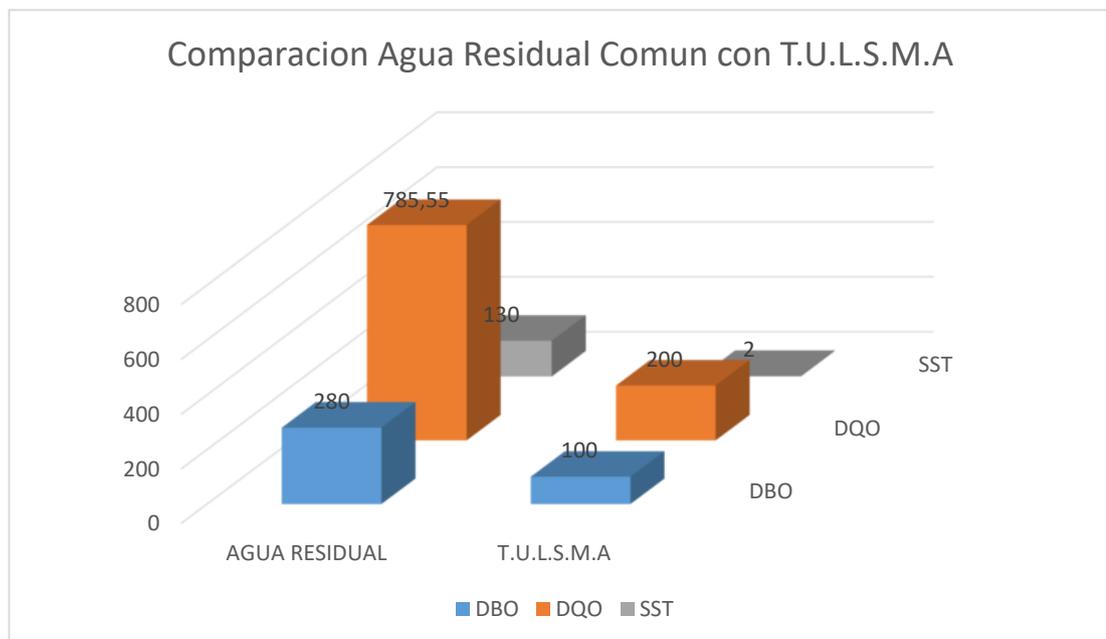


Ilustración 26 Comparación de Norma con agua residual de Guayaquil.

Se observa que existe una diferencia en el DQO y DBO sobre el agua residual de Guayaquil respecto a la exigencia de la norma "TULSMA". En conclusión, no cumple con la exigencia para la descarga a un cuerpo de agua, previo a un sistema de tratamiento de agua residual.

4.2 Prueba de Jarras

Para una simulación sobre la dosificación a utilizar en la planta piloto se realizó una prueba de jarras a 220 rpm. La primera el 11 de agosto de 2018 y la segunda el 25 de agosto de 2018 con diferentes dosificaciones de Cloruro Férrico con Polímero aniónico.

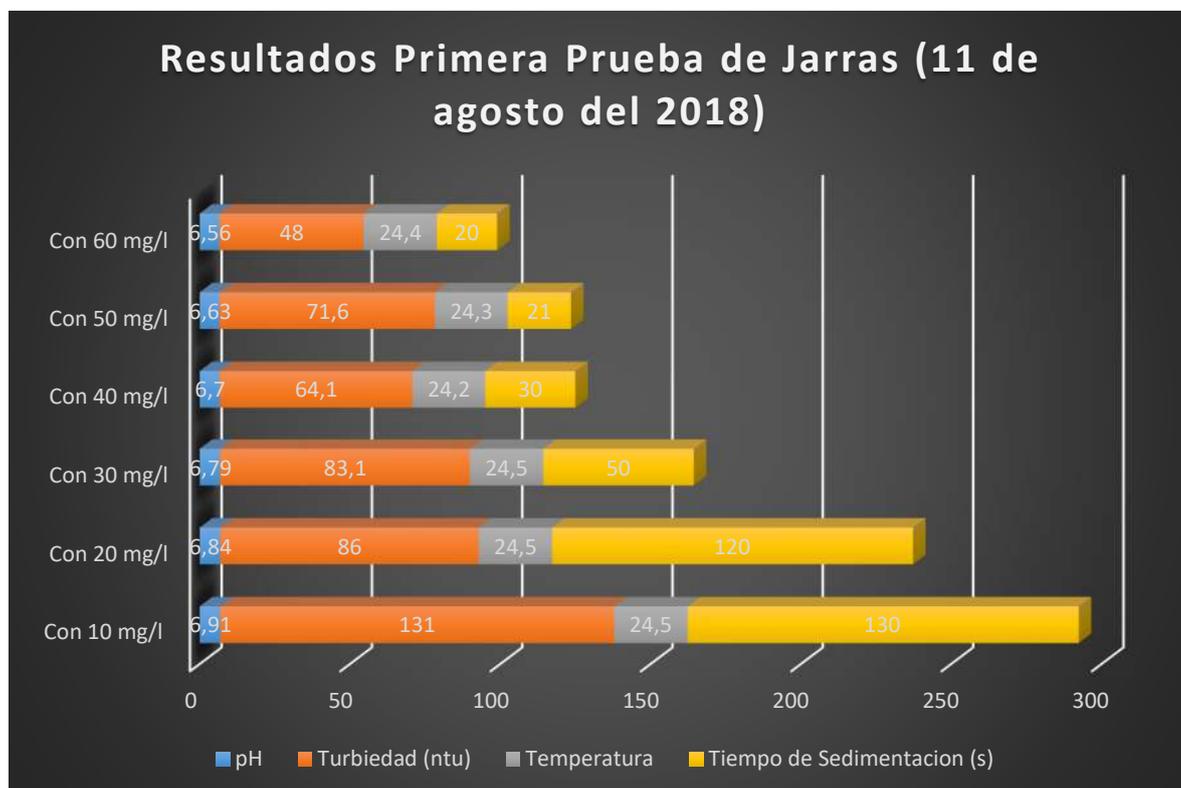


Ilustración 27 Resultados primera prueba de jarras.

Tabla 10 Resultados primera prueba de jarras.

Dosificación	pH	Turbiedad (ntu)	Temperatura	Tiempo de Sedimentación (s)
Con 10 mg/l FeCl₃	6,91	131	24,5	130
Con 20 mg/l FeCl₃	6,84	86	24,5	120
Con 30 mg/l FeCl₃	6,79	83,1	24,5	50
Con 40 mg/l FeCl₃	6,7	64,1	24,2	30
Con 50 mg/l FeCl₃	6,63	71,6	24,3	21
Con 60 mg/l FeCl₃	6,56	48	24,4	20

Se puede observar con las pruebas de laboratorio que existe una disminución del pH y la turbiedad con la adicción de los coagulantes (Cloruro Férrico) y del

Floculante (Polímero Aniónico). Los resultados muestran una eficiencia satisfactoria. Los tiempos de sedimentación óptimos.

Para que la investigación sea más fructífera se ensayó con dos 2 muestras de (70 – 80) mg/l de Cloruro Férrico FeCl₃ con 1 ml de polímero.

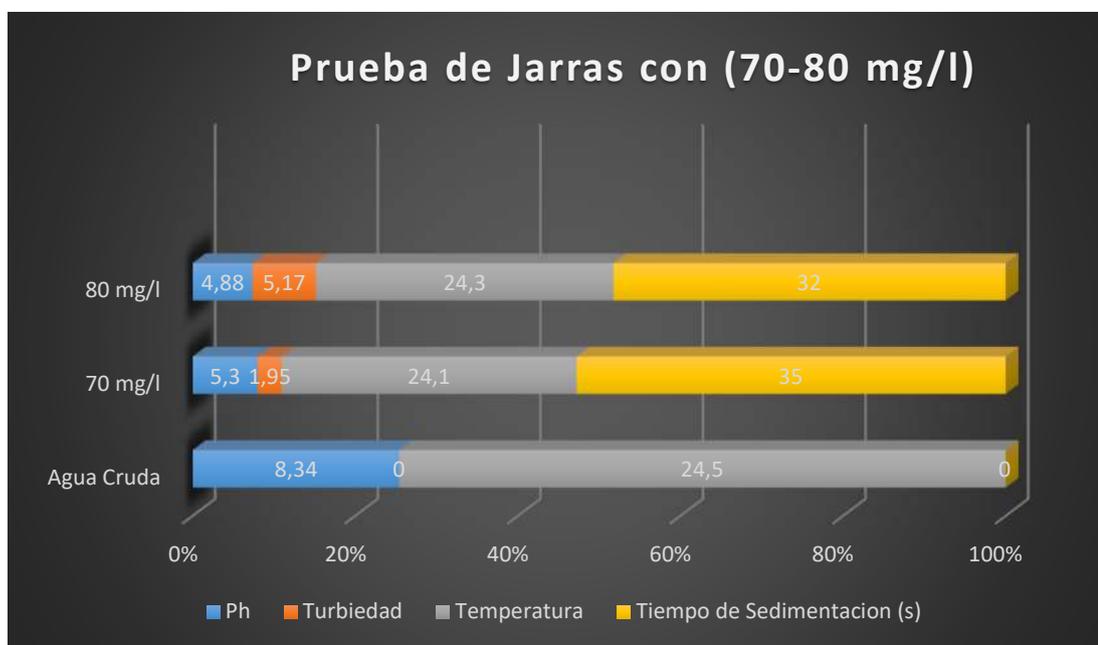


Ilustración 28 Prueba de jarras con (70-80 mg/l).

EL pH disminuyó significativamente, lo mismo la turbiedad el agua después de su sedimentación salió sin color como se muestra en la fotografía. Los flocs fueron de mayor tamaño (ver anexos). Rendimiento extraordinario.

4.3 Resultados Planta Piloto

Con los resultados obtenidos anteriormente se procedió a iniciar las pruebas en la planta por temas de eficiencia y economía se procedió a ensayar con (30-40-50) mg/l de Cloruro Férrico FeCl₃ y 1 ml de Polímero Aniónico.

Tabla 11 Comparación de resultados.

Dosificación	DBO mgO ₂ /l	DQO mgO ₂ /l	SST mg/l	pH	Turbiedad ntu
Con 30 mg/l	117	228,96	49	7,52	45,4
Con 40 mg/l	118	233,19	38	7,41	41,2
Con 50 mg/l	110.10	219,05	27	7,02	29

El agua que se trató (Ilustración 20) tiene altos niveles de DBO, DQO y SST con el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado los niveles se redujeron significativamente comprobando su eficiencia satisfactoria y así cumpliendo con las normas Ambientales.

4.4 Análisis disminución de DBO

Como indica la (Ilustración 28) la disminución del DBO es gracias al coagulante utilizado (Cloruro Férrico) con ayuda del Polímero Aniónico. Cuando se aumenta la dosis del coagulante el DBO decrece, pero en el caso de la dosis de 40 mg/l no existe problema de sobredosificación, la causa es en gran parte porque depende de los procesos de absorción y barrido. Por lo que si se aumenta el coagulante la superficie total se incrementa produciendo así una mayor disminución de DBO.

4.5 Análisis disminución de DQO

La (Ilustración 28) el DQO también viene relacionado con la utilización del coagulante y floculante ya que estos ayudaron a que sus valores disminuyan y estén dentro de las normas ambientales.

Con la muestra de 40 mg/l de Cloruro Férrico con 1 ml de Polímero Aniónico se observa que no existe una diferencia notable mostrando que existe una dosificación óptima. Puede ser el caso que exista problema con la sobredosificación que puede resultar desfavorable en la eliminación del contaminante. La causa puede ser al fenómeno llamado como “Re-estabilización” esta sucede cuando existe una sobredosis de coagulante con floculante, el coloide se vuelve estable y no puede eliminarse. Por eso se puede observar que aumentando la dosis a 50 mg/l de Cloruro Férrico se rentabiliza y supera esta etapa por lo cual sigue con la eliminación del DQO. Esto presenta un mayor gasto de coagulante y un mayor gasto económico.

4.6 Análisis Disminución de SST

Como en los anteriores análisis (Ilustración 28) la disminución de los Solidos Suspendidos Totales tiene una rebaja no tan significativa tiene un efecto de “Re-estabilización” no muy notable.

Con la ayuda de los coagulantes y floculantes se tiene una disminución excelente inclusive con dosificaciones menores un dato muy importante ya que con estos valores de disminución se cumple con las normas Ambientales Vigentes.

4.7 Eficiencia del Coagulante Cloruro Férrico ($FeCl_3$)

Con la ayuda de este coagulante se obtiene una gran eficiencia en la eliminación de DBO, DQO y SST. Inclusive con dosis bajas su eficiencia es muy alta y satisfactoria con una eficiencia de 78% en remoción de DBO, 68% en remoción de DQO y 38 % disminuyendo SST.

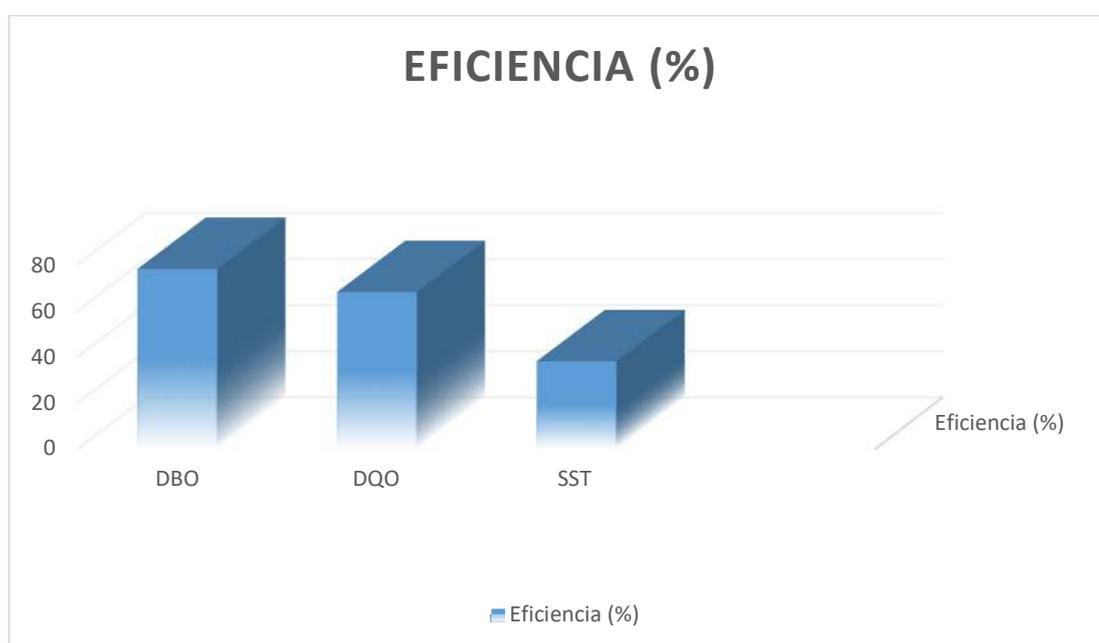


Ilustración 29 Eficiencia $FeCl_3$.

4.8 Dosificación Óptima

En temas económicos y ambientales con los resultados mostrados anteriormente se seleccionó la dosis óptima tanto del coagulante como del floculante, a continuación, se muestra la dosis adecuada con los resultados en remoción de DBO, DQO y SST.

Tabla 12 Dosificación óptima de cloruro férrico y polímero.

Coagulante Cloruro Férrico	Polímero Aniónico	Tasa de Eliminación		
		DBO	DQO	SST
30 mg/l	1 ml	78%	68%	38%

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El Tratamiento Primario Químicamente Mejorado permite resultados óptimos con inversiones muy bajas de productos químicos.
- Con la aplicación del Tratamiento Primario Químicamente Mejorado el nivel de remoción depende de la dosificación del agente coagulante con el floculante.
- Tanto la utilización del Cloruro Férrico con el Polímero Aniónico para facilitar la coagulación y la floculación presentan una efectividad alta para el tratamiento de agua residual produciendo un floculo más grande facilitando la sedimentación en menos tiempo.
- El Cloruro Férrico en conjunto con el Polímero Aniónico permiten una eliminación óptima de DBO, DQO y SST. Para el DBO depende de su dosificación. Para la DQO tiene un efecto de rentabilización.
- La utilización del Cloruro Férrico puede provocar un cambio de color en el agua residual, color característico del Cloruro Férrico.
- La utilización de polímeros como ayudante para la floculación está relacionado a sus dosis para una efectividad adecuada.
- Los tiempos de sedimentación a mayores dosis son más cortos.
- La Carga Hidráulica Superficial se incrementa debido a su rápida velocidad de sedimentación.
- El proceso de coagulación es ampliamente utilizado ya que elimina gran cantidad de sustancias con un menor costo en referencia a otros métodos de tratamiento.
- El Cloruro Férrico con el Polímero Aniónico disminuyen el pH y la turbiedad en aguas residuales significativamente.
- Se tiene tomar en cuenta los parámetros como el pH, temperatura y la turbiedad influyen ampliamente en el proceso de coagulación y esto depende la desestabilización de las partículas cuando el coagulante y el floculante entran en contacto con el agua residual.

- La floculación está controlada por los parámetros como la gradiente de velocidad, volumen de lodos, densidad, tiempo de retención y tamaño del floc.
- El tamaño del floc depende de la dosis de coagulante y floculante.

5.2 Recomendaciones

- Tener cuidado con los químicos coagulantes a utilizar ya que son contaminantes y corrosivos.
- Utilizar el equipo de protección personal para evitar accidentes al momento de tratar con aguas residuales ya que contiene bacterias y virus perjudiciales para la salud.
- Un análisis de precios para la construcción de la planta, adicional limpieza y mantenimiento para que siga en funcionamiento.
- Capacitación para la preparación de muestras de DBO, DQO y SST para realizar el análisis en el laboratorio.
- Investigación bibliográfica de fuentes confiables ejemplo de grandes editoriales.

REFERENCIAS

- Bloor, D. M., & Wyn-Jones, E. (2013). *Structure, Dynamics and Equilibrium Properties of Colloidal Systems*. Dordrecht: Springer Netherlands. Recuperado de <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3566386>
- Cardenas, I. Y. A. (2000, abril). *Tratamiento de Agua Coagulación y Floculación*. SEDAPAL.
- Comision Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operacion y Mantenimiento de Aguas Residuales Municipales Tratamiento y Disposicion de Lodos. (Manual) (p. 342)*. Mexico: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gomez Puentes, N. A. (2005). *Remocion de Materia Organica por Coagulación y Floculación (Investigación)*. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Manizales.
- Haydar, S., & Aziz, J. A. (2009). Characterization and treatability studies of tannery wastewater using chemically enhanced primary treatment (CEPT)—A case study of Saddiq Leather Works. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2-3), 1076-1083. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.074>
- International Gothenburg Symposium, Hahn, H. H., Hoffmann, E., & Ødegaard, H. (2000). *Chemical water and wastewater treatment VI: proceedings of the 9th Gothenburg Symposium 2000, October 02-04, 2000, Istanbul, Turkey*. Berlin; New York: Springer. Recuperado de <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3094209>
- Memoria_Diseño_Planta_280116.pdf. (s. f.).
- Palomino Escobar, A. L. (2016). *Estado del Arte del Tratamiento Primario de Aguas Residuales Mejorado Químicamente - TPMQ*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.

- Peng Fei, Z. (2013). Estudio y Propuesta de Mejora del proceso de depuración de la EDAR de Zhongyuan (China) (Investigación). Universidad Politécnica de Valencia, GANDIA.
- Santacruz Figueroa, L. S. (2018). EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS. (Investigación). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Sharma, S. K., & Sanghi, R. (Eds.). (2012). Advances in water treatment and pollution prevention. Dordrecht ; New York: Springer.
- Shirafkan, A., Nowee, S. M., Ramezani, N., & Etemadi, M. M. (2016). Hybrid coagulation/ozonation treatment of pharmaceutical wastewater using ferric chloride, polyaluminum chloride and ozone. International Journal of Environmental Science and Technology, 13(6), 1443-1452. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-0965-8>
- Surface and colloid chemistry in natural waters and water treatment. (2013). Place of publication not identified: Springer-Verlag New York.
- Tadros, T. F. (Ed.). (2013). Encyclopedia of colloid and interface science. Heidelberg: Springer Reference.
- Tobar Olave, C. J. (2011). EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE CLORURO FÉRRICO PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA AFLUENTE A LA PTAR-CAÑAVERALEJO (Investigación). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Wang, L. K., Hung, Y.-T., & Shammas, N. K. (Eds.). (2005). Physicochemical treatment processes. Totowa, N.J: Humana Press.

ANEXOS

ANEXO 1:

TABLA.

Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

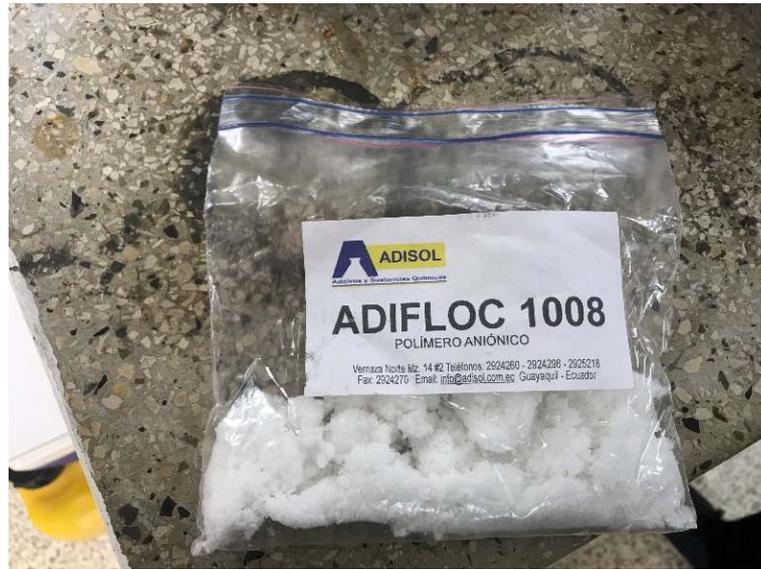
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Ilustración 30 Tabla 10 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

FUENTE: Anexo 1 Libro TULSMA Acuerdo 097-A Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes al Recurso de Agua

ANEXO 2: Registro fotográfico.



Fotografía 1. Presentación Comercial del Polímero Aniónico



Fotografía 2. HQ40D Portable Multi Meter marca "HATCH"



Fotografía 3. Caja de revisión, aguas residuales-Planta Piloto



Fotografía 4. Bomba marca "PEDROLLO"- succión de agua residual-Planta Piloto



Fotografía 5. Medición de pH agua residual domestica



Fotografía 6. Medición de pH agua residual domestica día 2-Planta Piloto



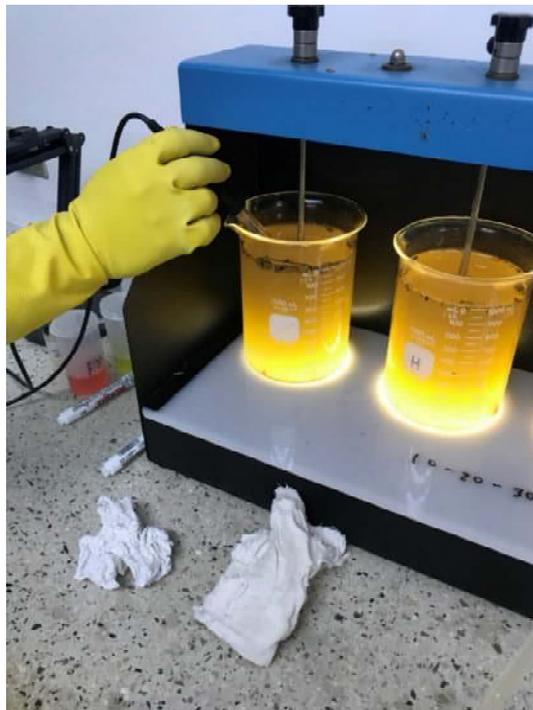
Fotografía 7. Muestra de Agua Residual Domestica para análisis y pruebas



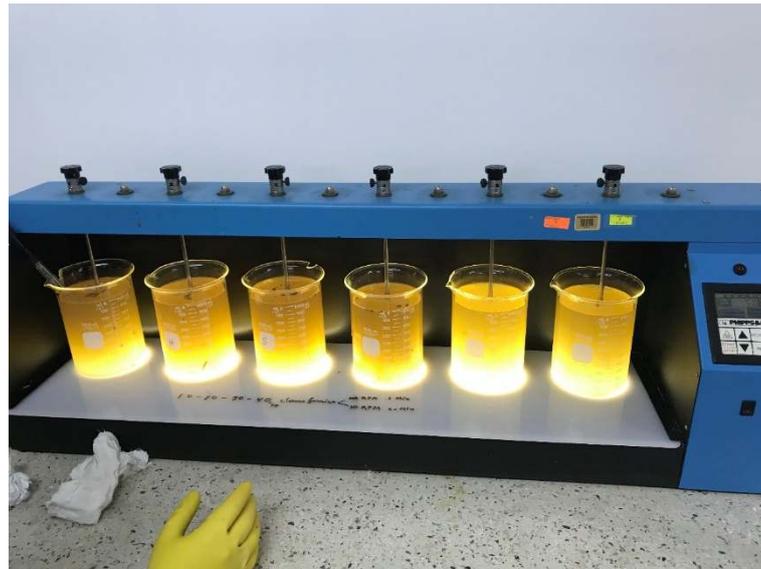
Fotografía 8. Preparación para "Prueba de Jarras"



Fotografía 9. Prueba de Jarras en Proceso



Fotografía 10. Toma de resultados "Prueba de Jarras" (11/08/2018)



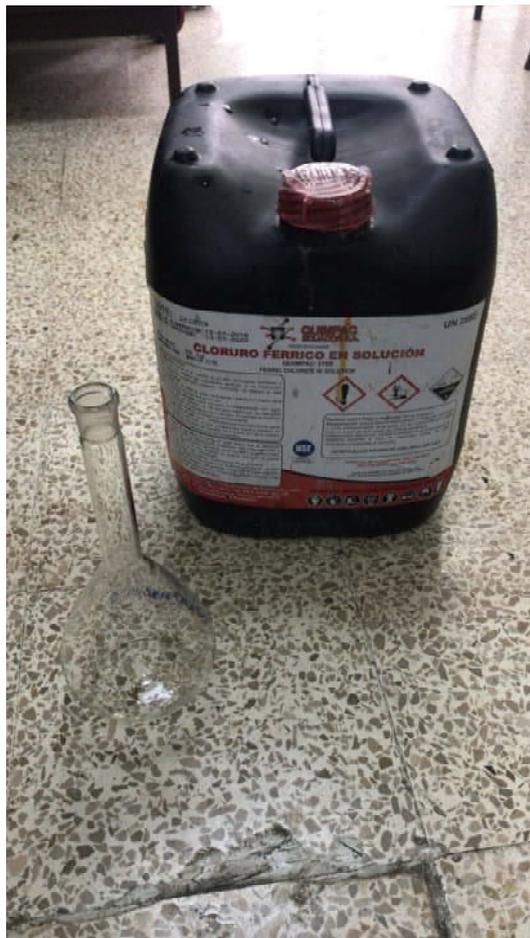
Fotografía 12. Tiempo de sedimentación en cada jarra



Fotografía 11. Resultados prueba de Jarras



Fotografía 13. Medición de Turbidez



Fotografía 14. Cloruro Férrico FeCl_3 presentación comercial, empresa "QUIMPAC"



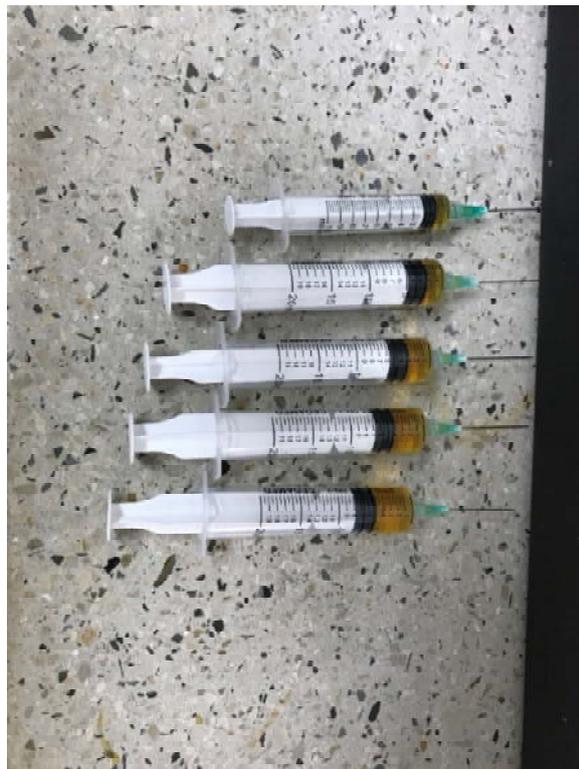
Fotografía 16. Elaboración del Cloruro Férrico para cada dosis



Fotografía 15. Cloruro Férrico



Fotografía 18. Toma de Dosis de Cloruro Férrico



Fotografía 17. Dosis listas de Cloruro Férrico



Fotografía 20. Preparación del Polímero Aniónico.



Fotografía 19. Colocación del Polímero Aniónico en cada una de las Jarras con su dosis adecuada.



Fotografía 22. Jarra #1. Dosis de 10 mg/l de FeCl_3 con 1 ml de Polímero Aniónico



Fotografía 21. Jarra #2. Dosis de 20 mg/l de FeCl_3 con 1 ml de Polímero Aniónico



Fotografía 24. Jarra #3. Dosis de 30 mg/l de FeCl_3 con 1 ml de Polímero Aniónico



Fotografía 23. Jarra #4. Dosis de 40 mg/l de FeCl_3 con 1 ml de Polímero Aniónico



Fotografía 26. Jarra #5. Dosis de 50 mg/l de FeCl_3 con 1 ml de Polímero Aniónico



Fotografía 25. Jarra #6. Dosis de 60 mg/l de FeCl_3 con 1 ml de Polímero Aniónico



Fotografía 28. Tiempo de sedimentación de cada una de las jarras



Fotografía 27. Jarra #6 con mayor grado de eficiencia en la formación de flocs y tiempo de sedimentación.



Fotografía 30. Jarra #3, con resultados más óptimos en tema económico y ambiental.



Fotografía 29. Montaje de la planta piloto



Fotografía 32. Tanque de Mezcla Rápida, Tanque de Coagulación, Tanque de Floculación y Tanque Clarificador.



Fotografía 31. Tanque Mezcla Rápida, Tanque de Coagulación



Fotografía 34. Cloruro Férrico y Polímero Aniónico para la Planta Piloto



Fotografía 33. Ajuste de las dosificaciones de Cloruro Férrico



Fotografía 36. Eficiencia de la Bomba para la Planta Piloto



Fotografía 35. Bomba para la Planta Piloto



Fotografía 38. Instalación de la Bomba-parte 1



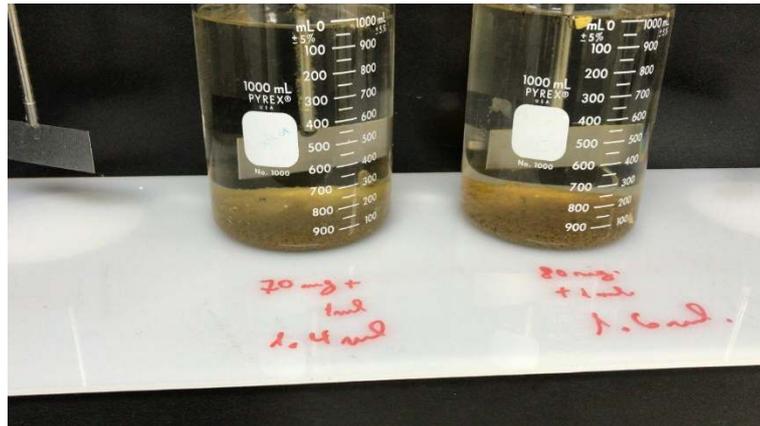
Fotografía 37. Instalación de la Bomba-parte 2



Fotografía 40. Funcionamiento del Tanque de Mezcla rápida con 30 mg/l de Cloruro Férrico adicional con 1 ml de Polímero Aniónico.



Fotografía 39. Tanque de Mezcla Rápida con 50 mg/l de Cloruro Férrico con 1 ml de Polímero Aniónico.



Fotografía 41. Beneficios del Cloruro Férrico en dosis de 70-80 mg/l. Elimina la Turbidez en el agua.



Fotografía 42. Agua Residual Tratada. Tanque Clarificador



YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL

Representante Legal: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL
Ciudadela Ciudad Del Río, manzana 965, villa 12, Guayaquil Guayas, Tel. 0987666966
Atención: Ing. Miguel Yanez

Guayaquil, 4 DE SEPTIEMBRE DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 27/08/18 11:00 Guayaquil - Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras: 27/08/18 14:28
Punto e identificación de la Muestra: Agua cruda
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: ---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Sólidos Suspendidos Totales	78	mg/l	10	PEE-GQM-FQ-06	29/08/18 NS

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	466,00	mgO2/l	22,37	PEE-GQM-FQ-05	28/08/18 L5
Demanda Química de Oxígeno	738,55	mgO2/l	91,14	PEE-GQM-FQ-16	28/08/18 L5

SIMBOLOGÍA:

---- No. Aplica
< LD Menor al Límite Detectable
N.E. No Efectuado
U K=2 Incertidumbre
E.P.A. Environmental Protection Agency
S.M. Standard Methods
L.M.P. Límite Máximo Permissible
P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo

NOMENCLATURA:

- [1] Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- [2] Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluado Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- [3] Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- [4] Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec

Q.F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

Fotografía 43. Resultados Grupo Químico Marcos "Agua Residual Domestica"



YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL
Representante Legal: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL
Ciudadela Ciudad Del Rio, manzana 905, villa 12, Guayaquil Guayas, Tel. 0987666966
Atención: Ing. Miguel Yanez

Guayaquil, 4 DE SEPTIEMBRE DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 27/08/18 11:00 Guayaquil - Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras: 27/08/18 14:28
Punto e Identificación de la Muestra: CEPT - 30 mg
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: ---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K+2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Sólidos Suspendidos Totales	49	mg/l	6	PEE-GQM-FQ-06	29/08/18 NS

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K+2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	117,00	mgO ₂ /l	5,62	PEE-GQM-FQ-05	28/08/18 LS
Demanda Química de Oxígeno	228,96	mgO ₂ /l	28,25	PEE-GQM-FQ-16	28/08/18 LS

SIMBOLOGÍA:

--- No. Aplica
< LD Menor al Límite Detectable
N.E. No Efectuado
U K+2 Incertidumbre
E.P.A. Environmental Protection Agency
S.M. Standard Methods
L.M.P. Límite Máximo Permisible
P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo

NOMENCLATURA:

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evolutiva Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q. F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.



YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL

Representante Legal: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL

Ciudad de la Ciudad del Río, manzana 965, vlls 12, Guayaquil Guayas, Tel. 0987666866

Atención: Ing. Miguel Yanez

Guayaquil, 4 DE SEPTIEMBRE DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 27/08/18 13:00 Guayaquil - Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras: 27/08/18 14:28
Punto e Identificación de la Muestra: CEPT - 40 mg
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL / Cliente / Simple
Duración de Muestreo: ---
Coordenadas Geográficas: ---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Sólidos Suspendidos Totales	38	mg/l	5	PEE-GQM-FQ-06	29/08/18 NS

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	118,80	mgO2/l	5,70	PEE-GQM-FQ-05	28/08/18 LS
Demanda Química de Oxígeno	233,19	mgO2/l	28,78	PEE-GQM-FQ-16	28/08/18 LS

SIMBOLOGÍA:

--- No Aplica
 < LD Menor al Límite Detectable
 N.E. No Efectuado
 U K=2 Incertidumbre
 E.P.A. Environmental Protection Agency
 S.M. Standard Methods
 L.M.P. Límite Máximo Permisible
 P.E.E. Procedimiento Especifico de Ensayo

NOMENCLATURA:

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec

[Firma]
Q. F. FERNANDO MARCOS V.
 Director Técnico

[Firma]
Q.F. LAURA YANQUI M.
 Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas. PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.



YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL

Representante legal: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL
Ciudadela Ciudad Del Rio, manzana 965, villa 12, Guayaquil Guayas, Tel. 0987666966
Atención: Ing. Miguel Yanez

Guayaquil, 4 DE SEPTIEMBRE DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 27/08/18 11:00 Guayaquil - Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Fecha/Hora Recepción Muestras: 27/08/18 14:28
Punto e Identificación de la Muestra: CEPT - 50 mg
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: YANEZ VELOZ MIGUEL ANGEL / Cliente / Simple
Duración de Muestreo: ---
Coordenadas Geográficas: ---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: OBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Sólidos Suspensos Totales	27	mg/l	3	PEE-GOM-FQ-06	29/08/18 NS

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	110,10	mgO2/l	5,28	PEE-GOM-FQ-05	28/08/18 LS
Demanda Química de Oxígeno	219,05	mgO2/l	27,03	PEE-GOM-FQ-16	28/08/18 LS

SIMBOLOGÍA:

---- No Aplica
< LD Menor al Límite Detectable
N.E. No Efectuado

U K=2 Incertidumbre
E.P.A. Environmental Protection Agency
S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible
P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo

NOMENCLATURA:

- [1] Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- [2] Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- [3] Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- [4] Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec

[Firma]
Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

[Firma]
Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Yáñez Veloz, Miguel Ángel**, con C.C: # 0202509766 autor/a del trabajo de titulación: **Evaluación de la eficiencia del sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary Treatment), para aguas residuales de** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **13 de septiembre de 2018**

f. _____

Nombre: **Yáñez Veloz, Miguel Ángel**

C.C: **0202509766**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Evaluación de la Eficiencia del Sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary Treatment), para aguas residuales de Guayaquil.		
AUTOR(ES)	Miguel Ángel Yáñez Veloz		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	José Ernesto Vasconez Gavilánez		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de septiembre de 2018	No. DE PÁGINAS:	122
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ambiental, hidráulica y sanitaria.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Tratamiento, cloruro, polímero, eficiencias, laboratorio, Parámetros, Remoción, Coagulación, floculación.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El presente trabajo de titulación se realizó con el fin de evaluar la eficiencia del tratamiento primario químicamente mejorado (CEPT), para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Guayaquil, determinar el grado de eficiencia en la remoción de diversos parámetros físicos y químicos del agua residual tratada y evaluar si los niveles del efluente de la planta piloto están dentro de los límites aceptados de la norma técnica Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental (TULSMA) establecido por el Ministerio de ambiente del Ecuador.</p> <p>Mediante la prueba de jarras se encuentra la dosificación óptima del coagulante cloruro férrico (FeCl₃), con diferentes dosificaciones para evaluar su eficiencia en remoción de contaminantes, para determinar la dosificación que se ajuste a los requerimientos técnicos y económicos.</p> <p>La construcción de una planta piloto constó de un equipo de bombeo para llevar las aguas servidas domésticas desde red de alcantarillado de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, instalaciones de dosificación del cloruro férrico y polímero, dos tanques: tanque mezcla rápida, coagulación-floculación, un segundo tanque para clarificación.</p> <p>Con la calibración de caudales para operar la planta piloto CEPT a flujo continuo. En esta circunstancia se procedió a la toma de muestras para realizar mediciones y proceder a la comparación con las eficiencias obtenidas en las pruebas de jarras.</p> <p>Se tabularon los resultados para analizar y establecer la mejor dosificación respecto a la remoción de los tres parámetros analizados y costos de cada uno de ellos por metro cúbico tratado.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO02	
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593-987666966	E-mail: miguel.yanez@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4 -2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			