



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

**DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO**

Alfredo Benigno Coyoy Nimatuj

Asesorado por el Ing. Jaime Domingo Carranza González

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALFREDO BENIGNO COYOY NIMATUJ

ASESORADO POR EL ING. JAIME DOMINGO CARRANZA GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Rosa María Girón Ruiz
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Calderón García
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 3 de noviembre de 2008



Alfredo Benigno Coyoy Nimatuj



Guatemala, 15 de febrero de 2012


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director de Escuela de
Ingeniería Química
Ciudad Universitaria
Guatemala.

Apreciable ingeniero Álvarez:

Por este medio me dirijo a usted atentamente, para informarle que he tenido a la vista el Informe Final de Trabajo de Graduación del alumno **ALFREDO BENIGNO COYOY NIMATUJ**, con carné No. **1981-11802**, titulado "**DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO**", el cual lo he encontrado interesante y satisfactorio, por lo que recomiendo que el Informe Final de Trabajo de Graduación sea aprobado.

Sin otro particular me suscribo de usted, atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


M.Sc. Ing. Qco. Jaime Domingo Carranza González
ASESOR
Profesor titular III
No. de colegiado 440
No. de registro de personal 16606

Jaime D. Carranza G.
ING. QUÍMICO
COL. NO. 440



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

Guatemala, 16 de marzo de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.011.2012

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-271-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Alfredo Benigno Coyoy Nimatuj**

Identificado con número de carné: **1981-11802**

Previo a optar al título de INGENIERO QUÍMICO.

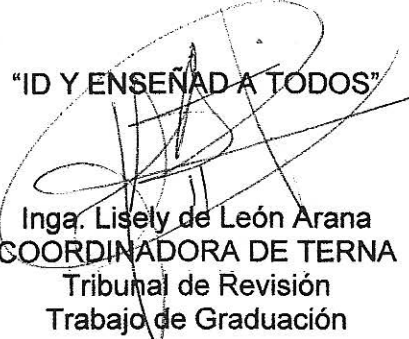
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero: **Jaime Carranza González**.

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Lisely de León Arana
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



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

Ref.EIQ.TG.166.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ALFREDO BENIGNO COYOY NIMATUJ** titulado: "**DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, junio 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG: 437 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO Y MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO**, presentado por el estudiante universitario **Alfredo Benigno Coyoy Nimatuj**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 21 de junio de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente de bendición y sabiduría concedida.
La Virgen María	Intermediaria de bendiciones y protectora con su manto maternal.
Mis padres	Ángel Coyoy Cojulúm (q.e.p.d.) y Carmelina Nimatuj López de Coyoy (q.e.p.d.), que gocen de la presencia de Dios y por su amor y sabiduría en educarme.
Mis hermanos	Aura Florinda (q.e.p.d.) y Gabriel Armando Coyoy Nimatuj (q.e.p.d.) por su amor, amistad y apoyo en una parte de mi vida.
Mi hermana	Eluvia Esperanza Coyoy de de León por su apoyo en mis estudios universitarios.
Mi bella Xelajú	Tierra que me vio nacer y de niño jugar en sus calles bañadas por su luna de plata.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Alma mater a la cual representaré dignamente.
Guatemala	Mi eterna primavera la cual deseo conservarla siempre.

AGRADECIMIENTO A:

Facultad de Ingeniería	Por mi formación universitaria.
Familia de León Coyoy	Por su cariño, amistad y apoyo.
Mis tíos y tías	Por su cariño y apoyo: Basilio (q.e.p.d.), Moisés (q.e.p.d.), Mercedes (q.e.p.d.) y Lorenza Nimatuj López.
Familia Rodas Orozco	Por su amistad.
Mis escuelas	Por su enseñanza y educación: Párvulos: Jesús Rodas, Primaria: Esteban Figueroa, Nivel Medio: INVO y ENCOD y Universitaria: Escuela de Ingeniería Química.
Mi medio ambiente	Por su belleza y vida. Contaminación ambiental un problema desafiante que no podemos esquivar, hay que enfrentarlo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Ambiente	5
2.1.1. Ambiente lítico	5
2.1.2. Ambiente hídrico	6
2.1.3. Ambiente atmosférico	6
2.1.4. Ambiente biosférico	7
2.2. Tratamiento de efluentes	7
2.2.1. Pretratamiento	7
2.2.2. Tratamiento primario	8
2.2.3. Tratamiento secundario	9
2.2.4. Tratamiento terciario	9
2.2.5. Tratamiento de lodos	9
2.3. Proceso del galvanizado del tubo	9
2.3.1. Desengrasado	10
2.3.2. Enjuague básico	11
2.3.3. Limpieza con ácido (picklado)	11

2.3.4.	Enjuague ácido uno	11
2.3.5.	Enjuague ácido dos	12
2.3.6.	Baño protector (preflux)	12
2.3.7.	Galvanizado	12
2.3.8.	Diagrama de bloques proceso de galvanizado de tubo	13
2.4.	Planta de tratamiento de desechos ácidos	15
2.4.1.	Neutralización	16
2.4.2.	Coagulación-floculación	17
2.4.3.	Oxidación, sedimentación y filtración	17
2.4.4.	Disposición final de lodos	18
2.4.5.	Ubicación del terreno para la planta de tratamiento de aguas residuales ácidas	18
2.4.6.	Diagrama de bloques proceso tratamiento de aguas residuales ácidas	19
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	21
3.1.	Proceso de neutralización	21
3.2.	Proceso de oxidación	23
3.3.	Sedimentación	25
3.4.	Filtración	25
3.5.	Disposición de lodos	27
3.6.	Reuso de agua tratada	27
3.7.	Recursos físicos	27
3.8.	Recursos humanos	28
3.8.1.	Obra civil y mecánico eléctrico	29
3.8.2.	Operación y mantenimiento de la planta	29
3.8.3.	Diagrama de bloques desecho ácido y diagrama de bloques perfil hidráulico	30

4.	RESULTADOS	33
4.1.	Diseños	33
4.1.1.	Plano del terreno	33
4.1.2.	Bosquejo de la planta de tratamiento de aguas residuales ácidas	33
4.1.3.	Diseño del reactor neutralizador (TR)	34
4.1.4.	Diseño tanque coagulante-floculante (TCF)	34
4.1.5.	Diseño tanque de lechada (TL)	34
4.1.6.	Diseño tanque de sedimentación (TS)	34
4.1.7.	Diseño filtro de arena (FA)	35
4.1.8.	Diseño tanque de agua (TA)	35
4.1.9.	Diseño planta de conjunto	35
4.1.10.	Planos de planta de tratamiento de aguas residuales ácidas, elevaciones y dibujo de planta en 3D	35
4.2.	Reacciones en el reactor	49
4.2.1.	Neutralización	49
4.2.2.	Coagulación-floculación	49
4.2.3.	Oxidación	50
4.3.	Sedimentación	50
4.4.	Filtración	51
4.5.	Disposición de lodos	52
4.6.	Reuso de agua tratada	52
4.7.	Tubos, tubería, válvulas, accesorios y equipo	52
4.7.1.	Tubos y tuberías	52
4.7.2.	Válvulas	53
4.7.3.	Accesorios	53
4.7.4.	Equipo	53

4.8.	Manual de operación y mantenimiento de la planta	53
4.8.1.	Operación Inicial	54
4.8.2.	Tratamiento del efluente	54
4.8.3.	Mantenimiento	59
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		63
BIBLIOGRAFÍA		65
APÉNDICE		67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de bloques proceso galvanizado de tubo.....	14
2.	Diagrama de bloques proceso tratamiento de aguas residuales ácidas.....	19
3.	Diagrama de bloques desecho ácido.....	30
4.	Diagrama de bloques perfil hidráulico.....	31
5.	Plano del terreno.....	36
6.	Bosquejo de la plantas.....	37
7.	Diseño tanque reactor (TR).....	38
8.	Diseño tanques coagulante-floculante y lechada (TCF Y TL).....	39
9.	Diseño tanque de sedimentación (TS).....	40
10.	Diseño filtro de arena (FA).....	41
11.	Diseño tanque de agua (TA).....	42
12.	Diseño planta de conjunto.....	43
13.	Perfil hidráulico norte.....	44
14.	Perfil hidráulico este.....	45
15.	Perfil hidráulico sur.....	46
16.	Perfil hidráulico oeste.....	47
17.	Perfil hidráulico noroeste.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
B1	Bomba centrífuga
BA	Compresor
FA	Filtro de arena
FP	Filtro prensa
TA	Tanque de agua
TL	Tanque de lechada
TFC	Tanque floculante coagulante
TR	Tanque reactor
TS	Tanque sedimentador

GLOSARIO

Ácido	Sustancia que libera iones hidrógeno (H^+) cuando se disuelve en agua.
Aguas residuales	Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Base	Sustancia que libera iones hidróxido (OH^-) cuando se disuelve en agua.
Coloide	Dispersión de partículas de una sustancia (la fase dispersa) en un medio dispersante de otra sustancia.
Cuerpo receptor	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descarga aguas residuales.
Efluente de aguas residuales	Las aguas residuales descargadas por un ente generador.
Hidrólisis salina	Reacción de anión o el catión, o ambos, de una sal con agua.

Límite máximo permisible	El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.
Lodos	Los sólidos con un contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales.
Muestra	La parte representativa, a analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos.
pH	Logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno.
Reuso	El aprovechamiento de un efluente, tratado o no.
Tratamiento de aguas residuales	Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación trata sobre el diseño del proceso y elaboración de un Manual de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales ácidas de una industria de galvanizado de tubo; para reusar el agua tratada dentro de las instalaciones, desecho líquido ácido que viene del área de limpieza del tubo que se prepara para el galvanizado. El terreno tiene un área mínima de 70 m², los diseños básicos de obra civil y mecánico-eléctrico son: tanque reactor (TR), tanque coagulante-floculante (TCF), tanque de lechada (TL), tanque sedimentador (TS), filtro de arena (FA) y tanque de agua (TA).

La planta tiene el equipo siguiente: dos bombas centrífugas (B1 Y B2), un compresor (BA), un motor eléctrico para el agitador y un filtro prensa (FP) para eliminar los sólidos totales de 15 a 20 pasos. El tratamiento del efluente es por lotes de 10 m³ cada tres días como mínimo, las características son: pH = 1.0, 100-110 g/L como hierro elemental, 50-70 g/L ácido clorhídrico, con temperatura ambiental de 25 °C aproximadamente.

El proceso es el siguiente: proceso de neutralización con cal hidratada en forma de lechada, coagulación-floculación con sulfato de aluminio en solución, proceso de oxidación por inyección de aire, sedimentación y filtración. El producto agua limpia no potable tiene las características siguientes: pH = (6.5-7.5) y 6 ppm de hierro. Se desecha al cuerpo receptor o el agua se reusa y se hace pasar el agua en un filtro prensa. Los lodos del filtro de arena son depositados en un relleno sanitario no contiene material radioactivo.

El Manual de operación y mantenimiento contiene pasos básicos para el tratamiento de un lote y que el mantenimiento de la planta sea preventivo como correctivo.

OBJETIVOS

General

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales ácidas de una industria de galvanizado, para reusar el agua de una industria de galvanizado, que cumpla las características del agua según Acuerdo Gubernativo 236-2006 o sea equivalente a la constitución normal del agua, permisible de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.

Específicos

1. Diseñar el proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales ácidas de una industria de galvanizado.
2. Diseñar hidráulicamente el tratamiento de desecho líquido ácido de una industria de galvanizado, en el diseño procesos de neutralización, oxidación, sedimentación y filtración para remover el hierro, zinc y sólidos del desecho líquido ácido proveniente del galvanizado.
3. Elaborar un Manual de operación y mantenimiento para una planta de tratamiento de aguas residuales ácidas.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de graduación presenta el diseño del proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales ácidas proveniente de una industria de galvanizado de tubo y su Manual de operación y mantenimiento, para prevenir el impacto adverso al ambiente y así mantener el equilibrio ecológico, aprovechando racionalmente el agua y evitando su degradación para prevenir y controlar la contaminación de ríos, lagos y mares.

El efluente que sale del área de limpieza y preparación del tubo para el galvanizado, tiene una temperatura de 29 °C, que se enfría al ambiente en el reactor. Para el efluente el diseño de la planta contempla pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento terciario y disposición final de lodos.

Referente al pretratamiento, significa que la separación de sólidos de tamaño considerables, por medio de rejas para proteger el equipo de la planta de tratamiento, especialmente bombas, válvulas, tubería y aireadores.

Mientras que el tratamiento primario; neutralización del ácido con cal hidratada y agitación, coagulación y/o floculación de partículas o coloides, oxidación de hierro por inyección de aire y agitación, sedimentación de partículas previo al filtrado.

En cuanto al tratamiento terciario, se dice que filtración por medio de un filtro de arena y grava, filtración por medio de un filtro prensa.

Disposición final de lodos, después de tres días de exposición al ambiente del efluente en el filtro de arena, los lodos formados son removidos por personal municipal y trasladados a un relleno sanitario. El agua filtrada en el filtro de arena se almacena en un depósito para su reuso dentro de las instalaciones de la planta.

Reuso o descarga de agua tratada, describe que para reusar el agua, el agua almacenada se hace pasar en un filtro prensa, para eliminar al máximo los sólidos totales y almacenarla en su respectivo depósito evitando así las incrustaciones en los diferentes equipos de la planta.

El agua obtenida es agua limpia con las características siguientes; se detalla de la siguiente manera pH = 6.5-7.5 y 6 ppm o mg/L de hierro, el agua normal tiene un pH = 7.0 con lo cual el rango es aceptable y el valor de 6 ppm o mg/L es el valor permitido para descargar a cuerpos receptores según CONAMA 1997. El Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en su artículo 20, no especifica valores para el hierro a descargar, la temperatura del agua es la del ambiente 25 °C. El agua no es potable, por lo cual es exclusivo para uso industrial o se descarga al cuerpo receptor.

1. ANTECEDENTES

En 1963 la Inga. Química María Lillian Paiz R. hizo su trabajo de tesis titulado: Acondicionamiento de agua para uso industrial, métodos y tratamiento, allí hace mención que, en condiciones reductoras el hierro se presenta en estado ferroso siendo relativamente soluble, en agua, pero por exposición al aire se oxida a estado férrico y puede llegar a precipitarse.

La eliminación del hierro se efectúa por aireación seguido por coagulación y filtración. Un método de aireación es el burbujeado a través de la masa de agua, que se conoce con el nombre de difusión de aire. La difusión de aire va acompañada por el bombeo del aire dentro de la masa a través de tuberías perforadas, cribas o platos perforados.

En su trabajo explica que cuando hay partículas finas de baja densidad, el uso de coagulantes se hace necesario para aumentar el tamaño de ellas y producir una sedimentación rápida. Los compuestos químicos más usados en la coagulación son: sulfato de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico, sulfato férrico. Recomendó el uso de procedimientos mecánicos para la mezcla del coagulante; argumento también que la filtración en el tratamiento de aguas industriales es complemento.

El tratamiento de sedimentación y coagulación es necesario hacerlo previamente para lograr una mejor filtración. Indica que los valores bajos de pH pueden ser neutralizados por el uso de un álcali.

En 1997 la doctora Milta Retana de Rodríguez, en unas separatas titulada: Decisiones empresariales respecto a la implementación de una planta de tratamiento de aguas de desecho, hizo un análisis de varias industrias que provocan desechos contaminantes al ambiente, con respecto al tipo de industria del acero refiere. El origen del efluente: escoria y soluciones de picklado, características del efluente: bajo pH, ácidos fenoles, carbón, alcalinos, aceites, sólidos suspendidos, tratamiento recomendado: neutralización, separación y coagulación química.

En 1999 la Inga. Química Xiomara Noemí Cortez Jiménez realizó su tesis titulado: Estudio comparativo del comportamiento de los agentes alcalinos: cal hidratada y cal dolomítica; en la neutralización del agua ácida residual proveniente de un proceso de galvanizado, hace mención del proceso de tratamiento: neutralización, coagulación, oxidación y filtrado, centró su tema en el uso de la cal hidratada como la mejor elección para la neutralización del ácido residual, tanto por rendimiento como por lo económico y que el mercado lo surte.

En 2004 la Inga Química Mirna Beatriz Ramírez Valdivieso presentó su trabajo de graduación titulado: Caracterización, propuesta de tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria galvanizadora de tubería por inmersión en caliente. Explica básicamente el tratamiento: floculación, precipitación química, oxidación química, cloración, neutralización o corrección del pH, manifestó que la neutralización del ácido se hace con cal y la utilización de un floculante, el ácido presente en el efluente es el ácido sulfúrico H_2SO_4 .

En su proceso con respecto al tratamiento de lodos formados en un sedimentador vertical, son enviados a un filtro prensa con el objeto de deshidratarlos, los lodos no son peligrosos y serán dispuestos finalmente en una fosa construida como relleno para el desecho de los lodos.

2. MARCO TEÓRICO

Para el reuso del agua dentro de las instalaciones, que será usada en la etapa de limpieza del tubo y en la preparación de la lechada y del floculante-coagulante, la normativa a cumplir es la que la misma industria requiere, pero para descargar el efluente a cualquier cuerpo receptor, como la disposición de lodos, se debe de cumplir el Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

2.1. Ambiente

Se describen las distintas formas que el ambiente es contaminado por fenómenos físicos y químicos o por la acción del hombre.

2.1.1. Ambiente lítico

La contaminación del suelo por materias extrañas como basura, desechos tóxicos, desechos químicos y desechos industriales, produce un desequilibrio físico, químico y biológico que afectan negativamente a las plantas, animales y humanos, la información generada constituye una herramienta valiosa para la formulación del problema o diseño de investigación; el análisis de materiales líticos, la dinámica general del ambiente específico bajo estudio y sus posibles efectos sobre el conjunto lítico, los procesos que modifican las rocas, así como los registros de materiales de esos procesos, los que son necesarios para que los pasos de estudio sean adecuados.

En el caso del sistema lacustre, el agua y el viento son los que generan cambios, estos conllevan cambios físicos y químicos.

2.1.2. Ambiente hídrico

La eutrofización tiene su origen en causas naturales y artificiales, la eutrofización natural es lenta e irreversible cuyas causas pueden ser la misma masa de agua o causas externas. La eutrofización artificial o cultural es debido a la acción del hombre y es un proceso que se puede invertir al cesar las causas del origen.

Cuanto mayor sea la eutrofización mayor será la demanda de oxígeno disuelto, el establecimiento de medidas de control de la eutrofización está en función de la finalidad que se desea usar el agua. No se requiere la misma calidad del agua para consumo humano que para riego.

La contaminación del agua por microorganismos, productos químicos, residuos industriales o aguas residuales, deterioran la calidad del agua.

2.1.3. Ambiente atmosférico

La contaminación del aire por gases tóxicos, contaminación ambiental de grandes ciudades, con el humo de los cigarrillos y el de los escapes de los autos, el efecto del aire respirado, en un proceso silencioso de años, conduce finalmente a afecciones cardiovasculares, como el infarto.

El aire es un elemento indispensable para la vida y su utilización debe de preservar su pureza, que no perturbe el normal desarrollo de los seres vivos en la tierra, ni atente contra el patrimonio cultural y artístico de la humanidad.

El aire es un bien común limitado, su utilización o disfrute debe de estar supeditado a los intereses de la comunidad y no de intereses particulares.

2.1.4. Ambiente biosférico

La naturaleza tiene su propia dinámica, la tierra es un planeta vivo y el hombre debe de aprender esta dinámica, evitando romper el equilibrio natural, la naturaleza traza sus propios caminos y el hombre debe de resguardarlos. Las ciudades se expanden generando grandes y graves desequilibrios en el medio ambiente biosférico, el hombre provoca alteraciones, los efectos a corto, mediano y largo plazo son desastrosos, la naturaleza regresa las cosas a su sitio imperceptiblemente o a veces violenta.

El cambio climático global incrementa con frecuencia la duración e intensidad de las situaciones extremas, tales como sequías e inundaciones relacionados con los fenómenos de la Niña y el Niño.

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes grados de tratamiento dependiendo del nivel de purificación que se desee. Es tradición hablar de tratamiento primario, secundario, terciario, pero es difícil establecer una frontera entre ellos.

2.2. Tratamiento de efluentes

Se describen los distintos tratamientos que se hacen al efluente para reconstruir la calidad del agua, una calidad aceptable pero no potable.

2.2.1. Pretratamiento

El sistema de pretratamiento es una estructura auxiliar que debe de preceder a cualquier sistema de tratamiento. Esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo las aguas. Se considera como pretratamiento y acondicionamiento previos en la planta, a unidades como: desarenadores y sedimentadores. El desarenado se refiere a remoción de partículas superiores a 0.2 mm.

La eliminación de sólidos grandes puede ser eliminada por mallas o rejillas instaladas a la entrada de la planta de tratamiento. El uso de trituradores para reducir el tamaño de partículas grandes de materia orgánica a fin de mejorar el tratamiento en la siguiente etapa.

2.2.2. Tratamiento primario

Conocido como tratamiento mecánico, se pretende eliminar la materia en suspensión sedimentables; aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos, para lo cual se emplean decantadores donde se sedimenta por acción de la gravedad una parte de los contaminantes, si se optimiza con reactivos pasa a ser un proceso físico-químico. También se incluye en este proceso la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles.

El propósito del tratamiento primario, es producir una solución homogénea capaz de ser tratada biológicamente y unos lodos o fangos que pueden ser tratados separadamente.

2.2.3. Tratamiento secundario

Degradar el contenido biológico que provienen de la basura humana, basura de comidas, jabones y detergentes, eliminar las partículas coloidales y similares, puede incluir procesos biológicos como químicos. El más habitual es el proceso biológico en que las bacterias aerobias digieren la materia orgánica.

Las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.

2.2.4. Tratamiento terciario

Proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente a la normativa interna de la industria, normar municipales, leyes nacionales o internacionales. Si la desinfección se practica en el proceso final, es siempre llamada pulir el efluente, más de un proceso terciario de tratamiento se puede usar en la planta de tratamiento.

2.2.5. Tratamiento de lodos

Los sólidos primarios gruesos y los bio sólidos secundarios acumulados en un proceso de tratamiento de aguas residuales se deben de transportar de una manera segura y eficaz. Las opciones comunes del tratamiento incluyen la digestión anaerobia, la digestión aerobia y el abonamiento.

Los procesos para reducir el contenido de agua incluyen lagunas en camas de sequía para producir una torta que puede ser aplicado a la tierra o incinerado. Hay preocupación por la incineración debido a la contaminación del

aire, junto con el alto costo del combustible a utilizar, haciendo este medio menos atractivo.

2.3. Proceso de galvanizado del tubo

El tubo llega a la planta de galvanizado, transportado en camiones procedente de la planta central donde el tubo es confeccionado, llega negro, engrasado y totalmente sucio con tierra, arena, viruta de hierro o polvo, empacada en ramilletes de un cuarto de tonelada métrica, amarradas con cadenas de hierro.

El hierro es almacenado poco tiempo a un máximo de 24 horas dentro de las instalaciones en un apartado como bodega, antes de empezar el proceso de galvanizado.

Las pilas de las soluciones tienen las medidas de: 11 m de largo, 1 m de ancho por 1.40 m de alto. Los ramilletes de tubos son trasladados a las pilas por una grúa con poleas que se desliza por arriba de las pilas y es monitoreado por una persona por medio de controles eléctricos.

2.3.1. Desengrasado

En esta etapa el tubo es sumergido en una pila por un tiempo de 20 minutos, para ser limpiado con una solución que tiene como base hidróxido de sodio NaOH y otros componentes, pero su formulación está reservada por la empresa que proporciona la soda, datos de la solución de soda: concentración 12.00 onzas/gal para una limpieza óptima, pH = 13, temperatura 68.9 °C. En esta etapa el tubo queda limpio de grasa, tierra, arena y polvos. Listo para la siguiente etapa.

2.3.2. Enjuague básico

Para esta etapa se utiliza agua limpia proveniente de la cañería de las aguas municipales, el tubo es sumergido en una pila con agua fresca por un tiempo de 20 minutos, para limpiar la soda que lleva el tubo y prepararla para la limpieza con ácido. El agua al final es básica $\text{pH} = 9$.

2.3.3. Limpieza con ácido (picklado)

El tubo es sumergido en una pila con ácido clorhídrico HCl , el ácido proviene del mercado local a una máxima concentración de 33 %, conocido también como ácido muriático, la preparación de la solución es de 50 % en volumen de ácido por 50 % en volumen de agua, como resultado se obtiene una solución ácido a 17.5 % de ácido, el tiempo en que el tubo permanece en la pila es de 20 minutos, la solución está a una temperatura de $29.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a un $\text{pH} = 1$. En esta etapa el tubo queda totalmente limpio, la solución ácida queda con hierro en solución, hierro en suspensión y virutas de hierro, uno de los objetivos de esta etapa es que los poros del hierro queden expuestos para una mejor galvanización.

2.3.4. Enjuague ácido uno

El tubo es sumergido en una pila con agua fresca proveniente de la cañería municipal, por un tiempo de 20 minutos para quitar el ácido que viene del picklado. El agua de esta pila al final es ácida $\text{pH} = 2$.

2.3.5. Enjuague ácido dos

El tubo es sumergido en una pila con agua fresca, por un tiempo de 5 minutos, para limpiar el ácido que traería el tubo de la etapa anterior, el agua se vuelve ácida pH = 5, uno de los objetivos de esta etapa es preparar el tubo para la capa protectora.

2.3.6. Baño protector (preflux)

El tubo totalmente limpio es sumergido en la pila en una solución que tiene como base amonio, y otros químicos, de formulación reservada por la empresa que proporciona el reactivo, la solución está a una temperatura de 81 °C, a una concentración de 34 °Be, a un pH = 4.86, el objetivo principal de esta etapa es proporcionar una capa protectora al tubo para que no se oxide por efecto del ambiente por un tiempo máximo de 24 horas.

2.3.7. Galvanizado

La paila contiene básicamente zinc líquido, con un 2 % de aluminio que se utiliza para abrillantar el tubo, el zinc líquido se encuentra a una temperatura de 460 °C. El tubo entra a la paila uno por uno y es sumergido de un lado y sale del otro, por medio de anillos que soportan al tubo y rotan dentro de la paila, el tubo permanece dentro de la paila por un tiempo de 7 segundos, al salir el tubo este se seca rápidamente por la diferencia de temperatura entre el ambiente 30 °C y el de la paila que es de 460 °C.

El tubo ya galvanizado pasa al soplado que es inyección de aire a alta presión para extraer los remanentes de galvanizado que contiene el tubo en su interior, los remanentes de galvanizado caen a la paila para su uso.

Los tubos ya galvanizados son empacados y transportados en camiones a la planta central.

2.3.8. Diagrama de bloques proceso de galvanizado de tubo

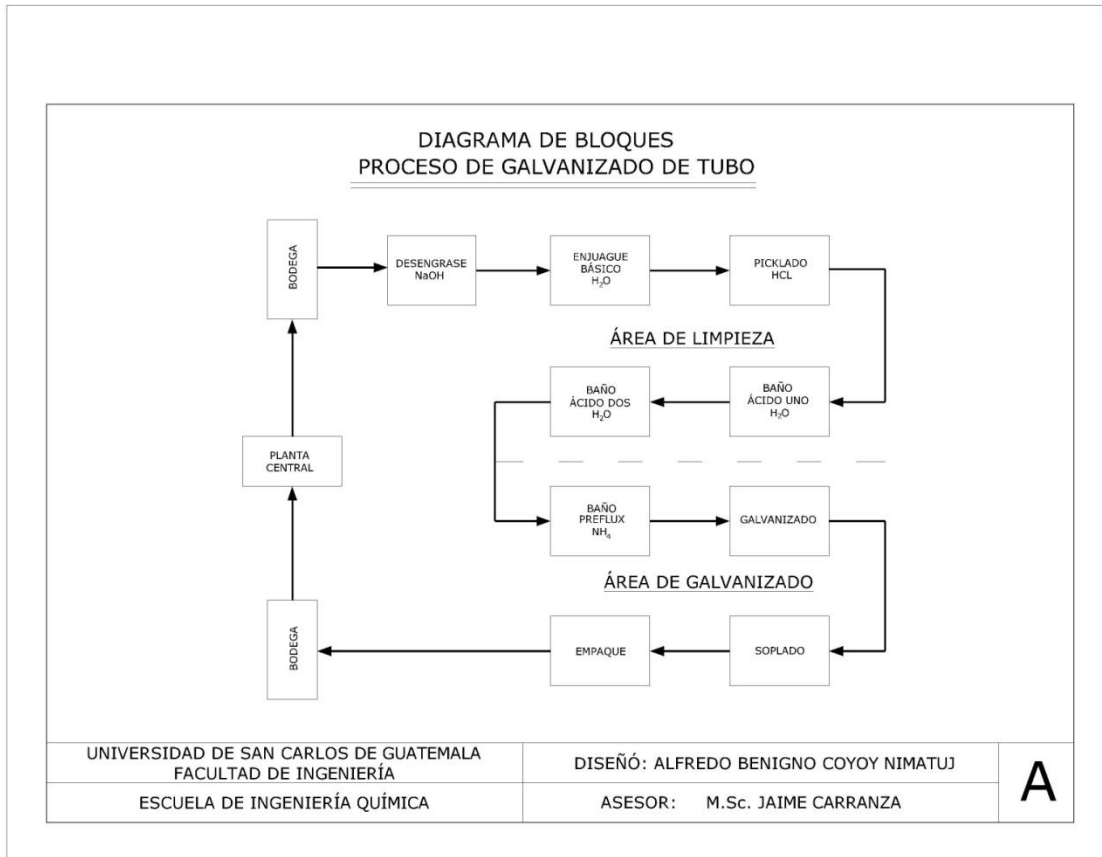
Por medio de un diagrama de bloques se describen las distintas etapas del proceso de galvanizado que se dividen en dos áreas una de limpieza y otra de galvanizado.

En la primera área se limpia y se prepara el tubo que se va a galvanizar una etapa básica es el picklado que en una pila se sumerge los tubos en ácido clorhídrico al 17.5 %.

La segunda etapa propiamente el galvanizado pero antes se sumergen los tubos en un baño de preflux que básicamente es amoniaco (NH_4). Que da una protección al tubo para que no se oxide por 24 horas.

Estas dos áreas se encuentran en la misma planta una a continuación de la otra.

Figura 1. **Diagrama de bloques proceso galvanizado de tubo**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

2.4. Planta de tratamiento de desechos ácidos

La presencia de sustancias o materiales ajenos al agua, provocan cambios físicos, químicos y biológicos, que son perjudiciales al hombre, a la flora y a la fauna. Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad, se han encontrado alcantarillados en lugares prehistóricos de Creta y ciudades asirias, desagües construidos por los romanos son utilizados en la actualidad.

En el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si los desechos humanos se eliminaran por los desagües para su rápida desaparición. La contaminación del ambiente se inicia desde los primeros intentos de industrialización, para transformarse en un problema generalizado, a partir de la revolución industrial, iniciada a principios del siglo XIX. En el siglo XX algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios.

Los procesos industriales requieren grandes volúmenes de agua para la transformación de las materias primas, siendo los efluentes de dichos procesos, vertidos con desechos contaminantes en los cauces naturales de agua como: ríos, lagos, lagunas, manglares, pantanos, manantial, humedal, estuario, estero, aguas costeras y aguas subterráneas.

Aún cuando la tecnología ha logrado reducir el volumen y el tipo de contaminante vertido a los cauces naturales de agua, no ha ocurrido en la forma ni en la cantidad necesaria para que el problema de la contaminación del agua esté resuelto. Esta contaminación es causante de daños en los organismos vivos del medio acuático y un peligro para la salud de las personas y animales.

Las descargas de ácido residual son discontinuas, en un tiempo promedio de 3 días, que es lo que se tarda en llenar el reactor que se encuentra enterrado y abierto al ambiente, por diferencia de alturas el ácido residual fluye al reactor por medio de un vertedero. La muestra a tratar es de 10 m³ de agua residual ácida, que proviene de la limpieza del tubo que se prepara para el galvanizado.

Del área de limpieza a una temperatura de 29 °C sale el efluente, que luego se enfría al ambiente, donde hay un intercambio de calor con el medio que esta a una temperatura de 25 °C, el efluente pierde calor por un gradiente de temperatura, la temperatura del ácido residual en el reactor es la misma temperatura que la del ambiente.

2.4.1. Neutralización

Las agua residuales a tratar tienen las características siguientes; pH = 1.0 que es un ácido, 100-110 g/L como hierro (Fe⁺² y/o Fe⁺³) elemental, 50-70 g/L ácido clorhídrico, y se encuentra a una temperatura igual al ambiente de 25 °C, otros contaminantes en menor cantidad son los sólidos suspendidos, sólidos disueltos, zinc e hidrocarburos.

La neutralización de las aguas residuales se realizará con cal hidratada, en forma de lechada, ya que la cal hidratada es un producto que se encuentra en el mercado y es de bajo costo, el transporte de la cal hidratada a la planta de tratamiento es de fácil acceso y no requiere mayor seguridad.

El uso de cal hidratada es adecuado para este proceso, debe de estar en suspensión, a esta suspensión se le conoce como lechada.

Un ácido es donador de protones (H^+) y la base es aceptor de protones (OH^-), unidos formaran una molécula de agua, la solución final tendrá un pH entre 6.5 y 7.5 equivalente al $pH = 7.0$ que es propiamente el pH normal del agua.

2.4.2. Coagulación-floculación

Coagulación y/o floculación, material que aglutina partículas sedimentables de pequeño diámetro (menos a 1 micra). Pueden usarse coagulantes inorgánicos, coagulantes orgánicos sintéticos, floculantes naturales, floculantes orgánicos sintéticos. El pH es importante para una buena sedimentación debe de estar en el rango de 6 a 9.

2.4.3. Oxidación, sedimentación y filtración

Oxidación de hierro presente en el agua residual (100-110 g/L hierro elemental): la oxidación del hierro a su forma férrica, se logra por inyección (difusión) de aire en el reactor y agitación, mínimo 1 hora, el agua residual en tratamiento debe formar cierto oleaje no violento, debe de obtenerse un $pH = 8.0$ o lo más cercano posible, para que precipite el hierro como hidróxido férrico.

La sedimentación de los sólidos formados en la neutralización, coagulación-floculación y oxidación en el tanque de sedimentación, requieren de 24 a 48 horas a un pH entre 6.5 y 7.5 lo que proporciona una buena separación.

Filtración de las aguas tratadas en un filtro de arena y grava, la filtración del agua residual tratada pasará por el filtro por la fuerza de la gravedad, por este método los sólidos se separan de la parte líquida físicamente. El pH entre

6.5 y 7.5 es el final y la concentración de hierro es de 6.0 mg/L, el agua puede ser descargada al cuerpo receptor o depósito para su reuso.

El filtro prensa se utiliza para una mejora en el tratamiento de sólidos totales que pueda llevar el agua al salir del filtro de arena y exclusivamente para reuso en el área de limpieza y preparación del tubo para el galvanizado, como para la preparación de la lechada y el coagulante.

2.4.4. Disposición final de lodos

Los lodos producidos en el filtro de arena, son removidos y transportados a un relleno sanitario, no contienen metales pesados como arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo, ya que consisten de hidróxido férrico, hidróxido de calcio y cloruro de calcio así como impurezas.

2.4.5. Ubicación del terreno para la planta de tratamiento de aguas residuales ácidas

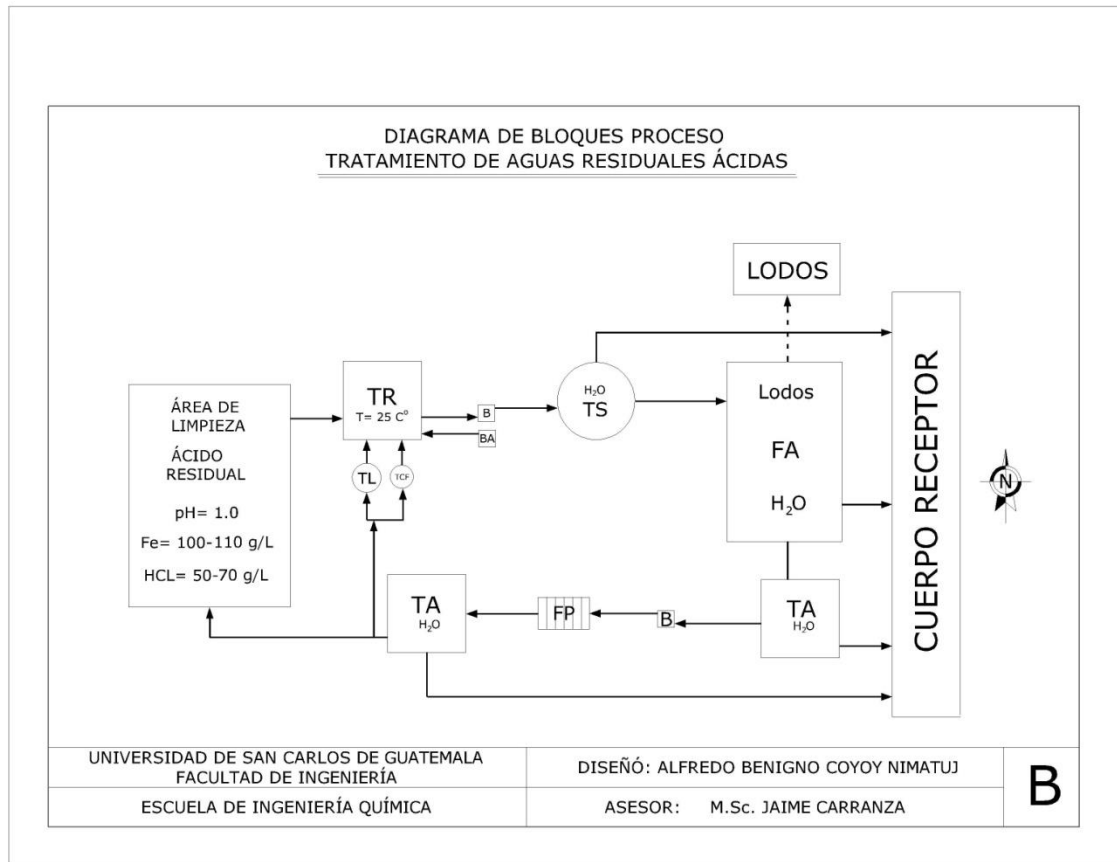
Consideraciones de un terreno para una planta de tratamiento de aguas residuales ácidas de una industria de galvanizado, áreas adyacentes a la planta de galvanizado y se elige la que se considera que es apta para construirse la planta de tratamiento de aguas residuales ácidas para una industria de galvanizado.

Una mejor ubicación es lo más cerca posible de las pilas de preparación del tubo para el galvanizado, para utilizar la menor cantidad de tubo de cemento que canalice el desecho líquido ácido para el reactor, es recomendable hacer un estudio de suelo para evitar contaminar el manto frático por agrietamiento del suelo.

2.4.6. Diagrama de bloques proceso tratamiento de aguas residuales ácidas

Las aguas vienes del área de limpieza del tubo, se diagraman los distintos equipo de la planta del proceso de tratamiento de aguas residuales, en el tanque reactor (TR) hay reacciones físico-químicas, en los equipos restantes solo hay cambios físicos, el agua limpia al final del proceso pero no potable.

Figura 2. Diagrama de bloques proceso tratamiento de aguas residuales ácidas



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

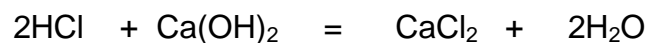
3. DISEÑO METODOLÓGICO

Se presentan los diferentes métodos que se deben aplicar en las diferentes etapas del proceso de neutralización de desecho ácido, ecuaciones empíricas para el cálculo de los materiales a usar en el proceso, como los recursos físicos y humanos a emplear.

3.1. Proceso de neutralización

Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) es lo que conoce como cal hidratada, y eficiente como neutralizador para aguas ácidas, también es un buen floculante pero en el presente problema no es el objetivo de su uso, pero puede reaccionar como floculante.

Ácido clorhídrico (HCl) es lo que regularmente se usa para limpiar los tubos, también se conoce como ácido muriático de fácil acceso en el mercado y de costo bajo, la ecuación de neutralización es la siguiente, con cargas balanceadas:



En el tanque asignado para la preparación de la lechada, se llena con 4 m^3 de agua potable o agua de reuso, se agrega un total de 25 saco de cal hidratada de 42 kg cada saco, discontinuamente se van agregan 5 sacos y se agita para que la cal hidratada no se amase y se mantiene por 40 minutos para que la cal se combine con el agua en mayor proporción.

Agitándolo discontinuamente para una suspensión de mejor calidad. El tiempo de 40 minutos para digerir es para usar una dosificación mínima. Una dosificación máxima recomendable es de 20-10% p/p de cal hidratada para mezclarla con agua. Los 4 m³ de agua son funcionales.

Una fórmula empírica para calcular la cantidad de cal hidratada para usarse en la neutralización es:

$$(\text{kg Ca(OH)}_2) = 1.5 \times V (\text{m}^3) \times \text{AC (g/L)}$$

kg Ca(OH)₂ = kg de cal hidratada para la neutralización con exceso

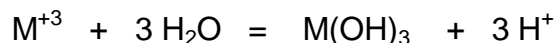
V (m³) = volumen ácido residual a tratar

AC = concentración de ácido promedio en g/L

Agregar la lechada lentamente en el reactor que contiene el ácido residual, con agitación, si es posible agregar un poco de aire para aumentar la mezcla de ácido y lechada.

La neutralización de la superficie de coloides negativos es lograda al adicionar cationes de coagulantes inorgánicos. Los iones trivalentes son diez veces más efectivos que los iones bivalentes. Se usaran sales trivalentes de aluminio o hierro que son los más usados como coagulantes para agua, y que se encuentran en el mercado, en el presente caso se utilizará sulfato de aluminio (Al(SO₄)₃), para evitar incluir más hierro.

Se usarán 2 libras de sulfato de aluminio diluidos en 0.5 m³ de agua fresca agitar continuamente. El pH es influyente en la eficiencia del coagulante inorgánico debido a su hidrólisis:



Es importante mantener un de pH = 8 en el reactor para que el coagulante sea utilizado al máximo.

En el tanque para el floculante, 0.5 m³ de agua ir agregando el coagulante lentamente al agua y agitar, dejar digerir por 40 minutos y agitar para una dosificación mínima. Agregar el coagulante al reactor donde se encuentra el ácido residual, esto se hace después de agregar la lechada o intermezclandola con la lechada, agitando el reactor y agregando una mínima cantidad de aire para lograr una mejor mezcla.

Para lograr una mejor neutralización y coagulación-floculación dejar por 2 horas la agitación y la mínima cantidad de aire, para lograr una mejor mezcla de ácido residual, lechada y coagulante, extraer cada media hora 50 cm³ de ácido residual del reactor por medio de un envase de plástico y medir el pH de ácido residual, medir el pH del efluente con papel pH, no se puede utilizar el potenciómetro ya que colorea el electrodo de color rojo. Por acción del óxido de hierro. El pH del efluente debe estar en el rango de 7.0-9.0 para estar preparado para la siguiente etapa.

3.2. Proceso de oxidación

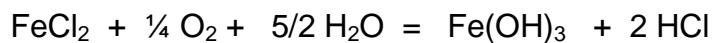
En condiciones reductoras el hierro se presenta en estado ferroso siendo relativamente soluble en agua, al exponerse el hierro al aire se oxida a estado férrico y puede precipitarse. Una fórmula empírica para calcular la cantidad de oxígeno (aire) requerido es:

$$OX \text{ (kg)} = 0.15 \times V \text{ (m}^3\text{)} \times Fe \text{ (g/L)}$$

$$\begin{aligned} \text{OX (kg)} &= \text{kg de oxígeno para la oxidación requerida con exceso} \\ V (\text{m}^3) &= \text{Volumen de agua residual con cloruro ferroso} \\ \text{Fe (g/L)} &= \text{Contenido de hierro elemental en g/L} \end{aligned}$$

Para esta etapa se realiza inyectando oxígeno (aire) en el reactor, por medio de tubos sumergidos que transmiten el aire que viene del compresor. Esta inyección de aire se hace por difusión para un mayor contacto con el hierro. La intensidad del aire se puede controlar al formar cierto oleaje el efluente, la agitación mecánica contribuye en parte para que sea eficiente la operación de oxidación.

La ecuación de oxidación con cargas balanceadas es la siguiente:



El pH del efluente debe permanecer lo más cercano posible a un valor de 8-9 para lograr que el hidróxido férrico precipite. La oxidación de hierro produce ácido clorhídrico, la neutralización de este ácido, se logra con la cal hidratada que está en exceso, tiempo requerido para esta operación es de media hora, que incluye aireación y agitación mecánica.

Dejar digerir por media hora y luego media hora de aireación y agitación, luego tomar una muestra 50 cm³ del efluente con envase plástico y medir su pH con papel pH. No usar potenciómetro ya que la solución colorea al electrodo de rojo, es importante mantener el pH en un valor entre 7.5-8.5 para preparar el efluente para la siguiente etapa. Mantener el efluente en condiciones básicas, evitando un pH mayor a 9.0 ya que esto complicaría el tratamiento del efluente.

3.3. Sedimentación

Separación física por diferencia de densidades, la parte más pesada irá al fondo que es el precipitado y la más liviana permanecerá arriba que es el sobranate, materiales en suspensión coloidalmente solo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación.

Las sales de aluminio actuarán para aclarar el agua. El efluente al pasar por las etapas de neutralización, coagulación-floculación, oxidación y en condiciones básicas, es transportado por medio de una bomba centrífuga al tanque de sedimentación que se encuentra a una altura de 1.5 m del nivel del suelo que tiene una capacidad de 10 m³. El precipitado estará formado por sólidos generados como hidróxido férrico, exceso de cal hidratada, materiales coagulados e inertes. El tiempo necesario para una buena separación es de 24 a 48 horas.

Revisar el pH del sobranate que tiene que estar entre 7.0-8.0 luego descargar el sobranate que es agua en condiciones aceptables al cuerpo receptor. La parte más pesada en el sedimentador está en condiciones básicas igual que el sobranate, y está preparado para la siguiente etapa.

3.4. Filtración

Al sedimento se le extrae el agua que lleva por medio del filtrado, el filtro es un filtro compuesto por arena y grava. El agua pasa por el filtro por acción de la gravedad, quedando atrapado los sólidos. Del sedimentador el efluente pasa al filtro por tubería de 4 pulgadas, esto se realiza por acción de la gravedad ya que el filtro de arena está a un metro sobre el nivel del suelo y tiene una capacidad de 10 m³.

La filtración es lenta al principio, luego es rápida y finalmente lenta, un tiempo mínimo de 48 horas son necesarias para esta operación, los lodos formados van a perder también humedad por acción del calor del sol, como del viento, ya que el filtro de arena está abierto al ambiente, en la salida del filtro, en una toma, donde no se contamine el agua, se toma una muestra en un beaker de 50 cm³, para evaluar el pH del efluente (agua) y su concentración de hierro.

Medir el pH de la muestra en el *beaker*, por medio de un potenciómetro portable para tener un pH con valor más confiable, entre 6.5 y 7.5 final para el agua ya tratada, medir la concentración de hierro por medio un equipo portable (kit), 10 cm³ de agua son usados en el envase del equipo y agregar 2 o 3 gotas de la solución ya estandarizada de fábrica, y según la intensidad del color rojo, se compara con una tabla que trae el equipo la cual indica la concentración de hierro en ppm o mg/L, la concentración de hierro máxima permitida en de 6 ppm o mg/l (fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) 1997).

El Acuerdo Gubernativo 236-2006 no tiene referencia respecto al hierro que se descarga a cuerpos receptores, el agua ya tratada es depositada en un depósito de agua de plástico o concreto enterrado con capacidad de 10 m³ para su reuso o descargada al cuerpo receptor. El agua fluye por acción de la gravedad ya que hay una diferencia de nivel.

El efluente ya tratado debe ser analizado cada seis meses por una empresa de análisis químico industrial, para un examen general y cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, en sus fases uno o dos (dos de mayo de dos mil once y dos de mayo de dos mil quince) y certificar los resultados que serán el respaldo que la empresa presente.

Estos exámenes no pueden ser periódicos por sus costos que son elevados, la arena del filtro debe de tener uniformidad, como la grava o piedrín, para evitar que se tapen los agujeros formados por donde pase el agua. Puede usarse grava de ½ pulgada o de una pulgada.

3.5. Disposición de lodos

Los lodos entrampados en el filtro de arena son retirados por personal municipal y trasladados a un relleno sanitario, los lodos no contienen metales pesados, básicamente contienen hidróxido férrico, cal hidratada en exceso, cloruro de calcio y material inerte (impurezas) pero debe evitarse el contacto con la piel ya que los lodos son un poco corrosivos.

3.6. Reuso del agua tratada

El agua que se encuentra almacenada en el depósito de agua enterrado es extraído por medio de una bomba centrífuga y pasada por un filtro prensa para eliminar al máximo los sólidos totales. Esta agua puede almacenarse o usarse directamente para la preparación de la lechada, para la preparación de coagulante-floculante, y para el enjuague ácido como básico del área de limpieza del tubo que se prepara para el galvanizado.

3.7. Recursos físicos

El terreno para la construcción de la planta requiere una are mínima de 70 m² preferible que tenga forma cuadrada o rectangular con un lado mínimo de 7 m. el reactor neutralizador se construirá de concreto armado tipo cisterna abierto al ambiente.

El filtro de arena tipo muro con block de construcción estándar con solera de humedad, columnas y costillas, amarrado con un bastidor, la solera, las columnas, las costillas y el bastidor llevan el alma de hierro. Se utilizara como filtro piedrín o grava de $\frac{1}{2}$ o 1 pulgada de diámetro, se recomienda uniformidad ya que puede entramparse el efluente, la otra capa estará compuesta de arena.

El sedimentador utilizará lámina negra de $\frac{1}{4}$ de pulgada completamente cerrado, el tanque de lechada como el tanque de coagulante-floculante se construirá de lámina negra de $\frac{1}{8}$ de pulgada, abiertas a la atmósfera. Los tanques pulmón que almacenarán agua para el reuso estarán enterrados, por lo que pueden ser de concreto o de plástico, dependiendo de los costos. Las tuberías y válvulas serán de plásticos para el tratamiento del efluente, pero para el reuso del agua tratada serán de tubo galvanizado.

Las bombas centrífugas, el agitador como el compresor tendrán una potencia de 3 hp o 2.24 kw. El filtro prensa tendrá un mínimo de 20 pasos. Los accesorios serán de plástico en el tratamiento del efluente, pero para el agua de reuso serán de hierro galvanizado. Las áreas que sean necesarias serán pavimentadas.

3.8. Recursos humanos

El diseño, supervisión de obra civil y obra mecánico eléctrico, así como el montaje y operación de la planta de tratamiento estará bajo la supervisión del ingeniero químico diseñador, con la colaboración de ingenieros civiles y mecánicos y eléctricos para un mejor control del funcionamiento y eficiencia de la planta, es necesario la instrucción e inducción de dos ayudantes para la operación y mantenimiento de la planta.

3.8.1. Obra civil y mecánico eléctrico

La construcción del reactor como del filtro de arena estará bajo la responsabilidad de un ingeniero civil. Los tanques: sedimentador, lechada y coagulante-floculante estará bajo la responsabilidad de un ingeniero mecánico.

Los tanques pulmones según sea el caso, estarán bajo la supervisión de un ingeniero civil o mecánico. Las conexiones eléctricas las realizará un perito en electricidad autorizado por la empresa eléctrica, las conexiones de tubos, tuberías, válvulas, accesorios, filtro prensa, compresor y bombas las realizará un plomero autorizado por la municipalidad; en los casos necesarios se empleará un ingeniero mecánico eléctrico.

3.8.2. Operación y mantenimiento de la planta

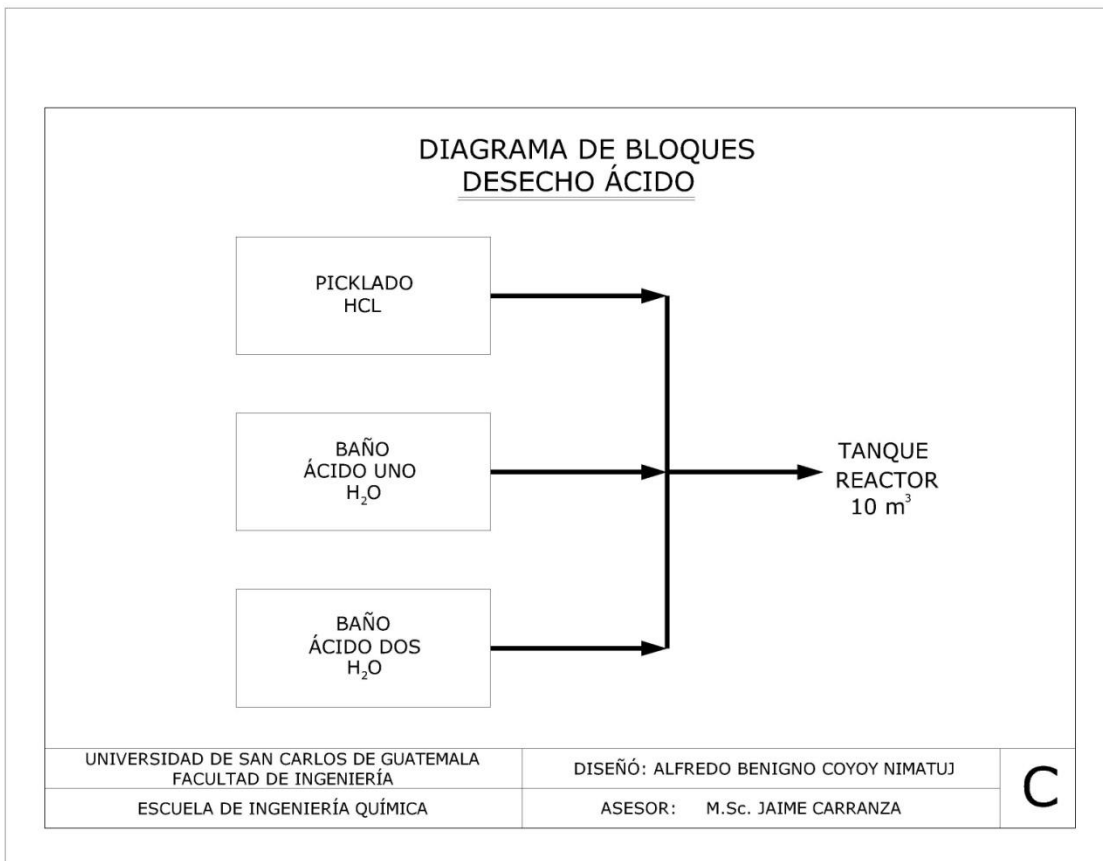
El ingeniero químico diseñador es el responsable de la planta, desde la primera prueba, cuando la planta este en operación se requiera de personal para operar la planta, como para darle mantenimiento, mínimo una de operación y una de mantenimiento, bajo la supervisión del ingeniero químico diseñador. Se recomienda que la arena del filtro sea cambiada cada tres meses y el piedrín o grava se cambie cada seis meses o en los casos necesarios en menor tiempo.

El ingeniero químico diseñador debe informar a la gerencia cada mes del excelente funcionamiento de la planta o en su defecto hacer las correcciones necesarias, cada seis meses hacer un análisis químico completo del agua según la normativa vigente, esto lo debe de realizar una empresa especializada ajena a la empresa y que certifique lo conducente.

3.8.3. Diagramas de bloques desecho ácido y diagrama de bloques perfil hidráulico

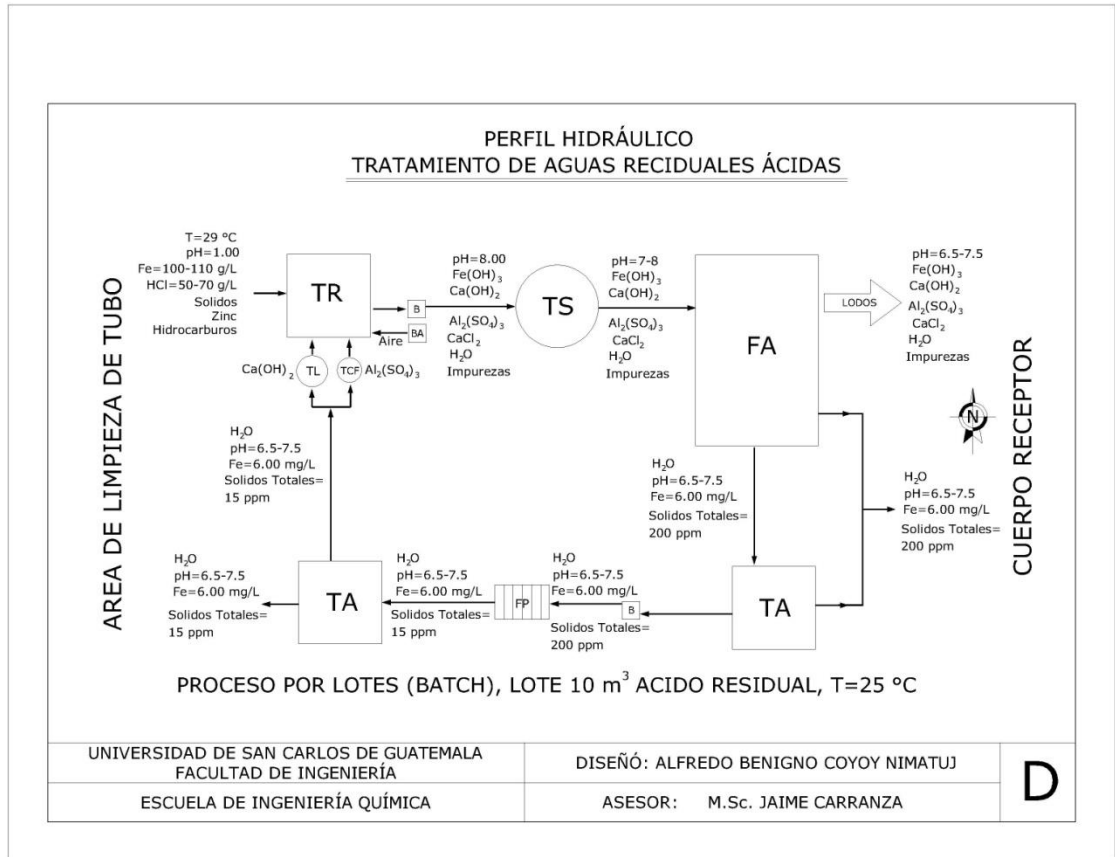
En el diagrama del ácido se describe las fuentes del líquido ácido que va al tanque reactor (TR) y el diagrama del perfil hidráulico describe las condiciones de las distintas etapas en reacciones y condiciones física el proceso es por lotes tipo batch, básicamente 10 m^3 cada tres días.

Figura 3. Diagrama de bloques desecho ácido



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 4. Diagrama de bloques perfil hidráulico



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

4. RESULTADOS

Son las diferentes etapas del proceso con su equipo de tratamiento del efluente ácido con las distintas medidas y capacidades de la planta.

4.1. Diseños

Se presentan los distintos planos, desde el terreno necesario para la planta, como para cada equipo con sus respectivas medidas sin escala pero se da a entender la forma de construir los equipos y la forma en que quedaron dentro de la planta, se contempla mejor en el plano de planta de conjunto, se tiene mejor idea en las elevaciones y el dibujo 3D.

4.1.1. Plano del terreno

El ingeniero civil recomendó el terreno, área mínima de 70 m², el cual llenó todos los requisitos, para que las respectivas autoridades autoricen la construcción; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como la municipalidad del lugar.

4.1.2. Bosquejo de la planta de tratamiento de aguas residuales ácidas

El ingeniero químico diseñador por medio de un diagrama sugirió como deben de ir las etapas del proceso y la distribución de los componentes de la planta, autorizadas por la Gerencia.

4.1.3. Diseño del reactor neutralizador (TR)

El reactor neutralizador tiene una capacidad de 17.376 m^3 , para un lote de 10 m^3 del ácido residual más 5 m^3 de la lechada de cal y 0.5 m^3 de coagulante floculante, más un 12 % de seguridad del volumen de su capacidad, para hacer un total en volumen requerido de 17.36 m^3 . De concreto armado tipo cisterna enterrado, abierto a la atmosfera. Esta es ejecutada por un ingeniero civil, con la supervisión del ingeniero químico quien es el diseñador.

4.1.4. Diseño tanque coagulante-floculante (TCF)

El tanque con una capacidad de 0.90 m^3 , con una base cónica, de lámina negra $1/8$ de pulgada, abierta a la atmosfera, a 0.75 m sobre el nivel del suelo, obra ejecutada por un ingeniero mecánico, con la supervisión del ingeniero químico diseñador.

4.1.5. Diseño tanque de lechada (TL)

Su capacidad es de 2.50 m^3 , de lámina negra de $1/8$ de pulgada, abierta a la atmosfera, a 0.75 m sobre el nivel del suelo, con una base cónica, obra del ingeniero mecánico, supervisado por ingeniero químico diseñador.

4.1.6. Diseño tanque de sedimentación (TS)

Una capacidad de 12.0 m^3 , el sedimentador completamente cerrado, de lámina negra de $1/4$ de pulgada, a 1.50 m sobre el nivel del suelo, arriba del reactor neutralizador (TR), obra de ingeniería mecánica, supervisado por el ingeniero químico diseñador.

4.1.7. Diseño filtro de arena (FA)

El filtro de arena con una capacidad de mínima de 10.0 m³, más un 10 % de su capacidad, para un total de 11 m³, como filtro utiliza una capa de grava o pedrín de ½ o una pulgada de diámetro y arena, se recolecta el líquido por medio de tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro perforados manualmente, obra ejecutada por un ingeniero civil y por un ingeniero mecánico, y supervisado por el ingeniero químico diseñador.

4.1.8. Diseño tanque de agua (TA)

Con un volumen de 12.0 m³, de concreto armado tipo cisterna, completamente cerrado enterrado del nivel del suelo hacia abajo, obra civil, supervisado por ingeniero químico diseñador.

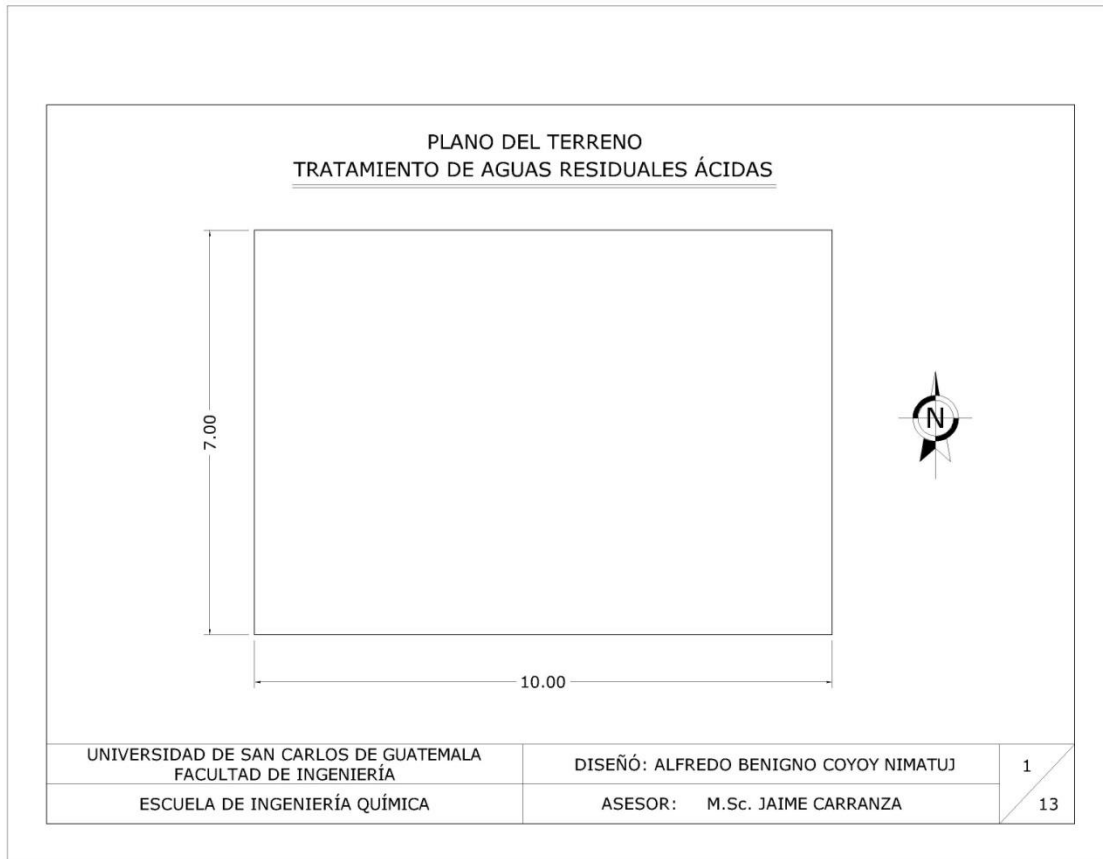
4.1.9. Diseño planta de conjunto

Unión de los diseños de la planta que servirán para el tratamiento del desecho líquido ácido.

4.1.10. Planos de planta de tratamiento de aguas residuales ácidas, elevaciones y dibujo de planta en 3D

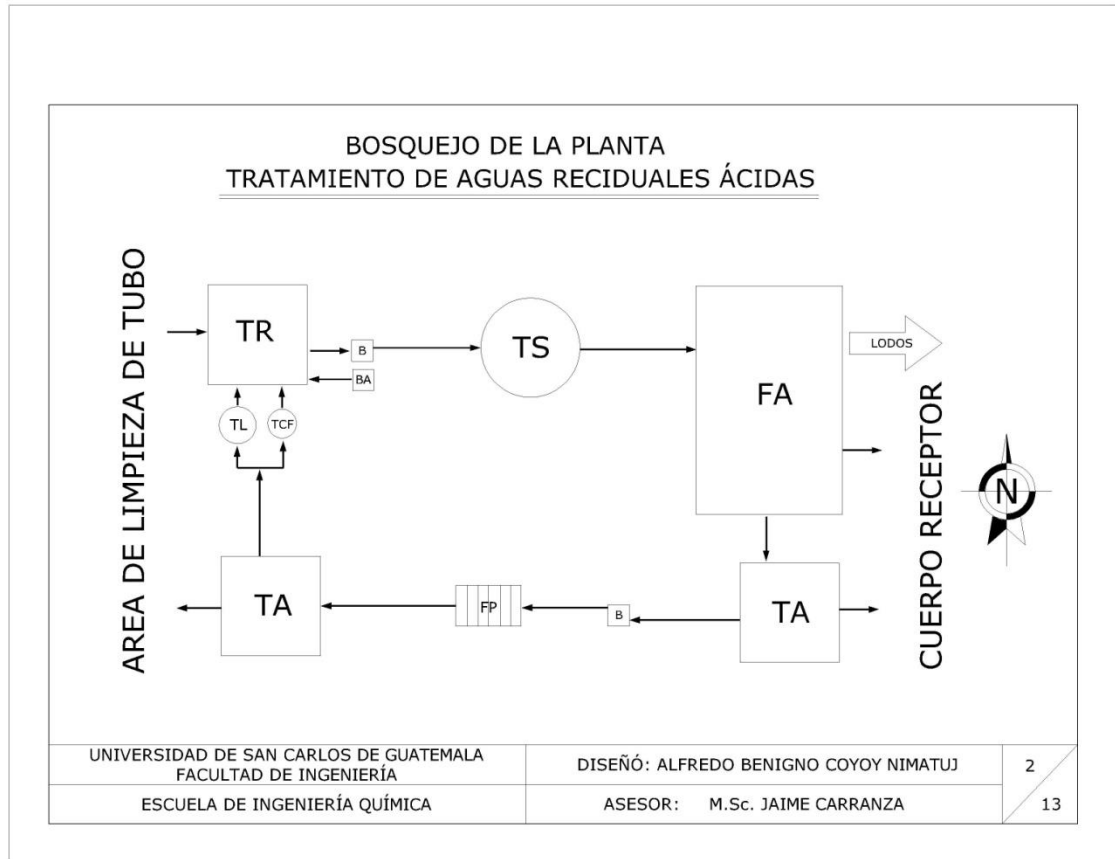
Se presentan todos los planos básicos para la construcción de la planta de tratamiento de desecho ácido, con sus respectivas medidas, dibujos de elevaciones para que se interprete la distribución de las distintas etapas del proceso, para su mejor presentación e interpretación un dibujo en 3D, que da idea de la planta construida.

Figura 5. **Plano del terreno**



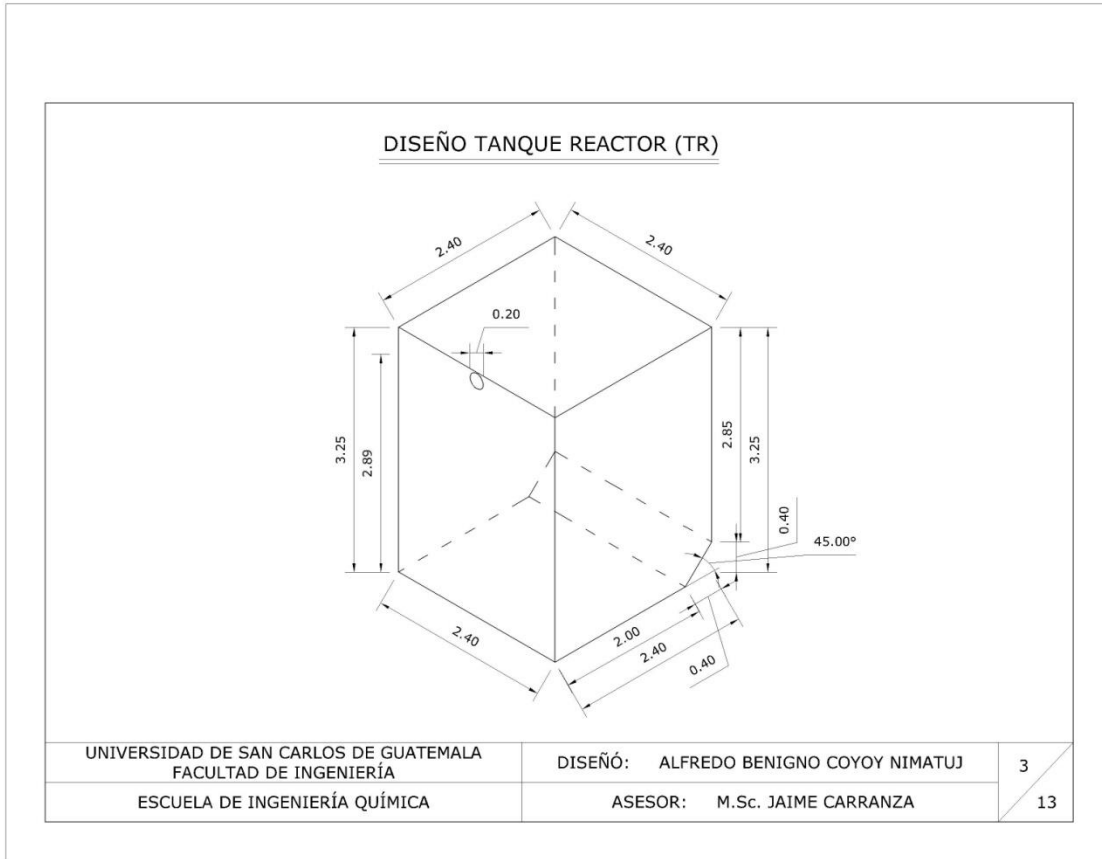
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 6. **Bosquejo de la planta**



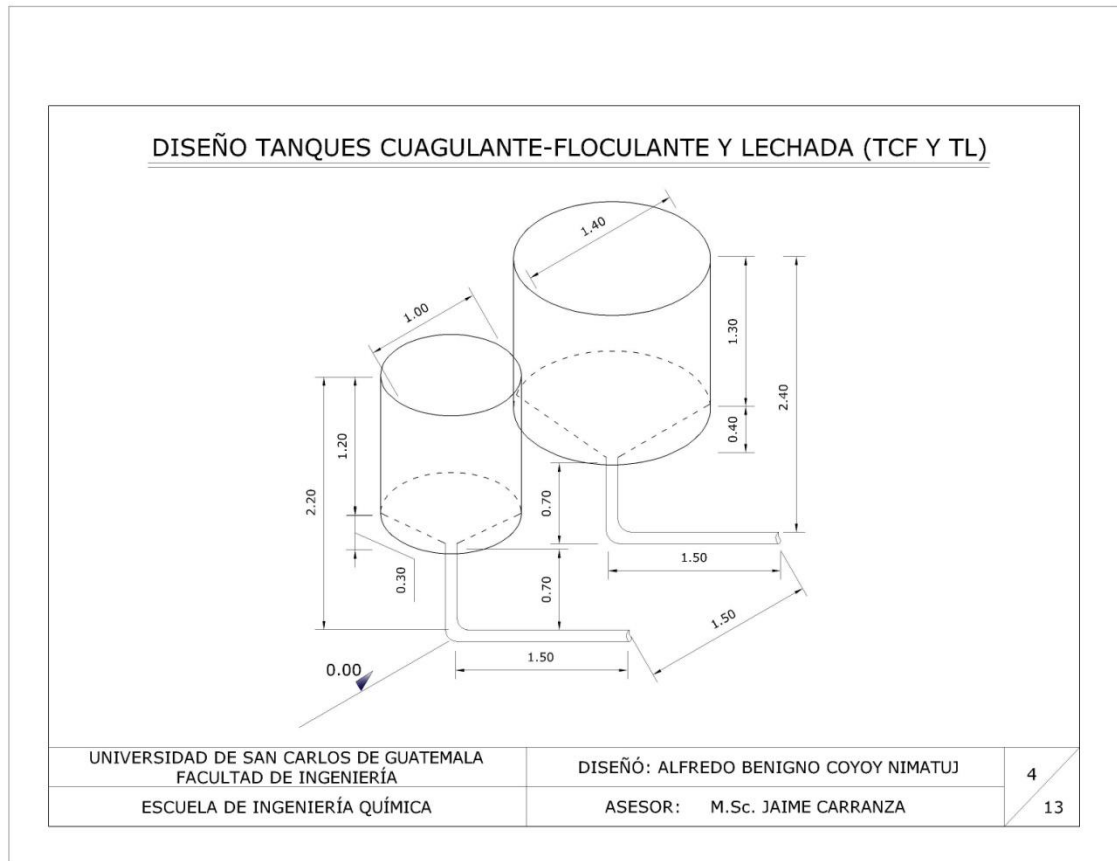
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 7. **Diseño tanque reactor (TR)**



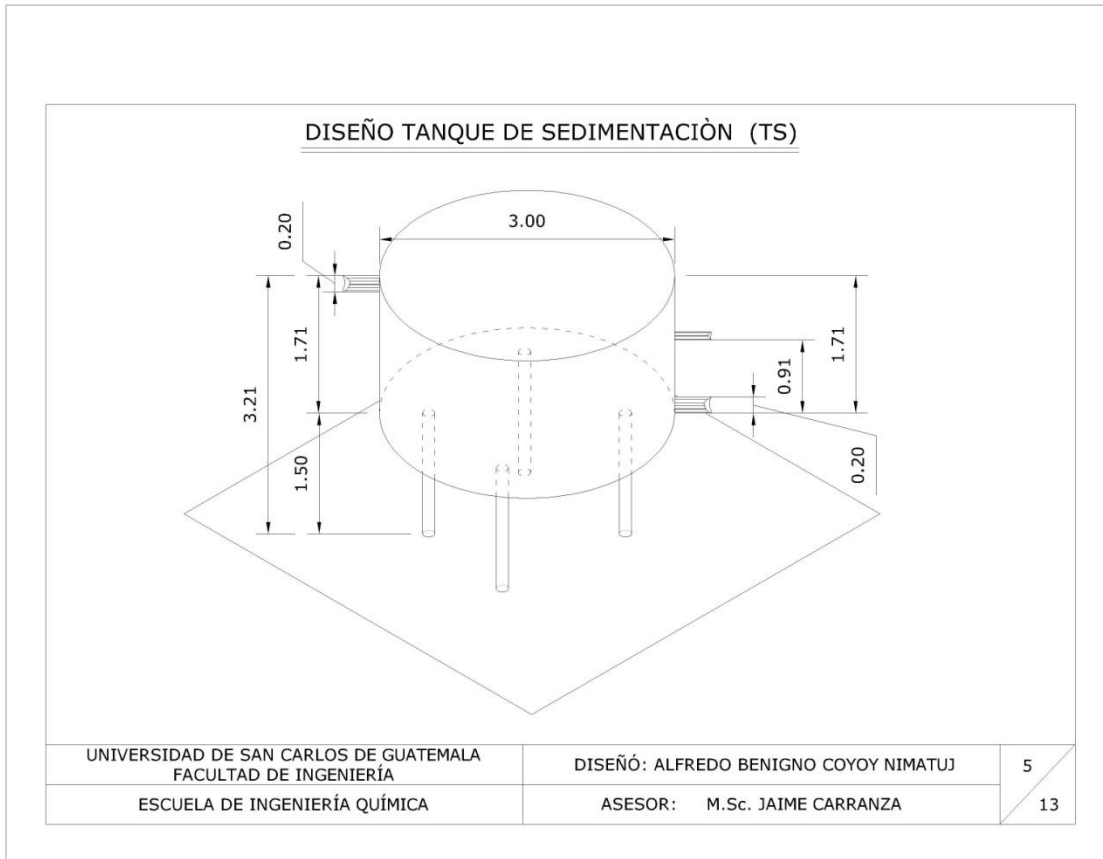
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 8. **Diseño tanque coagulante-floculante y lechada (TCF Y TL)**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 9. **Diseño tanque de sedimentación (TS)**



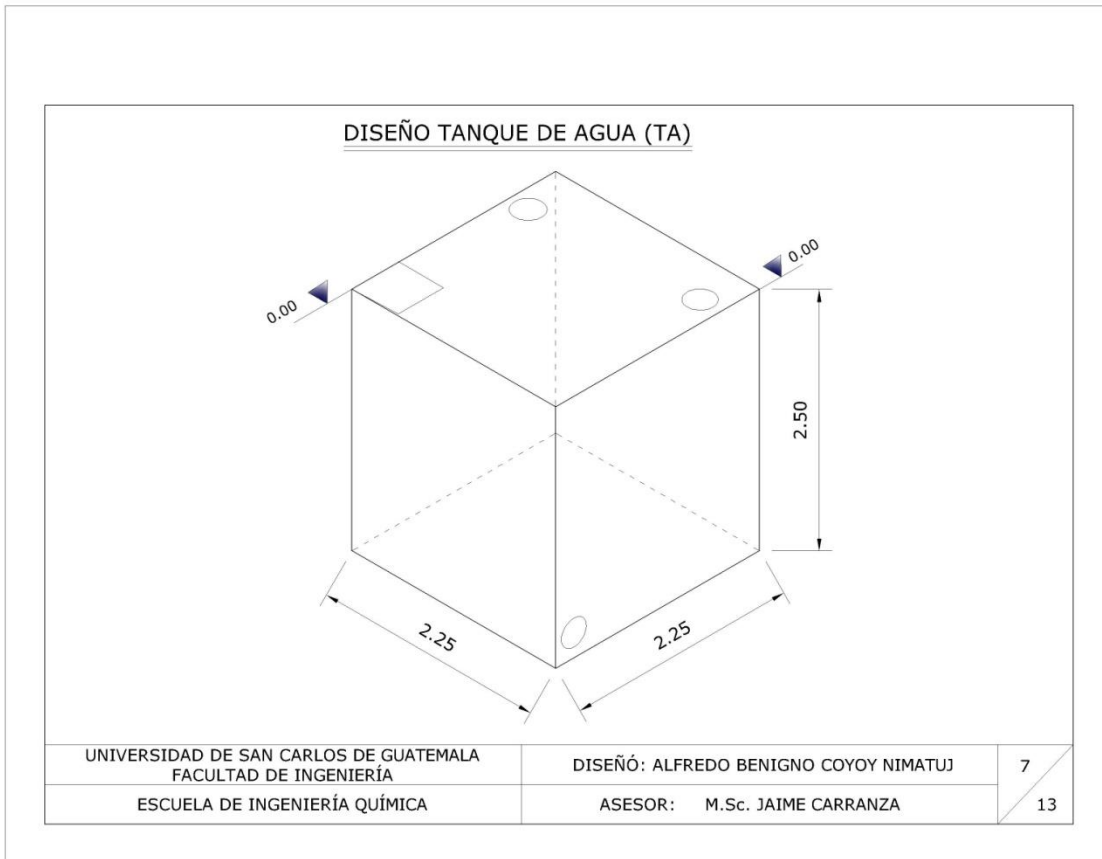
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 10. **Diseño filtro de arena (FA)**



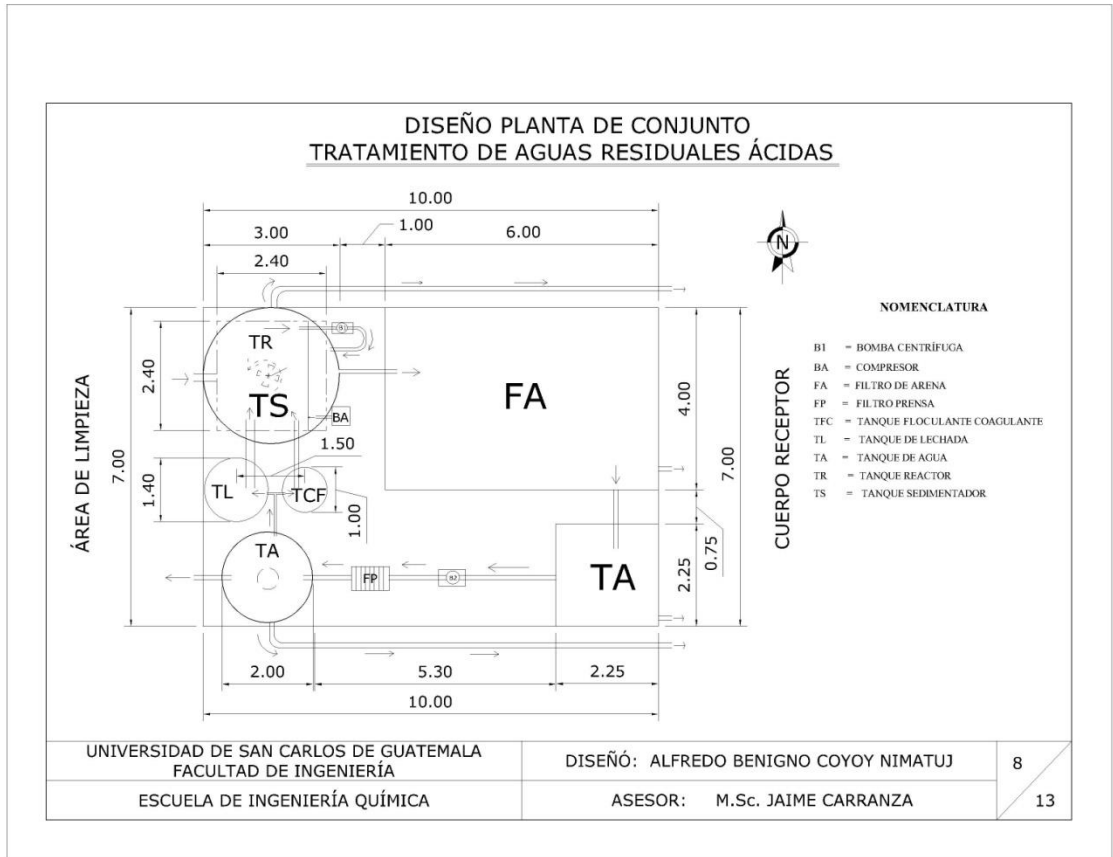
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 11. **Diseño tanque de agua (TA)**



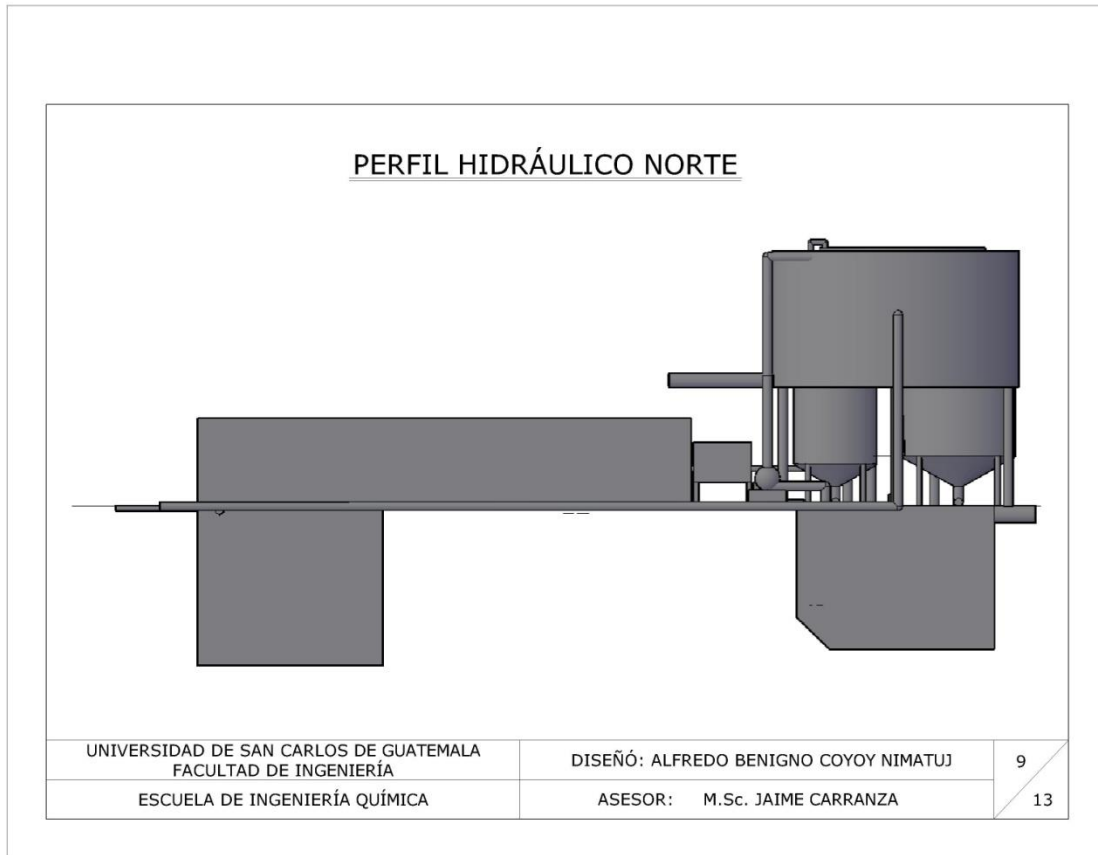
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 12. Diseño planta de conjunto



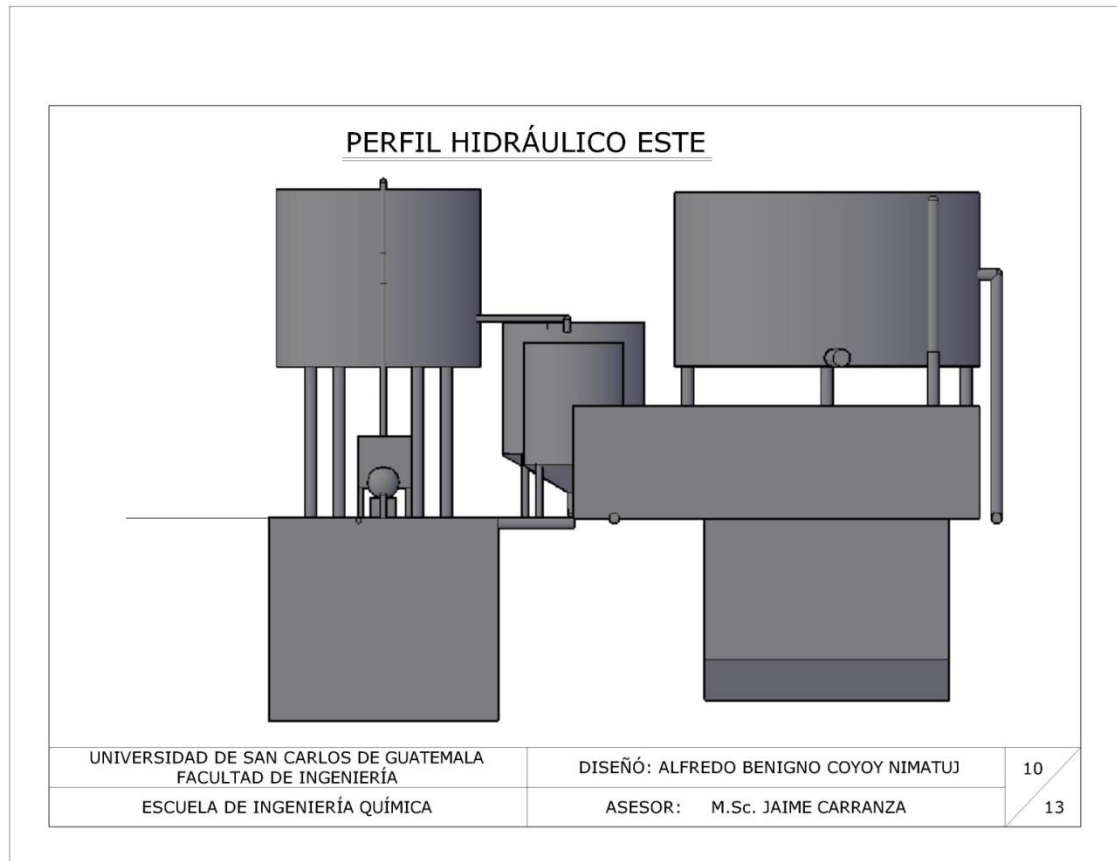
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 13. Perfil hidráulico norte



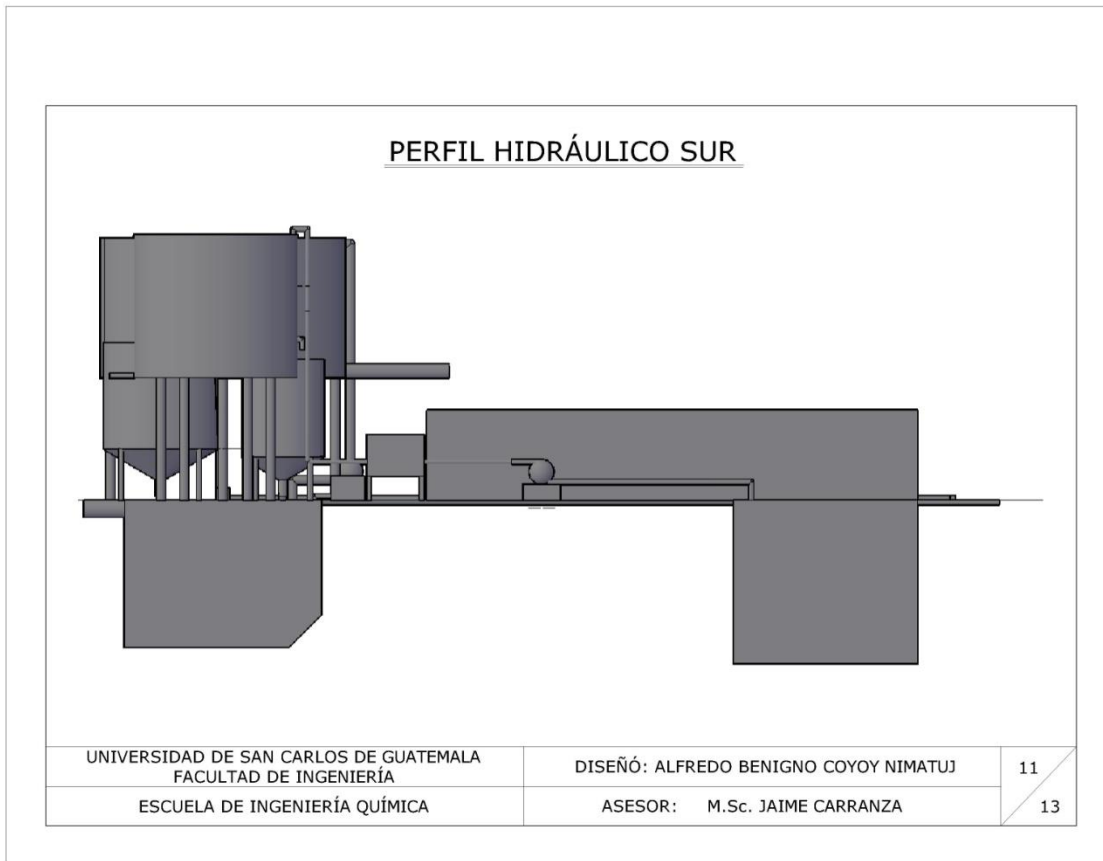
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 14. Perfil hidráulico este



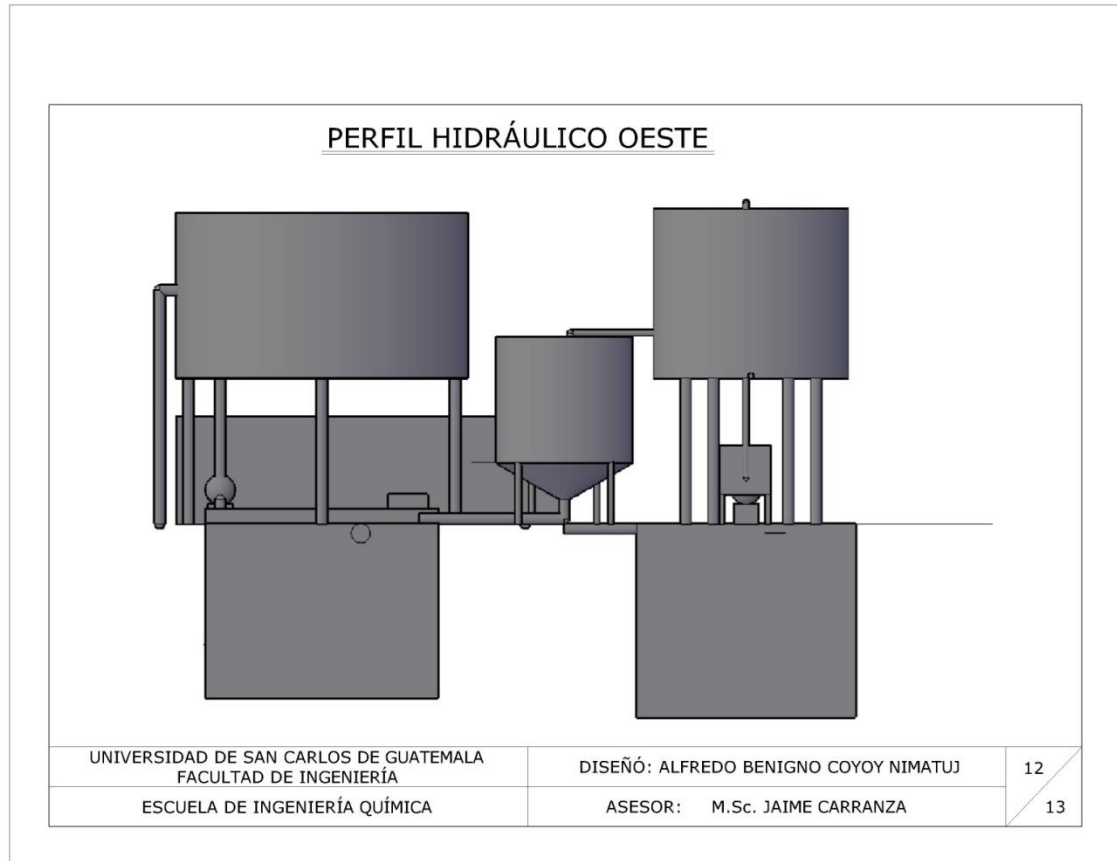
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 15. Perfil hidráulico sur



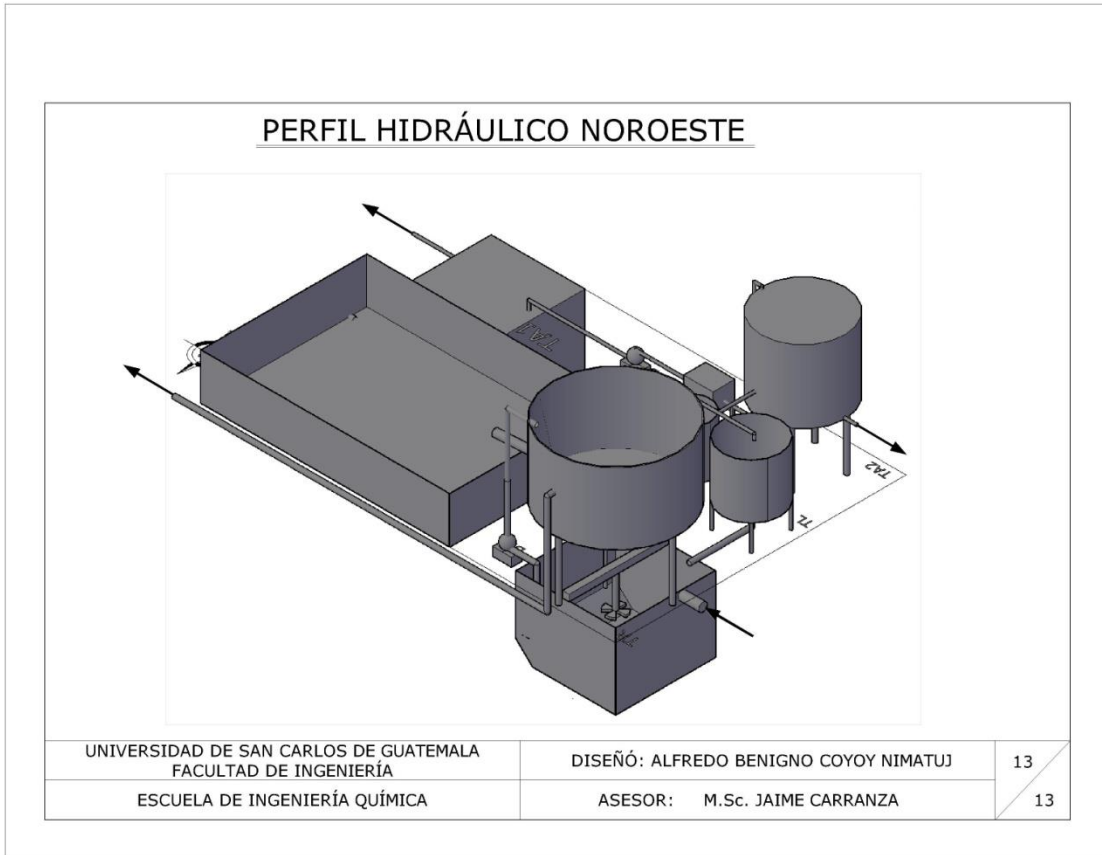
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 16. Perfil hidráulico oeste



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Figura 17. Perfil hidráulico noroeste



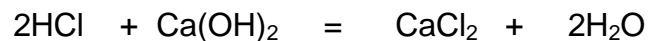
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

4.2. Reacciones en el reactor

En el reactor se presenta la parte más importante de la planta ya que se realiza la neutralización del ácido, la coagulación-floculación y la oxidación del hierro.

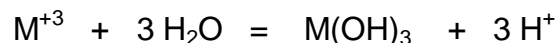
4.2.1. Neutralización

Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) es lo que conoce como cal hidratada, y eficiente como neutralizador para aguas ácidas, también es un buen floculante pero en el presente problema no es el objetivo de su uso, pero puede reaccionar como floculante. Ácido clorhídrico (HCl) es lo que regularmente se usa para limpiar los tubos, también se conoce como ácido muriático de fácil acceso en el mercado y de costo bajo, un ácido es donador de protones (H^+) y la base es aceptor de protones (OH^-), unidos formarán una molécula de agua, la ecuación de neutralización es la siguiente, con cargas balanceadas:



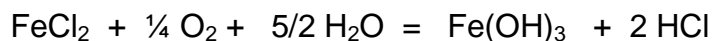
4.2.2. Coagulación-floculación

La neutralización de la superficie de coloides negativos es lograda al adicionar cationes de coagulantes inorgánicos. Los iones trivalentes son diez veces más efectivos que los iones bivalentes. Se usarán sales trivalentes de aluminio o hierro que son los más usados como coagulantes para agua, y que se encuentran en el mercado, en el presente caso se utilizará sulfato de aluminio ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3$), para evitar incluir más hierro. Es importante mantener un $\text{pH} = 8$ en el reactor para que el coagulante sea utilizado al máximo. El pH es influyente en la eficiencia del coagulante inorgánico debido a su hidrólisis:



4.2.3. Oxidación

En condiciones reductoras el hierro se presenta en estado ferroso siendo relativamente soluble en agua, al exponerse el hierro al aire se oxida a estado férrico y puede precipitarse. El pH del efluente debe permanecer lo más cercano posible a un valor de 8-9 para lograr que el hidróxido férrico precipite. La oxidación de hierro produce ácido clorhídrico, la neutralización de este ácido, se logra con la cal hidratada que está en exceso. La ecuación de oxidación con cargas balanceadas es la siguiente:



4.3. Sedimentación

Separación física por diferencia de densidades, la parte más pesada irá al fondo que es el precipitado y la más liviana permanecerá arriba que es el sobrante. Materiales en suspensión coloidalmente solo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación. Las sales de aluminio actuarán para aclarar el agua.

El efluente al pasar por las etapas de neutralización, coagulación-floculación, oxidación y en condiciones básicas, es transportado por medio de una bomba centrífuga (B1) al tanque de sedimentación (TS) que se encuentra a una altura de 1.5 m del nivel del suelo que tiene una capacidad de 10 m³. El precipitado estará formado por sólidos generados como hidróxido férrico, exceso de cal hidratada, material coagulado e inertes.

El tiempo necesario para una buena separación es de 24 a 48 horas. Revisar el pH del sobranate que tiene que estar entre 7.0-8.0 luego descargar el sobranate que es agua en condiciones aceptables al cuerpo receptor, la parte más pesada en el sedimentador está en condiciones básicas igual que el sobranate y está preparado para la siguiente etapa.

4.4. Filtración

Al sedimento se le extrae el agua que lleva por medio del filtrado, el filtro es un filtro compuesto por arena y grava. El agua pasa por el filtro por acción de la gravedad, quedando entrampado los sólidos. Del sedimentador (TS) el efluente pasa al filtro (FA) por tubería de 4 pulgadas, esto se realiza por acción de la gravedad ya que el filtro de arena está a un metro sobre el nivel del suelo y tiene una capacidad de 10 m³.

La filtración es lenta al principio, luego es rápida y finalmente lenta, un tiempo mínimo de 48 horas son necesarias para esta operación. Los lodos formados van a perder también humedad por acción del calor del sol, como del viento, ya que el filtro de arena está abierto al ambiente.

En la salida del filtro, en una toma, donde no se contamine el agua, se toma una muestra en un beaker de 50 cm³, para evaluar el pH del efluente (agua) y su concentración de hierro. El agua ya tratada es depositada en un depósito de agua de plástico o concreto enterrado con capacidad de 10 m³ para su reuso o descargada al cuerpo receptor.

La arena del filtro debe de tener uniformidad, como la grava o piedrín, para evitar que se tapen los agujeros del tubo de PVC formados por donde pase el agua. Puede usarse grava de ½ pulgada o de 1 pulgada.

4.5. Disposición de lodos

Los lodos entrampados en el filtro de arena, pasadas las 48 horas o más, son retirados por personal municipal y trasladarlo a un relleno sanitario, para quedar lista para el siguiente proceso de filtración o almacenarlos en toneles de hierro o plástico alejados del personal. Para no entorpecer el siguiente proceso. Los lodos no contienen metales pesados, básicamente contienen hidróxido férrico, cal hidratada en exceso, cloruro de calcio, cloruro de calcio y material inerte (impurezas) pero debe evitarse el contacto con la piel ya que los lodos son un poco corrosivos.

4.6. Reuso de agua tratada

El agua que se encuentra almacenada en el depósito de agua enterrado es extraído por medio de una bomba centrífuga (B2) y pasada por un filtro prensa (FP) para eliminar al máximo los sólidos totales. Esta agua puede almacenarse o usarse directamente para la preparación de la lechada, para la preparación de coagulante-floculante y para el enjuague ácido como básico del área de limpieza del tubo que se prepara para el galvanizado.

4.7. Tubos, tubería, válvulas, accesorios y equipo

Se describe los diferentes materiales para unir los diferentes equipos y por donde se transporta el fluido.

4.7.1. Tubos y tuberías

Tubos de cemento de 12 pulgadas, tubos de hule negro de 4 pulgadas, tubos de PVC de 1 y 4 pulgadas, tubería galvanizada de 2 y 4 pulgadas.

4.7.2. Válvulas

Válvulas de globo para tubo PVC de 1 y 4 pulgadas, válvula de compuerta para tubo PVC de 4 pulgadas, válvulas de globo de 2 y 4 pulgadas galvanizadas.

4.7.3. Accesorios

Codos y uniones para PVC de 1 y 4 pulgadas, cinchos metálicos de 4 pulgadas, codos y uniones de 2 y 4 pulgadas galvanizadas, paletas de madera de 0.2 x 2.0 m de largo con mango.

4.7.4. Equipo

Beaker de plástico de 100 y 200 ml, papel pH, beaker de vidrio de 50, 100, 150 y 200 ml, potenciómetro portable, kit para detección de hierro escala partes por millón portable, motor eléctrico de 3 hp o 2.24 kw para agitador, paletas de madera de 0.20 * 1.00 m para agitador, bombas centrífugas de 3 hp o 2.24 kw, compresor de 3 hp o 2.24 kw, filtro prensa de 10 a 20 pasos.

4.8. Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta

Al arrancar la planta como mantenerla operando es necesario familiarizarse con las distintas etapas y procesos para utilizar la menor cantidad de reactivos para neutralizar el ácido y oxidar el hierro, como el floculante-coagulante y conocer el equipo para optimizar el tratamiento del efluente como de la planta. Es necesario utilizar el equipo de protección para evitar accidentes especialmente en la piel, los ojos, la nariz y la boca.

4.8.1. Operación inicial

La prueba inicial estará a cargo del ingeniero químico diseñador, como jefe de planta, acompañado por los ingenieros mecánico eléctrico, civil, o por los plomeros y electricistas autorizados por la municipalidad y la empresa eléctrica respectivamente. Al tener la planta totalmente construida, la primera corrida se hará con 7 o 5 m³ de agua como mínimo.

Primero se llenará el tanque reactor (TR) luego la bomba 1 (B1) lo succionará y lo transportará al tanque de sedimentación (TS) luego verterlo en el filtro de arena (FA) y luego al depósito de agua (TA) accionar la bomba 2 (B2) para hacer pasar el agua por el filtro prensa (FP) y depositar el agua al tanque que distribuye el agua a los tanques de lechada (TL), coagulante-floculante (TCF) y al área de limpieza.

4.8.2. Tratamiento del efluente

La eliminación de sólidos grandes que lleva el efluente, se realiza por mallas o rejas instaladas a la entrada de la planta de tratamiento. Las descargas de ácido residual son discontinuas, en un tiempo promedio de 3 días, que es lo que se tarda en llenar el reactor (TR).

Por diferencia de alturas el ácido residual fluye al reactor por medio de un vertedero, la muestra a tratar es de 10 m³ de agua residual ácida, que proviene del área de limpieza del tubo que se prepara para el galvanizado. Del área de limpieza a una temperatura de 29 °C sale el efluente, que luego se enfría al ambiente, donde hay un intercambio de calor con el medio que está a una temperatura de 25 °C, el efluente pierde calor por un gradiente de temperatura.

La temperatura del ácido residual en el reactor es la misma temperatura que la del ambiente, las agua residuales ácidas a tratar tienen las características siguientes; pH = 1.0 que es un ácido, 100-110 g/L como hierro (Fe^{+2} y/o Fe^{+3}) elemental, 50-70 g/L ácido clorhídrico, y se encuentra a una temperatura igual al ambiente de 25 °C, otros contaminantes en menor cantidad son los sólidos suspendidos, sólidos disueltos, zinc e hidrocarburos, la cal hidratada debe de estar en suspensión, a esta suspensión se le conoce como lechada.

La solución final en el reactor neutralizador, tendrá un pH entre 6.5 y 7.5 equivalente al pH =7.0 que es propiamente el pH normal del agua. En el tanque asignado para la preparación de la lechada (TL) se llena con 2.0 m³ de agua potable o agua de reuso, para el primer lote de lechada, luego otros 2.0 m³ de agua, se agrega un total de 25 sacos de cal hidratada de 42 kg cada saco, discontinuamente se van agregando 5 sacos y se agita manualmente con las paletas asignadas, para que la cal hidratada no se amase y se mantiene por 40 minutos por cada lote, para que la cal se combine con el agua en mayor proporción, agitándolo discontinuamente para una suspensión de mejor calidad.

El tiempo de 40 minutos para digerir es para usar una dosificación mínima. Una dosificación máxima recomendable es de 20-10% p/p de cal hidratada para mezclarla con agua. Los 4 m³ de agua son funcionales. Una fórmula empírica para calcular la cantidad de cal hidratada para usarse en la neutralización es:

$$(\text{kg Ca(OH)}_2) = 1.5 \times V (\text{m}^3) \times \text{AC (g/L)kg}$$

Ca(OH)_2 = kg de cal hidratada para la neutralización con exceso

$V (\text{m}^3)$ = volumen ácido residual a tratar

AC = concentración de ácido promedio en g/L

Agregar la lechada lentamente en el reactor que contiene el ácido residual, con agitación, si es posible agregar un poco de aire para aumentar la mezcla de ácido y lechada. Se usarán sales trivalentes de aluminio o hierro que son los más usados como coagulantes para agua y que se encuentran en el mercado, en el presente caso se utilizará sulfato de aluminio ($Al(SO_4)_3$), para evitar incluir más hierro. Se utilizarán 2 libras de sulfato de aluminio diluidos en 0.50 m^3 de agua fresca para agitar continuamente.

Es importante mantener un de $pH = 8$ en el reactor para que el coagulante sea utilizado al máximo, en el tanque para el floculante (TCF) a los 0.50 m^3 de agua ir agregando el coagulante lentamente al agua y agitar manualmente, dejar digerir por 40 minutos y agitar para una dosificación mínima. Agregar el coagulante al reactor (TR) donde se encuentra el ácido residual, esto se hace después de agregar la lechada o intermezclandola con la lechada, agitando el reactor y agregando una mínima cantidad de aire para lograr una mejor mezcla.

Para lograr una mejor neutralización y coagulación-floculación dejar por 2 horas la agitación y la mínima cantidad de aire, para lograr una mejor mezcla de ácido residual, lechada y coagulante, extraer cada media hora 50 cm^3 de ácido residual del reactor por medio de un envase de plástico o beaker de plástico y medir el pH de ácido residual. Medir el pH del efluente con papel pH, no se puede utilizar el potenciómetro ya que colorea el electrodo de color rojo. Por acción del óxido de hierro.

El pH del efluente debe estar en el rango de 7.0-9.0 para estar preparado para la siguiente etapa. Una fórmula empírica para calcular la cantidad de oxígeno (aire) requerido es:

$$OX\text{ (kg)} = 0.15 \times V\text{ (m}^3\text{)} \times Fe\text{ (g/L)}$$

$$\begin{aligned} \text{OX (kg)} &= \text{kg de oxígeno para la oxidación requerida con exceso} \\ V \text{ (m}^3\text{)} &= \text{Volumen de agua residual con cloruro ferroso} \\ \text{Fe (g/L)} &= \text{Contenido de hierro elemental en g/L} \end{aligned}$$

Para esta etapa se realiza inyectando oxígeno (aire) en el reactor (TR), por medio de tubos sumergidos que transmiten el aire que viene del compresor (BA). Esta inyección de aire se hace por difusión para un mayor contacto con el hierro. La intensidad del aire se puede controlar al formar cierto oleaje al efluente, la agitación mecánica contribuye en parte para que sea eficiente la operación de oxidación.

El pH del efluente debe permanecer lo más cercano posible a un valor de 8-9 para lograr que el hidróxido férrico precipite, la oxidación de hierro produce ácido clorhídrico, la neutralización de este ácido, se logra con la cal hidratada que está en exceso. El tiempo requerido para esta operación es de media hora, que incluye aireación y agitación mecánica. Seguidamente se deja digerir por media hora y luego media hora de aireación y agitación, luego tomar una muestra 50 cm³ del efluente con envase plástico y medir su pH con papel pH, no se debe usar potenciómetro ya que la solución colorea al electrodo de rojo.

Es importante mantener el pH en un valor entre 7.5-8.5 para preparar el efluente para la siguiente etapa, mantener el efluente en condiciones básicas mínimas, no pasar a básico propiamente ya que complica el proceso.

El efluente al pasar por las etapas de neutralización, coagulación-floculación, oxidación y en condiciones básicas, es transportado por medio de mangueras de hule negra, succionado por una bomba centrífuga (B1) y transportado al tanque de sedimentación (TS) que se encuentra a una altura de 1.5 m del nivel del suelo que tiene una capacidad de 10 m³.

El tiempo necesario para una buena separación es de 24 a 48 horas. Luego se debe revisar el pH del sobrante que tiene que estar entre 7.0-8.0 descargar el sobrante que es agua en condiciones aceptables al cuerpo receptor.

La parte más pesada en el sedimentador (TS) está en condiciones igual que el sobrante y está preparado para la siguiente etapa. Del sedimentador (TS) el efluente pasa al filtro por tubería de 4 pulgadas, accionando una válvula de compuerta, esto se realiza por acción de la gravedad ya que el filtro de arena (FA) está a un metro sobre el nivel del suelo y tiene una capacidad de 10 m³. La filtración es lenta al principio, luego es rápida y finalmente lenta, un tiempo mínimo de 48 horas son necesarias para esta operación.

Los lodos formados van a perder también humedad por acción del calor del sol, como del viento, ya que el filtro de arena está abierto al ambiente, en la salida del filtro, en una toma, donde no se contamine el agua, se toma una muestra en un beaker de 50 cm³, para evaluar el pH del efluente (agua) y su concentración de hierro. Medir el pH de la muestra en el *beaker*, por medio de un potenciómetro portable para tener un pH con valor más confiable, entre 6.5 y 7.5 final para el agua ya tratada.

Medir la concentración de hierro por medio un equipo portable (kit), 10 cm³ de agua son usados en el envase del equipo y agregar 2 o 3 gotas de la solución ya estandarizada de fábrica, y según la intensidad del color rojo, se compara con una tabla que trae el equipo e indica la concentración de hierro en ppm o mg/L.

La concentración de hierro máxima permitida en de 6 ppm o mg/l (fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) 1997), el Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, no tiene referencia respecto al hierro que se descarga a cuerpos receptores.

El agua ya tratada es depositada en un depósito de agua de plástico o concreto enterrado con capacidad de 10 m³ para su reuso o descargada al cuerpo receptor. El agua fluye por acción de la gravedad ya que hay una diferencia de nivel. Los lodos entrampados en el filtro de arena (FA) son retirados por personal municipal y trasladados a un relleno sanitario o almacenados con las medidas de seguridad.

El agua que se encuentra almacenada en el depósito de agua enterrado es extraído por medio de una bomba centrífuga (B2) y pasada por un filtro prensa (FP) para eliminar al máximo los sólidos totales. Esta agua puede almacenarse o usarse directamente para la preparación de la lechada, para la preparación de coagulante-floculante, y para el enjuague ácido como básico del área de limpieza del tubo que se prepara para el galvanizado.

4.8.3. Mantenimiento

Actividad que realiza el ayudante de planta, con ayuda del personal de mantenimiento de la planta galvanizadora. Del cual informará por escrito al jefe de planta de tratamiento de aguas residuales ácidas. Sí el jefe de planta considera que el mantenimiento preventivo o correctivo es de suma importancia, informará inmediatamente a la Junta Directiva, al gerente general o superior inmediato.

Todos los lunes o días posibles revisar: válvulas, uniones, codos, agitador, tubos, tuberías, para evitar fugas o accidentes, una vez al mes revisar el sistema eléctrico, salvo casos de emergencia, tanto como compresor, bombas y filtro prensa, como los depósitos de agua y las estructuras metálicas. Limpiar y lubricar bombas, compresor y filtro prensa, una vez al mes, o cuando la planta no esté operando por falta de materia prima, ya que éste viene de Brasil, Rusia o República Checa (Checoslovaquia).

Cambio de arena como piedrín cada 4 meses o cuando lo requiere el proceso, como revisar la consistencia de los tubos que recolectan el agua en el filtro de arena, el trabajo que realizará tanto el jefe de planta como el ayudante, llevando un historial del funcionamiento y mantenimiento de la planta, realizando un informe mensual. Cuando sea necesario se requerirá el apoyo de ingenieros mecánicos eléctricos como de ingenieros civiles o de empresas que presten servicios y que el jefe de planta considere oportuno contratarlas.

CONCLUSIONES

1. Para una planta de tratamiento de aguas residuales ácidas, el proceso requiere un tanque reactor para neutralizar y oxidar, sedimentador, un filtro de arena para purificar el agua.
2. El agua que sale del filtro de arena cumple con los parámetros del Acuerdo Gubernativo 203-2006.
3. El mejor neutralizador para el ácido es la cal hidratada Ca(OH)_2 .
4. La inyección de aire es lo mejor para oxidar el hierro en solución para que precipite como hidróxido férrico Fe(OH)_3 .
5. Una separación buena en el sedimentador (TS) requiere un tiempo mínimo de 12 horas.
6. Una excelente filtración (FA) requiere un tiempo de 48 horas.
7. La planta reduce los contaminantes principales ácido y hierro a valores aceptables $\text{pH} = 6.5-7.5$ y hierro a 6 ppm o mg/L.
8. El agua de reuso no es potable.
9. El Manual de operación y mantenimiento contiene el proceso básico para un lote.

10. Los lodos no contienen metales pesados.
11. Hacer pruebas de la cantidad de cal hidratada a usar, para mejorar la constante de 1.5 de la formula empírica.
12. Evaluar la constante 0.15 de la fórmula empírica, para la cantidad de oxígeno requerido.
13. Mensualmente revisar los resultados obtenidos para una mejora en la eficiencia de la planta.

RECOMENDACIONES

1. Monitorear el pH en el tanque reactor (TR) en la neutralización, coagulación-floculación y oxidación (aireación), que no rebase el pH = 9.0 ya que el tratamiento pasaría a ser agua residual básica, por lo tanto complicaría el tratamiento del efluente.
2. Cuando la solución esté totalmente neutralizada en el reactor y el pH no cambie, se deja digerir por lo mínimo una hora.
3. Antes de descargar el agua sobrante del sedimentador (TS) al cuerpo receptor, medir el pH y tiene que estar lo más cerca a un pH = 7.0, en el tanque de sedimentación (TS) el pH está en el rango 7-9 y según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, artículo 20; potencial de hidrógeno, unidades de potencial de hidrógeno, 6 a 9.
4. La temperatura en grados Celsius TCR \pm 7 (temperatura del cuerpo receptor) al sedimentarse el hierro férrico el sobrante quedará con partículas de hierro, hacer un análisis del hierro con el kit portable. El hierro máximo permitido para descargar es de 6 ppm o mg/L según CONAMA 1997.
5. Para descargar agua al cuerpo receptor desde el filtro de arena (FA) se debe hacer un análisis similar al inciso 2.0, lo que interesa es proteger al cuerpo receptor.

6. Para la seguridad industrial, al iniciar el proceso de tratamiento del desecho líquido ácido, es necesario el uso de ropa y zapatos apropiados, para evitar accidentes, como el uso de mascarillas que protejan los ojos, nariz, oídos y boca, recomendable que tengan las mascarillas filtro de carbón activado, usar casco para protegerse la cabeza.
7. Hacer un análisis completo del agua ya filtrada del filtro de arena (FA) según el artículo 20: límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Acuerdo Gubernativo 236-2006, esto lo debe realizar una empresa ajena a la planta galvanizadora, para mayor confiabilidad, en un tiempo mínimo de 3 meses y un máximo de 6 meses y que además certifique los resultados, para usos legales cuando sean necesarios, el costo de estos análisis es alto por lo que no se puede hacer en cada proceso de neutralización.
8. El responsable de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales ácidas, debe tener un perfil de ingeniero químico, ingeniero ambiental o sanitarista.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRUCE, Lesikar; ENCINO, Juan. *Filtro de arena* [en línea]. El Sistema Universitario Texas A & M. L-5292 S 8-00. <hppt://texserc.tamuy.ede/pubs/evaste> [Consulta: 17 de junio de 2007].
2. CORTÉZ JIMÉNEZ, Xiomara Noemí. *Estudio comparativo del comportamiento de los agentes alcalinos: cal hidratada y cal dolomítica; en la neutralización del agua ácida residual proveniente de un proceso de galvanizado*. Trabajo de graduación de Inga. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 47 p.
3. LENNTECH. *Acondicionamiento del hierro* [en línea]. <http://www.lenn tech.com/espanol/hierro-retiro.htm> [Consulta: 17 de junio de 2007].
4. _____. *Tratamiento de efluente* [en línea]. <hppt://www.lenn tech.com/espanol/fisico-quimico-trat.htm> [Consulta: 17 de junio de 2007].
5. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos: Acuerdo Gubernativo Número 236-2006*. Guatemala: MARN, 2006. 28 p.

6. Organización Mundial de la Salud. *El uso de agua residual* [en línea]. <http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/> [Consulta: 17 de junio de 2007].
7. PAIZ R. María Lillian. *Acondicionamiento de agua para uso industrial métodos y tratamiento*. Trabajo de graduación de Inga. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 1963. 48 p.
8. RAMÍREZ VALDIVIESO, Mirna Beatriz. *Caracterización, propuesta de tratamiento y disposición de las aguas residuales de una industria galvanizadora de tubería por inmersión en caliente*. Trabajo de graduación de Inga. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 62 p.
9. RETANA DE RODRÍGUEZ, Milta. *Decisiones empresariales respecto a la implementación de una planta de tratamiento de aguas de desecho*. Guatemala: [s.l.]. 1997. 6 p.
10. *Sistema de tratamiento de agua* [en línea]. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html#SISTEMAS%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES> [Consulta: 17 de junio de 2007].

APÉNDICE

Apéndice 1.

COSTO DE CONSTRUCCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ÁCIDAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TOTAL EN QUETZALES
Tanque reactor (TR)	1	15,000.00
Filtro de arena (FA)	1	5,000.00
Tanque de agua (TA)	2	20,000.00
Tanque sedimentador (TS)	1	10,000.00
Tanque lechada (TL)	1	5,000.00
Tanque coagulante (TCF)	1	3,000.00
Utensilios de laboratorio	varios	1,000.00
Potenciómetro portable	1	1,500.00
Kit para detención de hierro	1	500.00

Continuación del apéndice 1.

Paletas de madera 1.0 * 0.20 m	4	200.00
Tubos de cemento 12 pulgadas	varios	1,000.00
Tubos de hule negro 4 pulgadas	10 m	200.00
Tubos de PVC 1 Y 4 pulgadas	varios	3,000.00
Tubería galvanizada 2 y 4 pulgadas	varios	5,000.00
Codos y uniones para PVC 1 y 4pulgadas	varios	1,000.00
Cinchos metálicos 4 pulgadas	6	200.00
Codos y uniones galvanizadas 2 y 4 pulgadas	varios	1,000.00
Paletas de madera con mango 20*20 m	4	200.00
Válvula de globo PVC 1 pulgada	1	150.00
Válvula de globo PVC 4 pulgadas	2	1,000.00
Válvula de compuerta PVC 4 pulgadas	1	500.00
Válvula de globo galvanizada 2 pulgadas	4	800.00

Continuación del apéndice 1.

Válvula de globo galvanizada 4 pulgadas	2	800.00
Motor eléctrico 3 hp (2.24 kw)	1	4,000.00
Bombas centrífugas 3 hp (2.24 kw)	2	8,000.00
Compresor de 3 hp (2.24 kw)	1	5,000.00
Filtro prensa 10 pasos	1	10,000.00
Gastos eventuales	varios	5,000.00
	TOTAL	108,050.00

Fuente: elaboración propia.