

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN:**

**OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO ( $\text{FeCl}_3$ ) EN  
SOLUCIÓN A PARTIR DE HIERRO RESIDUAL DE  
TALLERES DE RECTIFICADO DE MOTORES Y  
EVALUACIÓN DE SU EFECTIVIDAD COMO COAGULANTE  
EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
TENERÍA**

**PRESENTADO POR:**

**MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA  
REBECA EUNICE CÁRCAMO LÓPEZ**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERA QUÍMICO**

**ABRIL, 2019**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARÍA GENERAL:

**M.Sc. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

DIRECTORA:

**DRA. TANIA TORRES RIVERA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERA QUÍMICO**

Título:

**OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO ( $\text{FeCl}_3$ ) EN SOLUCIÓN A PARTIR  
DE HIERRO RESIDUAL DE TALLERES DE RECTIFICADO DE MOTORES Y  
EVALUACIÓN DE SU EFECTIVIDAD COMO COAGULANTE EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TENERÍA**

Presentado por:

**MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA**

**REBECA EUNICE CÁRCAMO LÓPEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

**INGA. EUGENIA GAMERO DE AYALA**

San Salvador, ABRIL 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesora:

**INGA. EUGENIA GAMERO DE AYALA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios Todopoderoso por permitirnos culminar nuestra carrera y así poder lograr la meta de convertirnos en Ingenieras Químicas.

A nuestros padres por su apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas y por su contribución principalmente en esta etapa de formación académica.

A la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador por la formación académica y conocimientos científicos brindados necesarios para la vida laboral.

Al cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos por su enseñanza durante toda la carrera. Además, agradecer de forma especial a Inga. Eugenia Salvadora Gamero, nuestra asesora, por su tiempo, por su dedicación, sus conocimientos y experiencia profesional para la realización de este trabajo de graduación. También deseamos agradecer al Licenciado Jorge Baltazar Berdugo, por contribuir con sus conocimientos y tiempo a nuestro trabajo de graduación.

A Alirio Ávalos por facilitarnos todo el material ferroso para la elaboración del coagulante, por permitirnos llegar a su taller y por siempre estar dispuesto a ayudarnos.

A la industria de tenería, por proveer las aguas residuales crudas que se utilizaron en la parte experimental de esta investigación.

Al Ing. Teodoro Ramírez, jefe de laboratorios en la Universidad de El Salvador y al personal de Planta Piloto, Alexander Padilla y a Oscar Morán por la colaboración brindada.

A nuestros compañeros y amigos, que han sido un gran apoyo moral en todo nuestro período de estudio. Gracias a todos.

**Mercedes Alvarado y Rebeca Cárcamo**

## DEDICATORIA

Al culminar mi carrera de Ingeniería Química le dedico y le doy gracias al ser más grande, supremo y maravilloso, Dios. Gracias por darme sabiduría para poder lograr esta meta en mi vida.

A mis padres, Wilfredo Alvarado Zepeda y Marta Alicia Bonilla Gracias por ser los mejores padres del mundo, por sus consejos, por su paciencia durante todos estos años, por amarme tanto como yo los amo a ustedes y por cuidar de mí siempre como lo han hecho hasta ahora.

A mi hermana Marta gracias por el apoyo incondicional que me has brindado desde que tengo memoria. A mis hermanos, Leonardo gracias por tus consejos y por tu ayuda para ser mejor cada día, gracias a ti y a Vicky por regalarme dos sobrinos tan hermosos, Maybelline y Johannes que me alegran el día siempre que hablamos y Wilfredo gracias por tu paciencia y por aguantarme muchos días de estrés.

Gracias a mis abuelos, Papá Nayo, Mamá Amanda, Papá Manuel y Mamá Tancho que partieron de este mundo mucho antes de lo esperado y que su ausencia aún se siente.

A Mis tíos, tías y demás familia gracias por todo el apoyo incondicional que me han brindado durante todos estos años en especial a Mercedes, Ricardo, Francisco y Alirio.

A mi asesora de trabajo de graduación Inga. Eugenia Gamero, por apoyarnos durante la carrera y en este proceso. También agradecer de forma especial a mis amigos y amigas.

Gracias a Rebeca Cárcamo, amiga y compañera en este trabajo de graduación, por brindarme tu confianza, cariño y lealtad durante todos estos años que tengo de conocerte y por tu apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida.

*“Todo lo puedo en cristo que me fortalece”*

*Filipenses 4:13*

**Mercedes Alicia Alvarado Bonilla**

## DEDICATORIA

*SEÑOR, que bueno es agradecerte y entonarte canciones de alabanza, Dios  
Altísimo; proclamar por la mañana tu fiel amor y por la noche tu lealtad.  
Salmos 92:1-2 (PDT)*

Agradezco y dedico este trabajo de investigación a aquel que es todo amor y misericordia, a Dios Todopoderoso. Reconozco que eres digno de toda la gloria y la honra y no hay nadie como tú. Bendito seas.

A mis padres Eduardo y Marta Cárcamo, por su amor y confianza. La distancia no ha sido fácil, pero en todo he buscado honrarlos y vivir de acuerdo con las enseñanzas que ustedes me han dado. Gracias por su testimonio y pasión, los admiro y agradezco los muchos sacrificios que hacen por mis hermanos y por mí, los amo.

A mi hermana Alicia y mi cuñado Emersson, por el cuidado que han tenido de mí durante la carrera, por siempre estar pendientes y motivarme a continuar. A mis ositos lindos a quienes extraño y amo mucho, Jocelyn, Josué y Jonathan.

A mis hermanos Samuel y Sarita, quienes han sido muy pacientes y a pesar de la distancia han sabido cuidar de mí y ayudarme en momentos de necesidad.

A mi abuela Rosa, la mujer más fuerte y valiente que conozco, gracias por sus oraciones y consejos. A mis demás familiares también, gracias.

A mi compañera de trabajo de graduación y amiga Mercedes Alvarado con quien hemos trabajado arduamente en esta investigación.

A nuestra asesora de trabajo de graduación Inga. Eugenia Gamero por su ayuda y guía.

**Rebeca Eunice Cárcamo López**

## RESUMEN

Este documento detalla el proceso de obtención de tricloruro de hierro a partir de hierro residual proveniente de talleres de rectificado de motores al reaccionar con ácido clorhídrico. Se consideraron dos residuos ferrosos que son el hierro fundido y el acero VCN 150. A partir de limaduras de hierro fundido se obtuvieron dos coagulantes identificados como P01 y P04, con concentraciones %m/m de 12.72 % y 6.38 %, respectivamente. Del Acero VCN 150 se obtuvieron dos coagulantes de tricloruro de hierro con código de identificación P02 y P03, las concentraciones obtenidas corresponden a 11.26% y 5.75% para P02 y P03 respectivamente. Adicionalmente se realizaron pruebas de fenoles para comprobar la presencia de tricloruro de hierro, estas resultan positivas al tornar la solución de ácido salicílico de incolora a violeta para todos los coagulantes elaborados. En las pruebas de jarras se evaluaron diferentes parámetros con el fin de verificar la efectividad de coagulante. Estos son, pH, sólidos suspendidos totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Cromo Hexavalente ( $Cr^{+6}$ ). El agua residual cruda tiene de DQO 11,700 mg/l y  $Cr^{+6}$  de 1.4 mg/l. La prueba con mejores resultados es la MA06, en la cual se utilizó 20 ml de P04 en 1000 ml de agua residual de tenería, obteniendo en SST un valor de 133.9 mg/l, pH de 6.5, DQO de 8150 mg/l y  $Cr^{+6}$  de 0.49 mg/l. Estos resultados se compararon con un coagulante comercial, sulfato de aluminio 35% p/v (P00), la prueba MA02 tratada con 20 ml de este químico se obtuvieron como resultado, 142.5 mg/l de SST, un pH de 6.5, DQO de 11800 mg/l y  $Cr^{+6}$  de 0.56 mg/l. Indicando un aumento de DQO y niveles inferiores de  $Cr^{+6}$  en comparación con el agua residual cruda. También se evalúa en una matriz el impacto ambiental que la producción del coagulante tiene, en el cual se concluye que el mayor riesgo es en la salud de las personas debido a la emanación de gases durante la reacción. Se obtuvo el coagulante tricloruro de hierro a partir de hierro residual y se comprobó su efectividad en el tratamiento de aguas residuales, resultando en una reducción de los niveles de SST, DQO y  $Cr^{+6}$  al dosificar cantidades adecuadas de coagulante de acuerdo con la carga química del agua y aplicando agitación conveniente.



# ÍNDICE

TEMA	PAG.
<b>OBJETIVOS</b> .....	i
OBJETIVO GENERAL .....	i
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	i
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	ii
<b>CAPÍTULO I: RESIDUOS METÁLICOS DE TALLERES DE RECTIFICADO DE MOTORES</b> .....	1
1.1. Desechos Sólidos Generados en El Salvador .....	1
1.1.1 Clasificación de Desechos Sólidos.....	4
1.2 Residuos Sólidos Generados en Talleres de Rectificado de Motores .....	8
1.2.1 Características Físicas y Químicas del Hierro Residual .....	11
1.2.2 Gestión de residuos metálicos en talleres de rectificado de motores	23
1.3 Marco legal de desechos sólidos en El Salvador .....	25
<b>CAPÍTULO II: SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b> .....	32
2.1 Generalidades .....	32
2.2 Pretratamiento de aguas residuales .....	34
2.2.1 Cribado .....	34
2.2.2 Desarenado .....	35
2.2.3 Homogenización .....	35
2.3 Tratamiento primario .....	36
2.3.1 Tratamiento físico .....	36
2.3.2 Tratamiento físico químico.....	37
2.4 Tratamiento secundario .....	44
2.4.1 Tratamientos anaerobios .....	44
2.4.2 Tratamiento aeróbico.....	45
<b>CAPÍTULO III: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES</b> .....	47
3.1 Principales fuentes de contaminación del agua .....	48
3.1.1 Vertidos Urbanos .....	48

TEMA	PAG.
3.1.2 Agricultura y Ganadería .....	49
3.1.3 Industrias .....	50
3.1.4 Desechos sólidos.....	51
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO EN SOLUCIÓN A PARTIR DE HIERRO RESIDUAL.....</b>	<b>53</b>
4.1 Selección de hierro residual de talleres de rectificado de motores. ....	53
4.2 Limpieza del hierro residual .....	56
4.3 Método de tamizado por granulometría .....	58
4.4. Obtención del Tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ) en solución .....	59
4.5 Identificación de la presencia de $\text{FeCl}_3$ en la solución obtenida.....	60
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO</b>	<b>63</b>
5.1 Análisis Granulométrico del Hierro Residual.....	63
5.1.1 Tamizado Granulométrico .....	63
5.2 Obtención de Tricloruro de Hierro .....	68
5.2.1 Reacciones Químicas .....	68
5.2.2 Descripción del comportamiento de la Cinética de Reacción .....	69
5.3 Prueba de Fenoles.....	72
5.4 Determinación de la concentración del coagulante.....	73
<b>CAPÍTULO VI: PRUEBAS DE JARRAS</b> .....	<b>75</b>
6.1 Sólidos suspendidos totales.....	75
6.2 Medición de pH en aguas residuales tratadas .....	79
6.3 Turbidez del Agua Tratada.....	80
6.4 Análisis de DQO y Cromo Hexavalente .....	83
6.5 Dosis de Coagulante en Aguas Residuales de Tenería.....	84
<b>CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO</b> .....	<b>89</b>
7.1 Matriz causa y efecto .....	89
7.1.1 Identificación y Evaluación de aspectos e impactos ambientales.....	89
7.1.2 Clasificación de impactos ambientales .....	100

<b>TEMA</b>	<b>PAG.</b>
7.2 Mitigación de Impactos Ambientales.....	105
<b>OBSERVACIONES</b> .....	110
<b>CONCLUSIONES</b> .....	111
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	113
<b>REFERENCIAS</b> .....	114
<b>ANEXOS</b> .....	124
Anexo A. Diagrama de fase hierro-carburo.....	125
Anexo B. Parámetros y valores permisibles para aguas residuales.....	126
Anexo C. Recomendaciones de mezclado para Chevron Soluble Oil B .....	133
Anexo D. Descripción del proceso de limpieza del hierro residual.....	134
Anexo E. Descripción del procedimiento para la elaboración del FeCl <sub>3</sub> .....	135
Anexo F. Marcha de laboratorio para obtener tricloruro de hierro (FeCl <sub>3</sub> ) .....	136
Anexos G. Cálculos.....	142
Anexo G-1. Cálculo para Dp y Sp.....	142
Anexo G-2. Cálculo para % acumulativo, Cc y Cu.....	143
Anexo G-3. Cálculo de Concentración de Coagulante. ....	145
Anexo G-4. Cálculos para Sólidos Suspendedos Totales.....	147
Anexo G-5. Valores Máximos Permitidos de pH.....	147
Anexos H. Resultados de Análisis para DQO y Cr <sup>+6</sup> .....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAG.
<b>Figura. 1-1.</b> Distribución de los diferentes tipos de Desechos sólidos (MARN, 2010).....	2
<b>Figura. 1-2.</b> Grúa con pulpo e imán (Recemsa, 2017).....	4
<b>Figura 1-3</b> Rectificador de válvulas de asiento y torno usado para válvulas de asiento...	10
<b>Figura 1-4</b> Torno usado para camisas.....	10
<b>Figura 1-5.</b> Diagrama de fases Hierro-Carburo de hierro (Diego, 2008) .....	12
<b>Figura 1-6.</b> Diagrama de aleación eutéctica. ....	13
<b>Figura 1-7.</b> Diagrama de aleación hipoeutécticas.....	13
<b>Figura 1-8</b> Microestructura de hierro fundición blanca. (UPV, s.f).....	16
<b>Figura 1-9</b> Microestructura de hierro de fundición gris (UPV, s.f) .....	17
<b>Figura 1-10</b> Fundición maleable (UMA, 2004) .....	18
<b>Figura 2-1.</b> Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa.....	39
<b>Figura 2-2.</b> Fuerzas de atracción y repulsión .....	40
<b>Figura 4-1</b> Polos magnéticos de un imán .....	54
<b>Figura 4-2.</b> Alineación del hierro con el campo magnético. (CREM, 2004).....	56
<b>Figura 4-3.</b> Hierro fundido antes del lavado.....	57
<b>Figura 4-4.</b> Hierro fundido durante el secado. ....	58
<b>Figura 4-5.</b> Hierro fundido después del secado.....	58
<b>Figura 4-6</b> Inicio de Reacción de Acero VCN 150 con HCl.....	59
<b>Figura 4-7</b> Inicio de Reacción de Hierro fundido con HCl .....	60
<b>Figura 4-8.</b> Estructura del ácido salicílico (FBQC, 2010) .....	61
<b>Figura 4-9.</b> Estructura del complejo tetrafenol-Fe (FBQC, 2010).....	61
<b>Figura 4-10.</b> Peso de Ácido salicílico .....	62

<b>FIGURA</b>	<b>PAG.</b>
<b>Figura 5-1.</b> Juego de tamices.....	64
<b>Figura 5-2</b> Curva granulométrica.....	66
<b>Figura 5-3.</b> Característica de Curva Granulométrica (Gallardo, 2016).....	67
<b>Figura 5-4.</b> Lectura de $D_{10}$ , $D_{30}$ y $D_{60}$ .....	68
<b>Figura 5-5.</b> Núcleo sin Reaccionar. ....	70
<b>Figura 5-6.</b> Esquema del modelo Núcleo sin reacción (Conesa, 2014) .....	71
<b>Figura 5-7.</b> Curvas de predicción de la etapa controlante (Conesa,J., 2014) .....	72
<b>Figura 5-8.</b> Prueba de Tricloruro de Hierro en Fenoles .....	73
<b>Figura 5-9.</b> Coagulantes obtenidos. ....	74
<b>Figura 6-1.</b> Muestras de Agua Residual Cruda.....	76
<b>Figura 6-2.</b> Prueba de Jarras para determinar SST.....	76
<b>Figura 6-3.</b> Muestras de SST sometidas a Secado .....	77
<b>Figura 6-6.</b> Muestras de Agua residual clarificadas.....	82
<b>Figura 6-7.</b> Gráfica de los resultados de SST para Lote 1 de Agua residual. ....	86
<b>Figura 6-8.</b> Gráfica de los pH obtenidos para lote 1 de aguas residuales.....	86
<b>Figura 6-9.</b> Gráfica de los resultados de SST para Lote 2 de agua residual.....	87
<b>Figura 6-10</b> Gráfica de los Resultados de Análisis de $Cr^{+6}$ .....	88
<b>Figura 6-11.</b> Gráfica de los Resultados de Análisis de DQO .....	88

## ÍNDICES DE TABLA

<b>TABLA</b>	<b>PAG.</b>
<b>Tabla 1-1.</b> Características químicas y físicas del hierro fundido .....	19
<b>Tabla 1-2.</b> Numeración básica para serie de cuatro dígitos AISI .....	22
<b>Tabla 1-3</b> Tratamientos térmicos recomendados para el Acero VCN 150 serie 4340 .....	23
<b>Tabla 2-1:</b> Caudales tratados en El Salvador 2010.....	33
<b>Tabla 3-1</b> Valores máximos permisibles para aguas residuales de tipo especial.....	47
<b>Tabla 5-1.</b> Diámetros y Superficie de contacto de partículas retenidos por mallas. ....	65
<b>Tabla 5.2</b> Datos experimentales y cálculos.....	65
<b>Tabla 5-3.</b> Concentración de coagulantes .....	74
<b>Tabla 6-1.</b> Identificación de muestras .....	77
<b>Tabla 6-2</b> Datos medidos para determinar los SST .....	78
<b>Tabla 6-5.</b> Descripción de la turbidez de aguas residuales tratadas .....	82
<b>Tabla 6-6.</b> Resultados de análisis de DQO y Cromo Hexavalente. ....	83
<b>Tabla 6-7:</b> Resumen de análisis de datos.....	85
<b>Tabla 7-1.</b> Leyenda de la evaluación de impactos .....	92
<b>Tabla 7-2.</b> Variables ambientales .....	93
<b>Tabla 7-3</b> Identificación de impactos ambientales en la obtención de FeCl <sub>3</sub> .....	94
<b>Tabla 7-4.</b> Evaluación de impactos ambientales en la obtención de Tricloruro de hierro .	98
<b>Tabla 7-5</b> Clasificación de impactos ambientales (Jure y Rodríguez, 1997) .....	100
<b>Tabla 7-6</b> Matrices causa–efecto de Moore.....	103
<b>Tabla 7-7:</b> Nomenclatura para las medidas mitigatorias. ....	106
<b>Tabla 7-8:</b> Medidas mitigatorias.....	107

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Obtener tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ) en solución a partir del hierro residual de talleres de rectificado de motores y evaluar su efectividad como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de tenería.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Clasificar el hierro residual que se genera en un taller de rectificado de motores e identificar sus principales características físicas y químicas.
2. Aplicar una técnica de separación para la selección del hierro residual a utilizar.
3. Aplicar a nivel de laboratorio una marcha para la obtención del coagulante tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ). Y determinar la relación óptima de proporción de los reactivos utilizados para su obtención.
4. Comprobar la presencia de  $\text{FeCl}_3$  en la solución obtenida de la reacción de hierro residual con ácido clorhídrico en presencia de agua oxigenada, a través de un método cualitativo.
5. Realizar pruebas de coagulación-floculación para verificar la efectividad de la dosis obtenida del coagulante en aguas residuales de tenería a nivel de laboratorio.
6. Comparar la efectividad del coagulante obtenido con coagulantes comerciales.
7. Evaluar el impacto ambiental del proceso de obtención del coagulante Tricloruro de hierro a nivel de laboratorio.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente El Salvador enfrenta problemas medioambientales de gran impacto en la salud de las personas, entre estos se encuentran, la contaminación hídrica y la generación de desechos sólidos, especialmente los altos volúmenes de desechos no reciclables y otros con potencial reciclable que no están siendo aprovechados. La contaminación hídrica en El Salvador tiene como principales causas el incremento poblacional, la actividad agrícola y la industrial; sobre todo se puede decir que es a causa de las aguas residuales que sin tratamiento previo son vertidos a cuerpos receptores.

No existe un control en la generación y gestión de los desechos sólidos, aunque existen programas de saneamiento medioambientales, encargados del reciclaje, reducción, recolección y disposición final que necesitan de mayor apoyo por parte de organismos gubernamentales como Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), también el Ministerio de Educación (MINED), Ministerio de Salud de El Salvador (MINSAL) y la empresa privada dado que es responsabilidad de todos los habitantes y no solo de un sector.

Entre los desechos sólidos inorgánicos con mayor potencial de reciclaje se tienen, el papel, el cartón, el plástico, el vidrio, los metales, como cobre, aluminio, zinc, hierro, etc.

Entre los metales más destacados está el acero, que es una aleación entre hierro, carbón y en menor cantidad otros metales, que por sus propiedades físicas y químicas tiene muchas aplicaciones, principalmente en ingeniería y construcción. En el país existen dos empresas que producen aceros largos a partir de chatarra o productos intermedios, CORINCA (Corporación Industrial Centroamericana, S.A de C.V.) e INVINTER/ACEDE (Inversiones Intercontinentales, S.A de C.V. / Aceros de Centroamérica S.A de C.V), que, de acuerdo con el Estudio Sectorial de Competencia en el Sector Acero y Hierro del 2010, no se reporta información sobre sus compras locales e importaciones de chatarra. Tampoco sobre otros demandantes



de chatarra local, tales como Metalúrgica Sarti, y tampoco se tiene información de la estructura de la oferta de chatarra y del hierro residual que generan los talleres de rectificado de motores.

Los talleres de rectificado de motores generan una gran variedad de chatarra, pero también están generando altas cantidades de hierro residual que no es aprovechado en el reciclaje. Para llevar a cabo esta investigación se han seleccionado dos tipos de residuos metálicos, el hierro fundido y el acero VCN 150; que al reaccionar con ácido clorhídrico se obtiene como producto el Tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ). Este es un químico que tiene muchas aplicaciones en la industria, entre ellas el tratamiento de aguas residuales, ya que elimina sólidos suspendidos, trazas de metales DQO y DBO; y tiene la capacidad de trabajar en un amplio rango de pH, desde 4.5 a 12.

El polivinilo de aluminio y el sulfato de aluminio son coagulantes comúnmente utilizados para el tratamiento de aguas residuales en nuestro país, dado a que el proceso de obtención es simple, forman flóculos blancos casi invisibles y la coloración del agua tratada cumple con los parámetros de vertido. Pero es importante mencionar que frecuentemente el sulfato de aluminio requiere de una sustancia como coadyuvante para que mejore la separación de alta turbidez y existen problemas con el alto contenido de aluminio residual.

# **CAPÍTULO I: RESIDUOS METÁLICOS DE TALLERES DE RECTIFICADO DE MOTORES**

En este capítulo se presenta la clasificación de los desechos sólidos que se generan en el país y la problemática medioambiental que El Salvador enfrenta debido a la mala gestión de desechos sólidos. Se enfoca en la descripción de las propiedades físicas y químicas de los materiales ferrosos generados en talleres de rectificado de motores. También se presenta el marco legal y los programas que respaldan la gestión adecuada de este tipo de materiales para la conservación del medio ambiente.

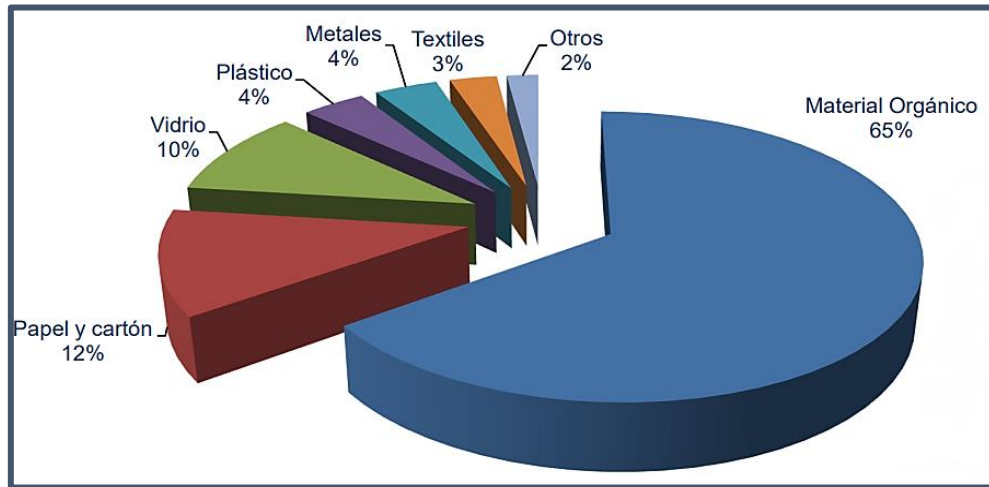
## **1.1. Desechos Sólidos Generados en El Salvador**

En El Salvador los desechos sólidos se conocen como aquellos generados por actividad industrial, humana o de manera natural que pueden ser catalogados como peligrosos o no peligrosos, que ocupan un volumen significativo sobre la superficie terrestre o marítima y que pueden ser reciclables o no reciclables. Muchos desechos sólidos no pueden ser reutilizados o reciclados directamente, sino que necesitan de procesos más elaborados para su transformación en un bien útil.

El exceso de desechos sólidos en el país es debido principalmente al crecimiento poblacional y mala gestión a nivel doméstico e industrial. Estos afectan en diferente medida al medio ambiente, el clima y la salud humana; por su voluminosa ocupación y por su descomposición contaminan y perjudican el suelo, el agua superficial, el agua subterránea y la atmósfera. También son responsables en la alteración del ciclo de vida de plantas y animales.

Es importante conocer el tipo de desecho sólido que se está generando, para así poder darle un tratamiento adecuado y mitigar la contaminación del ambiente; entre los desechos sólidos que más se generan se tienen: papel, cartón, plástico, vidrio, materiales metálicos, madera, textiles, material orgánico, entre otros.

En la figura 1-1 se muestran la proporción de desechos sólidos que se generan según su tipo, esta clasificación se basa en estándares establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



**Figura. 1-1.** Distribución de los diferentes tipos de Desechos sólidos (MARN, 2010)

Estos desechos son materiales con potencial de reciclaje debido a que la mayoría poseen propiedades físicas y químicas que los hacen aptos para poder ser transformados, sometiéndolos a procesos adicionales y así poder ser usados como materia prima para la elaboración de otros productos. En el país existen centros de acopios que se encargan del reciclaje de estos materiales, pero no logran dar abasto con las grandes cantidades de desechos sólidos que se generan día a día.

En el año 2016, según el MARN, en El Salvador diariamente se generan alrededor de 3,400 toneladas de desechos sólidos. Actualmente, se cuenta con 16 rellenos sanitarios autorizados que reciben 3007.47 Ton/día de residuos, de los cuales solamente ocho tienen capacidad para recibir cantidades mayores a 26 toneladas diarias, estos reciben el 98 % de los desechos sólidos (2,961 Ton/día de residuos); estos son los rellenos sanitarios de Nejapa, Sonsonate, San Miguel, Usulután, Santa Ana, La Libertad, Chalatenango y Santa Rosa de Lima.

Se cuenta con ocho rellenos sanitarios de menor capacidad que reciben el 2% (46.7 Ton/día) y operan de forma manual, estos son: San Francisco Menéndez, Atiquizaya, Suchitoto, Santa Isabel Ishuatán, Cinquera, Corinto, Meanguera, y Perquín. El Relleno Sanitario de Ahuachapán se encuentra fuera de operación, debido a esta problemática se emplea el método de las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar), el cual busca combatir el problema desde la casa o desde las industrias donde se están generando los desechos.

Además, en El Salvador el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) presentó en el año 2009 una propuesta de Ley General de Residuos, y fue publicada en el año 2010 con el fin de permitir regular la gestión integral de los residuos para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación y la valorización de todo tipo de residuos, prevenir la contaminación de sitios y permitir su remediación, así como reducir y prevenir los efectos al cambio climático y pasivos ambientales. (MARN, 2010).

Por ese motivo en El Salvador se está implementando la gestión de desechos integrales por medio del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, según el Art. 2 de la *Ley general de gestión integral de residuos*, se han establecido una serie de principios tales como: desarrollo sustentable y sostenible, precaución, prevención, reparación integral, etc. que se deben cumplir con el fin de mantener una gestión de desechos sólidos, evitando el aumento de estos.

La chatarra metálica es uno de los desechos sólidos que mayor potencial de reciclaje tiene en el país, en el Art. 14 de la *Ley general de gestión integral de residuos*, se clasifica como residuos de manejo especial, y el Art. 13 de la *Ley general de gestión integral de residuos* define a los residuos de manejo especial como: aquellos generados en los procesos productivos, que no son peligrosos y que tienen características de gran volumen, difícil manejo, o que son producidos por grandes genera-

dores de residuos sólidos municipales (MARN, 2016b). Las empresas encargadas que reciclan este tipo de material no logran dar abasto con la cantidad que se genera en el país y dejan al libre albedrío la disposición de estos, causando gran impacto al medio ambiente.

Los talleres de rectificado de motores se consideran que son una de las más grandes cadenas de empresas de mecánica automotriz, pero no aprovechan al máximo la cantidad de hierro residual que están generando y únicamente envían a los centros de acopio la chatarra de hierro de mayor volumen (Véase figura 1-2), dejando en los botaderos de basura el hierro residual en forma de viruta o limadura; que, por su reducido tamaño no se logra recoger para ser llevados hacia los centros de acopio.



**Figura. 1-2.** Grúa con pulpo e imán (Recemsa, 2017)

### **1.1.1 Clasificación de Desechos Sólidos**

Los desechos sólidos se pueden clasificar de distinta manera, en orgánicos e inorgánicos, reciclables o no reciclables, por su tiempo de degradación o por su peligrosidad. En este capítulo se clasificarán según su origen; estos pueden ser desechos

sólidos urbanos, desechos hospitalarios y desechos industriales. También se define el tipo de almacenamiento y tratamiento que deben recibir para su disposición final.

## **I. Desechos Sólidos Urbanos (DSU)**

Se conocen como Desechos sólidos urbanos a todos aquellos que son generados por actividades realizadas en casa, en oficinas, escuelas, en la comunidad, residuos generados por limpieza de vías públicas, zonas verdes, residuos de animales, etc.

A medida que pasa el tiempo la generación de los DSU ha incrementado, debido a que en el país muchos ciudadanos optan por usar envases de plástico, vasos, platos y cubiertos desechables no biodegradables; y también por el crecimiento demográfico y a la escasa formación que se tiene acerca del manejo adecuado de los desechos sólidos.

Para poder brindar un manejo adecuado de los desechos sólidos es necesario saber el tipo de DSU que se está generando, en este caso los tipos de desechos son: orgánicos e inorgánicos.

- i. Los desechos orgánicos son todos aquellos que se descomponen naturalmente, como los restos de comida, las frutas, verduras, los huevos, la carne, etc. En otras palabras, son biodegradables.
- ii. Los desechos Inorgánicos son todos aquellos que no son biodegradables, con un tiempo de descomposición mayor, debido a sus propiedades químicas; algunos ejemplos de estos son los plásticos, vidrios, metales que pueden ser aluminio, zinc, hierro fundido, acero, cobre, entre otros.

En El Salvador se manejan los desechos sólidos urbanos de acuerdo con el reglamento de gestión de desechos sólidos, que establece leyes y requerimientos para reducir el impacto ambiental que estos tienen.

Primero se debe distinguir si los desechos sólidos son de origen orgánico o inorgánico. La basura inorgánica se separa colocando en contenedores diferentes el papel, cartón, plástico y vidrio, de esta manera se facilita la implementación de las 3R. Los desechos orgánicos se manejan y se tratan de diferentes maneras, una de ellas es en la elaboración de compost como abono para plantas, y también se pueden obtener biocombustibles a partir de estos.

## **II. Desechos Hospitalarios (DH)**

Se conocen como desechos hospitalarios a todos los materiales generados dentro de un establecimiento de salud. Los desechos que se generan en mayor volumen son: curas, inyecciones, solventes químicos, partes atómicas, incluso restos de comida, cubiertos, platos y vasos desechables.

Según la Norma para el manejo de desechos bioinfecciosos NSO 13.25.01:05 clasifican los DH como: comunes, peligrosos y especiales.

- i. Los desechos hospitalarios comunes o conocidos como no peligrosos son todos aquellos que se generan dentro del establecimiento de salud durante el desarrollo de sus actividades, ejemplo de DH comunes son los que se generan en oficinas, en cocina, en cafetería, área de espera, los pasillos del hospital.
- ii. A diferencia de los desechos hospitalarios comunes, los de clasificación peligrosa son todos aquellos que pueden llegar a provocar un alto riesgo para la salud humana y al medio ambiente, ya que han estado en contacto con los desechos bioinfecciosos, químicos y radioactivos. Los desechos de tipo infecciosos son aquellos que provocan contaminación biológica debido a la presencia de bacterias, parásitos, hongos y virus que pueden producir en los humanos algún tipo de enfermedad de alto riesgo. Mientras que los desechos de tipo químicos son todos aquellos que pueden causar daños desde leves o muy graves (inflamables, tóxicos, corrosivos, etc.),

esto depende de su concentración en químicos y el tiempo de exposición que tenga el individuo. Y por último los desechos hospitalarios de tipo radioactivos que son los presentes en las sustancias emisoras de energía, ejemplo de ellos son los rayos X.

- iii. Los DH especiales son aquellos que contienen agentes patógenos en altas cantidades que pueden provocar riesgos altos para la salud, ejemplos: cultivos, muestras de sangre y residuos patológicos.

### III. Desechos Industriales (DI)

Los desechos industriales son generados a partir de las actividades de manufactura que se realizan dentro de la industria, dependiendo del tipo de industria, los desechos pueden ser reciclables o reutilizables. Al ser aprovechados de esta manera provocan menos contaminación al medio ambiente; sin embargo, muchas industrias no aprovechan los desechos en el reciclaje debido a que en el diseño de sus procesos no está contemplado el reciclaje de subproductos y una adaptación requiere de inversiones que no están contemplados en sus presupuestos.

(Leiva, C. 2000) indica que los desechos industriales son de dos tipos, primero los desechos industriales inertes y asimilables a los DSU y segundo los desechos industriales peligrosos.

- i. **Los desechos industriales inertes (DI)** son los desechos de materiales que provienen de la construcción, tales como: grava, arena y demás materiales que no presentan peligro para el medio ambiente.

Los tipos de tratamientos para DI son la reutilización como relleno en obras públicas y enviarlos directamente a vertederos adecuados.

Ejemplos de desechos industriales inertes: Madera, papel y cartón, metales, plástico, vidrio, caucho, textiles, cueros y desechos orgánicos. La gran



mayoría de estos desechos pueden ser aprovechados en el reciclaje y así mismo disminuir la contaminación ambiental reduciendo el volumen de estos desechos que se arrojan a botaderos de basura o rellenos sanitarios

- ii. **Los desechos industriales peligrosos (DIP)** son todas las sustancias que se generan dentro de la industria que son tóxicas, inflamables, corrosivas o sustancias que provocan reacciones químicas y muchas veces tienen un alto grado de concentración que puede significar peligro para la salud y para el medio ambiente.

La alta peligrosidad aparece cuando estos desechos son difíciles de degradarse en la naturaleza, ejemplos de estos son: los clorofluorocarbonos (CFC), el dicloro difenil tricloroetano (DDT) y los plásticos. Este tipo de desechos son los que tardan más años en degradarse y por lo tanto en la gestión de desechos peligrosos se busca tratarlos de tal manera que no causen daño al medio ambiente y se busca darles tratamientos físicos y químicos con el fin de no elevar el costo del manejo adecuado que se les debe de dar, si el costo es elevado, las industrias no le dan un tratamiento adecuado y estos son arrojados a botaderos no asignados o en muchas ocasiones van a parar a ríos provocando una contaminación al agua y suelo.

Ejemplos de Desechos industriales Peligrosos: pilas o baterías eléctricas, aceites, desechos tóxicos, residuos de arsénico, cianuro, mercurio, cromo, productos de acero, lodos industriales y disolventes.

## **1.2 Residuos Sólidos Generados en Talleres de Rectificado de Motores**

Los residuos generados en talleres de rectificado de motores pueden ser considerados como peligrosos o no peligrosos. Los residuos peligrosos son todos aquellos que afectan grandemente al medio ambiente y pueden causar altos riesgos a la sa-

lud, entre ellos están las baterías, aceites, líquidos usados para los motores de los vehículos, la quema de los carburantes en los motores, aguas de limpieza, entre otros.

Los residuos no peligrosos son todos aquellos que se generan desde la oficina hasta el taller, por ejemplo: papel, cartón, plásticos, chatarra ferrosa dentro de ella están el cobre, el zinc, hierro fundido y acero VCN 150.

ACEROSAL Y MAPRIMA son los proveedores de materia prima al Taller de Rectificado de Motores que brinda el material de hierro para la elaboración del coagulante.

La materia prima que envían estas empresas es sometida a procesos para fabricar las piezas de motores, obteniendo en sus procesos dos tipos de hierro residual: hierro fundido y acero VCN 150 en forma de limadura y viruta, también generan residuos de cobre, aluminio y zinc, pero en menores cantidades.

Las virutas y las limaduras de acero VCN 150 se obtienen después de ser sometidas al proceso de tornado, donde someten cilindros pequeños que son usados para la fabricación de asientos de válvulas, obteniéndose de este proceso las virutas de hierro residual y posteriormente pasan por un aparato donde se le da el acabado final, este aparato es conocido como rectificador de asientos de válvulas (Véase Figura 1-3) de aquí se obtiene la limadura de hierro residual.



**Figura 1-3** Rectificador de válvulas de asiento y torno usado para válvulas de asiento.

Las virutas y las limaduras del hierro fundido se obtienen de someter las camisas (piezas mecánicas) al torno, pero a diferencia del anterior, este torno es usado para piezas de tamaño grande; posteriormente pasa por un rectificador de cilindros y es donde se le da el acabado final (Véase figura. 1-4).



**Figura 1-4** Torno usado para camisas

### 1.2.1 Características Físicas y Químicas del Hierro Residual

El hierro es un metal constituido por aleaciones ferrosas, maleables a la temperatura de fundición que contiene manganeso, carbono y otros elementos de aleación como silicio, azufre y fósforo.

**Aleación:** sustancia con propiedades metálicas y compuesta por dos o más elementos químicos, de los cuales uno por lo menos es un metal elemental.

Los propósitos de las aleaciones son: aumentar la templabilidad, mejorar la resistencia a temperaturas comunes, mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas, mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima, aumentar la resistencia al desgaste, a la corrosión y mejorar las propiedades magnéticas (Avner, S., 1980).

Estructuras del diagrama de equilibrio hierro-carburo (véase figura 1-5):

- i. **Cementita** o carburo de hierro  $\text{Fe}_3\text{C}$  contiene 6.67% por peso. Es un compuesto intersticial típicamente duro y frágil de baja resistencia tensil, pero de alta resistencia compresiva. Es la estructura más dura que aparece en el diagrama.
- ii. **Austenita:** es la solución sólida  $\gamma$  intersticial de carbón disuelto en hierro  $\gamma$  de estructura FCC.
- iii. **Ledeburita:** es una mezcla eutéctica entre austenita y cementita; contiene 4.3% de C y se forma a 2065 °F.
- iv. **Ferrita:** solución sólida "alfa" de estructura BCC. Es la estructura más suave que aparece en el diagrama. Su resistencia tensil es de 40000 lb/pulg<sup>2</sup> y alcanza una elongación de 40% en 2 pulg.
- v. **Perlita:** es la mezcla eutectoide que contiene 0.80% de C y se forma a 722.77 °C a un enfriamiento muy lento. Es muy fina, asemeja una placa o lámina de cementita y ferrita.

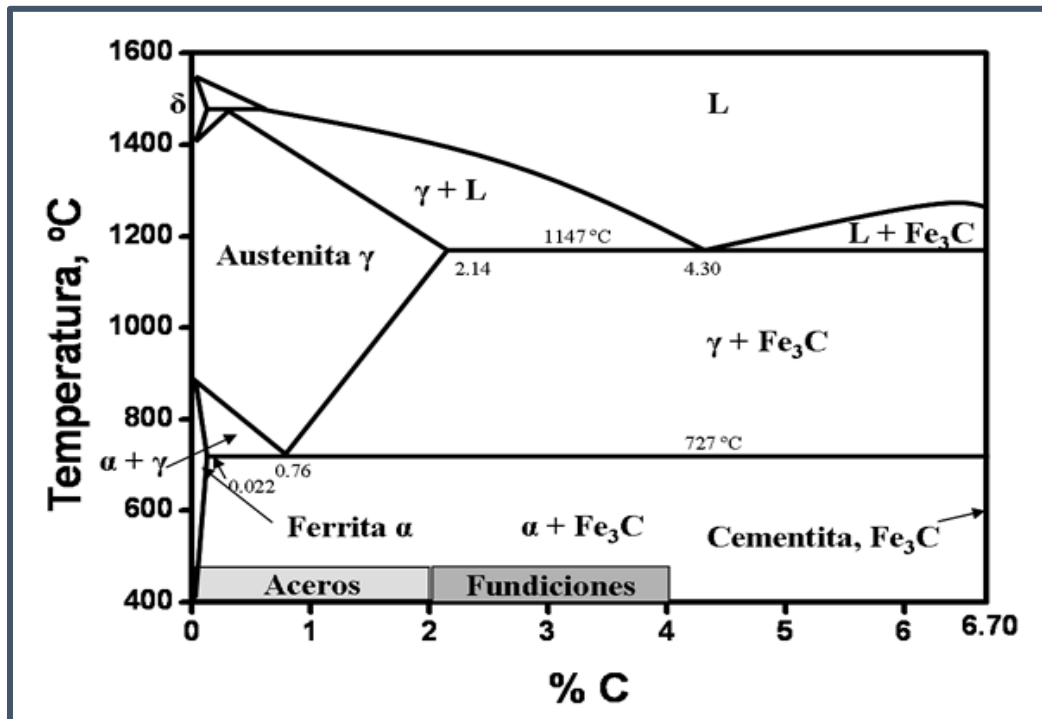


Figura 1-5. Diagrama de fases Hierro-Carburo de hierro (Diego, 2008)

### Tipos de Aleaciones

Los tipos de aleaciones se presentan a través de un diagrama de fases de aleación eutéctica Pb-Sn.

- i. Aleación eutéctica: en la figura 1-6 se muestra línea de enfriamiento de la aleación eutéctica Pb-Sn, configuración laminar de la estructura resultante (Microconstituyente eutéctico).

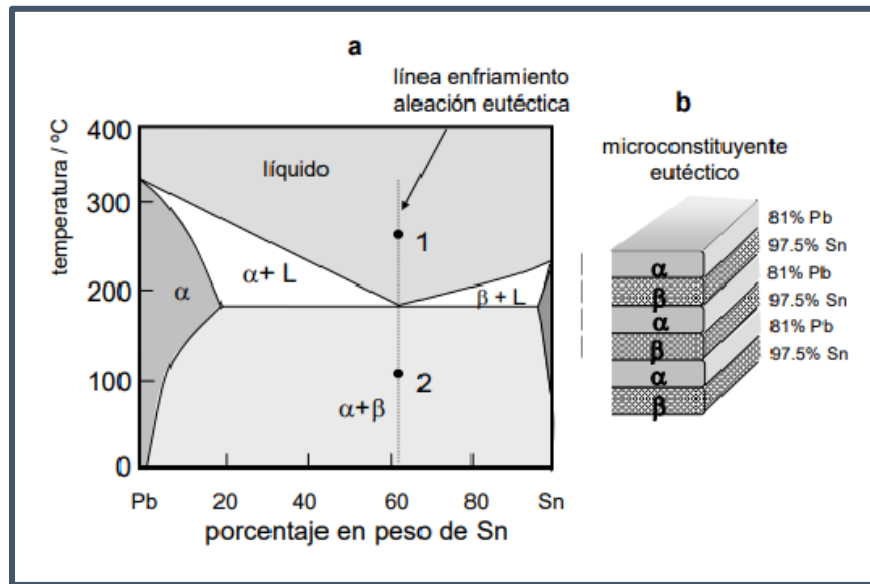


Figura 1-6. Diagrama de aleación eutéctica.

ii. Aleaciones hipoeutécticas (véase figura 1-7):

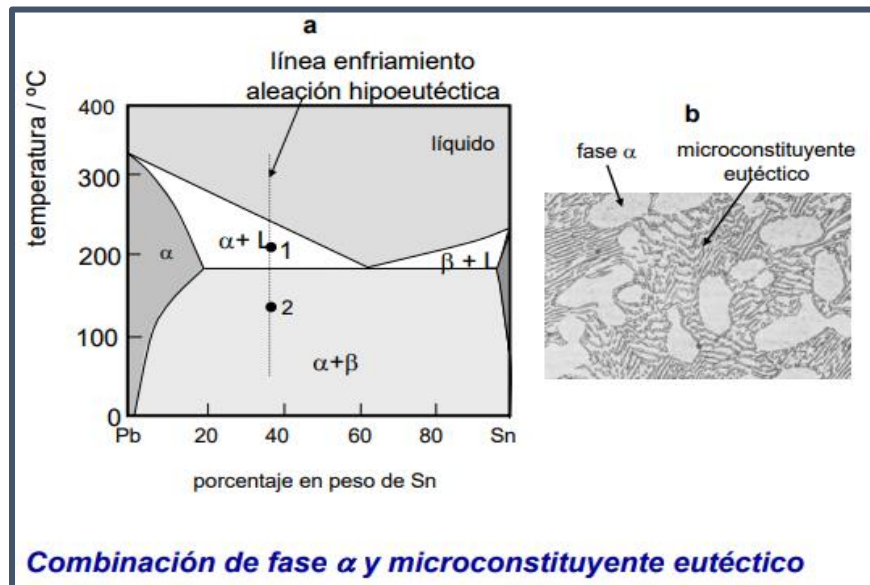


Figura 1-7. Diagrama de aleación hipoeutéctica.

iii. Aleaciones hipereutécticas: son aquellas con contenido de Sn entre un 61 y 91.5%, el tipo de microconstituyente a partir del que está formado es análogo al de las aleaciones hipoeutécticas, sustituyendo las inclusiones de fase alfa por inclusiones de fase beta.

- iv. Aleaciones con bajo contenido de aleantes: para contenidos muy bajos de Pb o muy bajos de Sn la situación es análoga a la de las soluciones isomórficas binarias, formándose una sola fase alfa o beta.

Los tipos de hierro residual generados en talleres de rectificado de motores seleccionados para esta investigación son hierro fundido y acero VCN 150.

## **I. Hierro fundido**

El hierro fundido es una aleación que contiene carbono en exceso de la solubilidad en la austenita que existe en la aleación a la temperatura eutéctica. (Véase anexos A). Contiene entre 2% y 6.67% de carbono, y debido al alto contenido de carbono tiende a hacer muy frágil al hierro fundido, la mayoría de los tipos de manufactureros comerciales están en el intervalo de 2.5% a 4% de carbono. (Avner, S., 1980)

El hierro fundido es un material que es usado en muchas industrias, el propósito de la fabricación de estos es fundirlas y darles forma para fabricar otras piezas que sean de utilidad en la industria mecánica. Estas son sometidas a diferentes pruebas para validar sus características físicas y químicas, las propiedades y microestructura de las fundiciones pueden ser modificadas y mejoradas por medio de ciertos tratamientos térmicos.

Los tratamientos más conocidos que se les da a los hierros fundidos son el recocido, el temple y el revertido.

El recocido se aplica a las fundiciones:

- i. De eliminación de tensiones: el recocido de este se aplica a una temperatura de 550 °C, se utiliza para eliminar tensiones que las piezas tienen a consecuencia de los bruscos enfriamientos que sufren cuando su temperatura desciende, desde la correspondiente a la solidificación hasta la del medio ambiente.

- ii. De ablandamiento: este tipo de recocido se aplica con mayor frecuencia a las fundiciones grises se dan a unos 740 °C, y sirven para mejorar la maquinabilidad y ablandar el material. Fundiciones grises muy duras y las fundiciones atruchadas que contienen cementita hipereutectoide, se recuecen a 850 °C.
- iii. De maleabilización: en el caso de este tipo de aplicación se dan a la fundición blanca para transformarla en maleable, comunicándole gran tenacidad.
- iv. Temple y revertido: se aplica en fundiciones grises, para endurecer y aumentar la resistencia a la tracción por tratamientos térmicos. Logrando que se dé un gran aumento de dureza, aunque se vuelven menos sensibles, de las resistencias a la tracción y de la resistencia al desgaste.

### **Tipos de hierro fundido**

El mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica. Las variables por considerar que dan lugar a los diferentes tipos de hierro fundido son: el contenido de carbono, el contenido de aleación y de impurezas, la rapidez de enfriamiento antes o después del congelamiento y el tratamiento térmico después de fundirse. Los tipos de hierro fundido se pueden clasificar como (Avner, S., 1980):

- i. Hierros de fundición blanco
- ii. Hierros de fundición gris
- iii. Hierros de fundición maleable
- iv. Hierros de fundición nodular (Dúctil)



- i. **Hierros de fundición blanco**, en los cuales todo el carbono está en la forma de cementita, los hierros fundidos blancos son aleaciones hipoeutécticas. Estas fundiciones son las que poseen una mayor resistencia al desgaste y a la abrasión, fundamentada en la gran cantidad de carburo de hierro que poseen, centrandose en estas propiedades sus aplicaciones. Tal como se presenta en la figura 1-8, la estructura de este tipo de fundiciones está formada por el eutéctico del hierro, denominado ledeburita y que se conforma con grandes láminas o zonas blancas de cementita intercaladas con las zonas oscuras correspondientes a la perlita, formada a su vez por láminas alternadas de ferrita y cementita. Este tipo de fundiciones, que presentan muy baja tenacidad, producen al romper una superficie fracturada cristalina y brillante que da origen al nombre de la fundición (UPV, s.f).

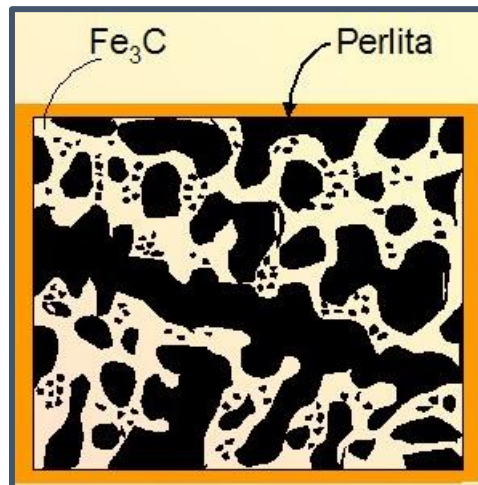
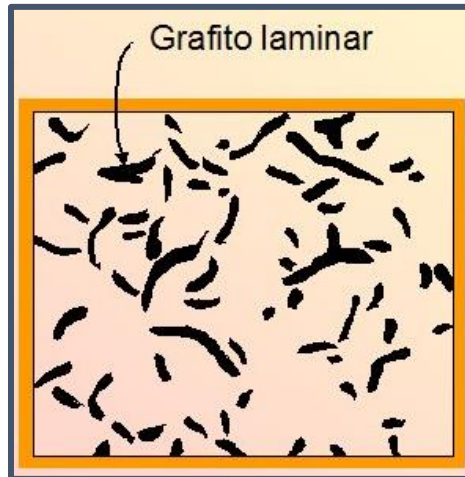


Figura 1-8 Microestructura de hierro fundición blanca. (UPV, s.f)

- ii. **Hierros de fundición gris**, en los cuales la mayoría o todo el carbono está sin combinar en la forma de escamas de grafito. Este grupo constituye una de las aleaciones de hierro más ampliamente utilizadas. En la manufactura de hierros fundidos grises, la tendencia de la cementita a separarse en grafito y austenita o ferrita es favorecida controlando la composición de aleación y las rapidezces de enfriamiento, tal como se muestra en la figura

1-9. La mayoría de los hierros fundidos grises son aleaciones hipoeutécticas.



**Figura 1-9** Microestructura de hierro de fundición gris (UPV, s.f)

Las fundiciones grises se pueden clasificar de varias formas, pero una de las más usuales es la clasificación por la estructura de la matriz, clasificándola en (EcuRed, s.f):

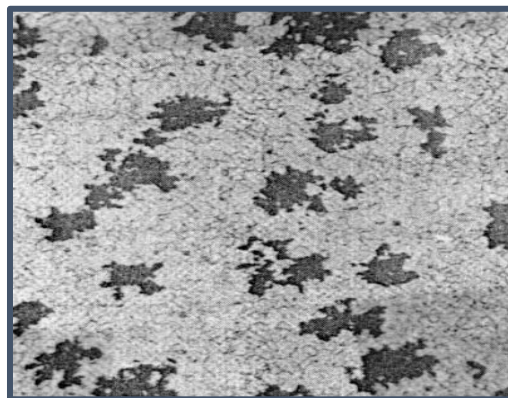
- i. **Fundición gris perlítica:** Su estructura está formada de perlita con inclusiones de grafito. Como se sabe, la perlita contiene un 0,8% de C, por consiguiente, esta unidad de carbono se halla en la fundición perlítica gris en estado ligado (es decir, en forma de cementita). La cantidad restante se encuentra en estado libre, o sea, en forma de grafito.
  
- ii. **Fundición gris ferrítica:** son aquellas que determinan la forma de múltiples laminillas curvadas, que son las que le brindan a las fundiciones grises sus características fracturas grisáceas o negruzcas, esto es debido a que la composición y velocidad de enfriamiento son tales que la cementita eutectoide también se grafitiza haciendo que se presente este tipo de fundición. Siendo la estructura más suave que aparece en el diagrama en el punto H (véase anexos A), teniendo

una solubilidad máxima de 0.025% de C y disuelve solamente el 0.008% de C.

iii. **Fundición gris ordinaria:** esta última fundición está constituida por ferrita y perlita e inclusiones de grafito. En esta fundición la cantidad de carbono ligado es menor que el 0,8 % de carbono.

El hierro fundición gris se utiliza bastante en aplicaciones como bases o pedestales para máquinas, herramientas, bastidores para maquinaria pesada, y bloques de cilindros para motores de vehículos, discos de frenos, herramientas agrícolas entre otras.

iii. **Hierros de fundiciones maleables:** donde la mayoría o todo el carbono está sin combinar en la forma de partículas redondas irregulares, conocidas como carbono revenido, este se obtiene mediante tratamientos térmicos del hierro fundido blanco por calentamiento prolongado en atmósfera inerte (para prevenir la oxidación) a temperaturas entre 800 y 900 °C. En estas condiciones la cementita se descompone para dar grafito en forma de racimos o rosetas dentro de la matriz ferrítica o perlítica. La microestructura se representa en la figura 1-10 y es similar a la de la fundición esferoidal. Se suele emplear en tubos de dirección y engranajes de transmisión, muelles tubulares y partes de válvulas.



**Figura 1-10** Fundición maleable (UMA, 2004)

- iv. **Hierros de Fundición Nodular (Dúctil)**, en los cuales, mediante adiciones de aleaciones especiales, el carbono esta grandemente sin combinar en la forma de esferoides compactas. Esta estructura difiere del hierro maleable en que se obtiene directamente desde la solidificación y las partículas de carbono rodeadas son de forma más rectangular (Avner, S., 1980). Algunas aplicaciones típicas son piezas para tractores y herramientas agrícolas; cigüeñales, pistones y cabezas de cilindros para automóviles y motores diésel; accesorios eléctricos, cajas para interruptor, etc.
- El siguiente cuadro muestra las características químicas y físicas para cada tipo de hierros fundidos.

**Tabla 1-1.** Características químicas y físicas del hierro fundido

<b>Tipo de hierro fundido</b>	<b>Composición química</b>	<b>Característica química</b>	<b>Características físicas</b>
<b>Hierros de fundición blanca</b>	2.5% - 3.2% C y 0.5% - 1.5 % Si.	Conductividad térmica	Resistencia al desgaste por abrasión, dura y frágil.
<b>Hierros de fundición gris</b>	2.5 % - 4.0% C y 1.0 % - 3.0 % Si	Resistencia a la tensión baja	Frágil
<b>Hierros de fundición maleable</b>	2.0 % - 2.6 % C y 1.0 % - 1.16 % Si	Resistencia a la tensión más elevada	Dúctil y tenaz.
<b>Hierros de fundición nodular</b>	3.0 % - 4.0 % C y 1.8 - 2.8 Si <0.03 S y P	Resistencia a la tensión elevada	Ductilidad, alto módulo de elasticidad y tenaz.

**Fuente:** Course Hero, *“Hierro colado carbono otros características usos”*.

El tipo de hierro fundido con el que están elaborados los blocks de motores son de fundición gris, por lo tanto, para fines de esta investigación y de acuerdo con la composición química, características físicas y químicas, el tipo de hierro residual que se utilizará para crear el coagulante se enmarca en la tabla 1-1 de color rojo.

## II. Acero VCN 150

Según el Catálogo de productos de la empresa ACEROSAL S.A de C.V., el acero VCN 150 se define como un acero bonificado, aleado al Cr, Ni, Mo. Está diseñado para ejes de transmisión de maquinaria, sometidos a altos esfuerzos de tracción y torsión.

Los aceros son sometidos a pruebas mecánicas para caracterizar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Se caracterizan de tres tipos: estáticos, dinámicos y periódicos.

Las pruebas o ensayos estáticos son:

- i. Prueba de Tracción: este mide la tenacidad y plasticidad del material, esta prueba se realiza por medio del estiramiento de una probeta normalizada mediante carga axial y conjuntamente se va dibujando una gráfica llamada diagrama de tensiones, donde se muestran el límite de proporcionalidad, de fluencia y tenacidad.
- ii. Prueba de Dureza: esta prueba determina la capacidad del material de resistir la penetración, existen tres métodos diferentes para determinar dureza, entre ellos esta dureza Brinell, dureza Rockwell y dureza Vickers.

Las pruebas o ensayos dinámicos son los de resiliencia, estos dan a conocer la resistencia del material a la rótula por impacto, se determina usando un péndulo de Charpy que mide la energía gastada en el ensayo, la masa y la altura.

Las pruebas o ensayos periódicos son pruebas de fatiga: son acciones actuantes sobre el material adoptando cíclicamente valores extremos, este fenómeno denominado Histéresis produce la rotura de la pieza por acumulación de esfuerzo de esta. Se ejecuta mediante rotación de la probeta (5.000.000 de ciclos), (Ensayos de aceros, (2008)).

### **Generalidades del acero VCN 150 (Abasteinsa).**

Aleación química: 0.34% C, 1.5% Cr, 1.5% Ni y 0.2% Mo.

Color de identificación: Verde Caterpillar.

Mat. No.: 6582.

Normas: AISI 4340 H, DIN: 34CrNiMo. 6.

Estado de suministro: Bonificado 90–130 kg. Mm<sup>2</sup> (Brinell: 270 – 380 HB) (Dureza aprox. 28–38 RC).

Presentación en Plaza: Barra cilíndrica.

El acero VCN 150 es un acero aleado y los aceros aleados se definen como aquello cuyas propiedades características se deben a algún elemento diferente al carbono.

Los aceros se clasifican de diferentes formas, entre ellas esta: por método de manufactura, por su uso y por la composición química.

### **Clasificación de los aceros por su composición química**

Este método indica, por medio de un sistema numérico, el contenido aproximado de los elementos importantes en el acero (Avner, S., 1980). Las especificaciones para los aceros representan los resultados del esfuerzo conjunto de la American Iron and Steel Institute (AISI) y la Society of Automotive Engineers (SAE). Estas asociaciones representan a los diferentes tipos de aceros aleados por medio de series, el primero de los cuatro o cinco dígitos de la designación numérica indica el tipo al que pertenece el acero: 1 Indica un acero al carbono, 2 Un acero al níquel, 3 Un acero al níquel–cromo, etc.

Para los aceros de aleación simple, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante en la aleación. Los dos o tres últimos dígitos generalmente indican el contenido de carbono medio dividido entre 100. Los números básicos para la serie de 4 dígitos de los diversos grados de aceros al carbono y de aleación con porcentajes aproximados de elementos de identificación se muestran en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2.** Numeración básica para serie de cuatro dígitos AISI

10XX – Aceros al carbono
11XX – Aceros al carbono - resulfurizados
12XX – Aceros al carbono - resulfurizados y refosforados
13XX – Manganeso 1.75
23XX – Níquel 3.5
25XX – Níquel 5.0
31XX – Níquel 1.25 y cromo 0.6
33XX – Níquel 3.5 y cromo 1.5
40XX – Molibdeno 0.2 eo 0.25
41XX – Cromo 0.5, 0.8, 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20, 0.30
43XX – Níquel 1.83, cromo 0.50, 0.80 y molibdeno 0.25
44XX – Molibdeno 0.53
46XX – Níquel 0.85, 1.83 y molibdeno 0.20, 0.25
47XX – Níquel 1.05, cromo 0.45, molibdeno 0.20, 0.35
48XX – Níquel 3.5 y molibdeno 0.25
50XX – Cromo 0.4
51XX – Cromo 0.8, 0.88, 0.93, 0.95, 1.0
61XX – Cromo 0.6, 0.95 y vanadio 0.13, 0.15
86XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.20
87XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.25
88XX – Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.35
92XX – Silicio 2.0
93XX – Níquel 3.25, cromo 1.2, molibdeno 0.12
98XX – Níquel 1.0, cromo 0.8, molibdeno 0.25

**Fuente:** (Avner, S., 1980)

El acero VCN 150 tiene una serie AISI 4340 y los aceros de serie 43xx son conocidos como aceros al níquel-cromo-molibdeno triplemente aleados que tienen la ventaja de los aceros níquel-cromo, juntamente con la alta templabilidad proporcionada por el molibdeno.

**Características del acero VCN 150:** se caracteriza por su alta templabilidad y resistencia a la fatiga. Es capaz de ofrecer buenas propiedades en piezas de grandes secciones. No presenta fragilidad de revenido. No se aconseja soldar, únicamente con soldadura especial.

El acero VCN 150 tiene muchas aplicaciones en la industria mecánica, algunas son: partes de maquinaria y repuestos de mayores dimensiones sometidas a altos esfuerzos dinámicos y otras altas exigencias mecánicas, en los talleres de

rectificado de motores se utiliza para asientos de válvulas debido a su alta resistencia térmica, de alta dureza y tenaz.

En la tabla 1-3 se muestran los tratamientos térmicos recomendados para el acero VCN 150 serie 4340.

**Tabla 1-3** Tratamientos térmicos recomendados para el Acero VCN 150 serie 4340 (Valores en °C)

Forjado	Normalizado	Recocido		Templado	Revenido	Puntos críticos Aprox.	
		Ablandamiento	Regeneración			Ac1	Ac3
1050 – 1200	870 – 900	650 - 700	815 – 850	820 -850	540 -650	724	770
			Enfriar al Horno	Aceite			

Fuente: [http://abasteinsa.com/aisi\\_4340h/](http://abasteinsa.com/aisi_4340h/)

### 1.2.2 Gestión de residuos metálicos en talleres de rectificado de motores

Los talleres de rectificado de motores generan grandes volúmenes de residuos metálicos que, al no darles un uso adecuado, pueden contaminar el suelo y agua.

En diferentes países del mundo existen convenios y manuales para concientizar del problema que este tipo de residuos causan al medio ambiente, con el fin de reducir la cantidad que no son enviados al reciclaje para así evitar la contaminación ambiental.

La mayor cantidad de residuos metálicos generados en los talleres de rectificado de motores son de hierro, entre los cuales están el acero y fundiciones. Estos residuos al no ser gestionados correctamente contaminan los suelos, las aguas superficiales y subterráneas por la lixiviación de estos.

En El Salvador, la gestión de los desechos sólidos es responsabilidad del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), empresas privadas y los gobiernos locales promovien-



do las normas que rigen para el cumplimiento de realizar una buena gestión de desechos sólidos.

La mayoría de los desechos metálicos o chatarra (conocida comúnmente en el país) están disponibles para su recuperación ya que en el país existe una alta demanda para los materiales metálicos.

La gestión de residuos metálicos debe asegurar un manejo adecuado. Los componentes para tener en cuenta para una gestión de residuos efectiva son:

- I. Prevención y minimización: se refiere a las políticas del manejo de residuos metálicos. Pretende prevenir la generación de altos volúmenes de residuos metálicos, y optimizando los procesos generadores de residuos con el fin de minimizar la generación de estos.
- II. Recuperación y reciclaje: procura aprovechar al máximo todos los residuos aptos para someterse a procesos de reciclaje, para lo cual es necesario que se someta a una serie de procesos tales como la recolección, transporte, procesamiento, tratamiento y disposición final.

### **Procesos para el aprovechamiento de los residuos metálicos.**

- I. Recolección: En los talleres de rectificado de motores ejecutan la acción de separar el aluminio, zinc, cobre, hierro fundido y acero VCN 150. Se conoce como chatarra metálica a todos los residuos de gran tamaño que son aceptados en los centros de acopio del país, mientras que los hierros residuales son aquellos de tamaño reducido como virutas o limaduras de hierro fundido y acero VCN 150, estos se colectan por separado.
- II. Transporte: debido a las grandes cantidades generadas a diario, la chatarra metálica es llevada a los centros de acopio del país, con el fin de que estos sean clasificados, triturados y compactados para facilitar su proceso de reciclaje. Pe-

ro el hierro residual por su reducido tamaño no se somete a procesos de reciclaje y solamente son arrojados a la basura.

- III. Procesamiento: tratamiento y disposición final: Luego de ser transportados la chatarra metálica es procesada y se le da tratamiento para que sean aptos al proceso de reciclaje, que es donde se les da la disposición final.

### **1.3 Marco legal de desechos sólidos en El Salvador**

El Salvador cuenta con leyes que respaldan la gestión correcta de los desechos sólidos. Entre los Principios de la Política Nacional del Medio Ambiente, el Art. 2 de la Ley de Medio Ambiente, inciso a, se establece que, “Todos los habitantes tienen derecho a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Es obligación del Estado tutelar, promover y defender este derecho de forma activa y sistemática, como requisito para asegurar la armonía entre los seres humanos y la naturaleza”. (MARN, 2012).

El medio ambiente esta tutelado desde la perspectiva institucional, en el Art. 117 de nuestra carta magna donde se establece que: *“Es deber del estado proteger los recursos naturales, así como la diversidad e integridad del medio ambiente, para garantizar el desarrollo sostenible. Se declara de interés social la protección, conservación, aprovechamiento racional, restauración o sustitución de los recursos naturales, en los términos que establezca la Ley. Se prohíbe la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.”*

También en el inciso j del Art. 2 de la Ley de Medio Ambiente se tiene que “En los procesos productivos o de importación de productos deberá incentivarse la eficiencia ecológica, estimulando el uso racional de los factores productivos y desincentivándose la producción innecesaria de desechos sólidos, el uso ineficiente de energía, del recurso hídrico, así como el desperdicio de materias primas o materiales que pueden reciclarse”.

***La ley de medio ambiente define:***

**Desechos:** material o energía resultante de la ineficiencia de los procesos y actividades, que no tienen uso directo y es descartado permanentemente.

**Desechos peligrosos:** cualquier material sin uso directo o descartado permanentemente que por su actividad química o por sus características corrosivas, reactivas, inflamables, tóxicas, explosivas, combustión espontánea, oxidante, infecciosas, bioacumulativas, ecotóxicas o radioactivas u otras características, que ocasionen peligro o ponen en riesgo la salud humana o el ambiente, ya sea por si solo o al contacto con otro desecho.

***Plan de Manejo de Desechos Sólidos***

En el Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos en El Salvador establece que se cuentan con instrumentos legales que presentan las bases para implantar un adecuado manejo de los desechos sólidos en el país. La Ley del Medio Ambiente, en su artículo 52, establece que: *“El Ministerio promoverá, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Gobiernos Municipales y otras organizaciones de la sociedad y el sector empresarial el reglamento y programas de reducción en la fuente, reciclaje, reutilización y adecuada disposición final de los desechos sólidos. Para lo anterior se formulará y aprobará un programa nacional para el manejo Integral de los desechos sólidos, el cual incorporará los criterios de selección de los sitios para su disposición final.”*

La Comisión Presidencial ante esta situación plantea la formulación, consulta y aprobación del Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos, cuyos objetivos estratégicos son (MARN, 2010):

- I. Promover la adopción de hábitos y prácticas de consumo sostenibles, reducir al mínimo la generación de desechos sólidos y aumentar al máximo la reutilización y el reciclaje de estos.

- II. Promover y alcanzar calidad y cobertura universal de los servicios de manejo de desechos sólidos en base a sistemas de manejo integral y sostenible a fin de prevenir la contaminación ambiental y proteger la salud de la población.
- III. Promover el manejo integral de los desechos sólidos articulando el accionar de las instituciones competentes, la responsabilidad empresarial, la participación ciudadana y el acceso a la información.

El objetivo del Plan es mejorar la disposición final y reducir los costos a los municipios a través de la ampliación de la oferta de tratamiento y disposición final de los desechos sólidos y garantizar la sostenibilidad de los sistemas a través de la conciliación de los intereses económicos y sanitario-ambientales, la creación de mecanismos de regulación y la implementación de programas educativos y 3R (Reducción, Reutilización y Reciclaje de desechos sólidos).

También se establece en el numeral I: *“Que el manejo y la disposición de los desechos sólidos constituyen uno de los principales objetivos ambientales nacionales, los que dañan la salud y causan problemas de contaminación, cuando no son confrontados con una política preventiva y global”*. Por lo que se pretende con el reglamento especial sobre el manejo integral de los desechos sólidos, alcanzar la meta de disminuir la cantidad de desechos sólidos que se están generando y manejarlos de forma adecuada en las diferentes áreas donde se producen.

En el título V, capítulo III de la Ley de Medio Ambiente se enfatiza la prevención y control de la contaminación sobre la atmósfera, el agua y el suelo.

- I. **Protección de la atmósfera Art. 47.** Los criterios básicos por los que se rigen son asegurar que la atmósfera no sobrepase los niveles de concentración permisibles de contaminantes, establecidos en las normas técnicas de calidad del aire, relacionadas con sustancias o combinación de estas, partículas, ruidos, olores, vibraciones, radiaciones y alteraciones lumínicas, y provenientes de fuentes artificiales, fijas o móviles; prevenir, disminuir o eliminar gradualmente

las emisiones contaminantes en la atmósfera en beneficio de la salud y el bienestar humano y del ambiente; y El Ministerio, con apoyo del Sistema Nacional de Gestión del Medio Ambiente, elaborará y coordinará la ejecución de planes nacionales para el cambio climático y la protección de la capa de ozono, que faciliten el cumplimiento de los compromisos internacionales ratificados por El Salvador.

- II. **Protección del recurso hídrico Art. 48.** El Ministerio promoverá el manejo integrado de cuencas hidrográficas, una ley especial regulará esta materia. El Ministerio creará un comité interinstitucional nacional de planificación, gestión y uso sostenible de cuencas hidrográficas. Además, promoverá la integración de autoridades locales de las mismas.
  
- III. **Protección del suelo Art. 50.** Se rige por estos criterios: El Ministerio elaborará las directrices para la zonificación ambiental y los usos del suelo. El Gobierno central y los municipios en la formulación de los planes y programas de desarrollo y ordenamiento territorial estarán obligados a cumplir las directrices de zonificación al emitir los permisos y regulaciones para el establecimiento de industrias, comercios, vivienda y servicios, que impliquen riesgos a la salud, el bienestar humano o al medio ambiente; Los habitantes deberán utilizar prácticas correctas en la generación, reutilización, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos domésticos, industriales y agrícolas; El Ministerio promoverá el manejo integrado de plagas y el uso de fertilizantes, fungicidas y plaguicidas naturales en la actividad agrícola, que mantengan el equilibrio de los ecosistemas, con el fin de lograr la sustitución gradual de los agroquímicos por productos naturales bioecológicos; y El Ministerio en cumplimiento de la presente ley y sus reglamentos vigilará y asegurará que la utilización de agroquímicos produzca el menor impacto en el equilibrio de los ecosistemas. Una ley especial contendrá el listado de productos agroquímicos y sustancias de uso industrial cuyo uso quedará prohibido.

La **Ley de Medio Ambiente** en el título I del objeto de la ley, capítulo único objeto de la ley en Art. 1. Establece que la presente ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la constitución de la república, que se refieren a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada y la protección ambiental como obligación básica del estado, los municipios y los habitantes en general; y asegurar la aplicación de los tratados o convenios internacionales celebrados por El Salvador en esta materia.

Es por eso por lo que la **ley de residuos y desechos sólidos** en el Artículo 4 establece que, para los efectos de esta Ley, los residuos y desechos sólidos se clasificarán según su origen y composición, de acuerdo con los criterios técnicos conforme a la presente Ley, su reglamentación y las ordenanzas. En el Artículo 9. Continúa diciendo que el manejo integral de los residuos y desechos sólidos deberá ser sanitario y ambientalmente adecuado, con sujeción a los principios de prevención y control de impactos negativos sobre el ambiente y la salud, conforme a las disposiciones establecidas en esta Ley y a la reglamentación técnica sobre la misma y en el Artículo 11. Dice que, para los efectos de esta Ley, la gestión integral de los residuos y desechos sólidos comprende tanto los procesos como los agentes que intervienen en la generación, recolección, almacenamiento, transporte, transferencia, tratamiento o procesamiento, y aprovechamiento, hasta la disposición final y cualquier otra operación que los involucre.

El reglamento especial sobre el manejo integral de los desechos sólidos fue creado basado en la ley de residuos y desechos sólidos con el fin de garantizar un manejo integral de los desechos sin que afecte la salud de la población, animales y plantas.

En la ley de residuos y desechos sólidos en el título III, Artículo 15 establece que la Comisión Nacional para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos, adscrita al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, como instancia ase-

sora en el establecimiento de políticas, investigación y coordinación en materia de residuos y desechos sólidos. Además en el artículo 21 menciona los deberes y atribuciones de la Comisión Nacional para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos Sólidos y uno de ellos se encuentra en el inciso 5 y es propiciar y proponer al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y a las alcaldías, la normativa técnica reguladora de la actividad de generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, aprovechamiento, tratamiento o procesamiento, y disposición final de los residuos y desechos sólidos.

El reglamento especial sobre el manejo integral de los desechos sólidos y sus anexos, en el decreto N° 42, en el título I, capítulo Único, el Art. 1 establece que: *“El presente Reglamento tiene por objeto regular el manejo de los desechos sólidos. El alcance de este será el manejo de desechos sólidos de origen domiciliar, comercial, de servicios o institucional; sean procedentes de la limpieza de áreas públicas, o industriales similares a domiciliarios, y de los sólidos sanitarios que no sean peligrosos”*.

Según la propuesta de ley general de gestión integral de residuos en su Art. 63 establece que: *“Todos los residuos recolectados y transportados deberán dirigirse a sistemas de reciclaje, reúso, tratamiento, transformación energética, coprocesamiento”*.

En el documento que tiene por título, **“Ordenanza Reguladora de los Residuos Sólidos del Municipio de San Salvador”**, en su **Capítulo IV, Art 17** habla sobre el transporte, almacenamiento, transferencia, tratamiento y disposición final que se le debe de dar a los residuos sólidos que se generan.

En el mismo capítulo, en el Art. 25 habla sobre la DISPOSICIÓN FINAL de los desechos sólidos en San Salvador. *“La Alcaldía Municipal con base a sus recursos técnicos y económicos, establecerá el sistema de disposición final de los residuos sólidos”*.

*dos domésticos o comunes que se recolecten, sin perjuicio de lo que establezcan las leyes y reglamentos de los Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, Salud Pública y Asistencia Social, al respecto”.*

Además, en el país existe el convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos sobre los Desechos Peligrosos y su Eliminación, El Convenio de Basilea fue firmado por el país en el año de 1990 y ratificado en 1991, se incorpora en la legislación nacional mediante la Ley del Medio Ambiente y su Reglamento Especial en materia de Sustancias, Residuos y Desechos Peligrosos.

En el marco del cumplimiento del Convenio de Basilea se pueden autorizar exportaciones de residuos y desechos peligrosos a Estados Parte que cuenten con tecnologías que garanticen que los mismos serán manejados de forma de prevenir contaminación ambiental y que no causarán daños a la salud o el medio ambiente, de conformidad a lo establecido en el artículo 4, numeral 1 habla acerca de las obligaciones en el inciso c) y dice que las Partes prohibirán o no permitirán la exportación de desechos peligrosos y otros desechos si el Estado de importación no da su consentimiento por escrito a la importación de que se trate, siempre que dicho estado de importación no haya prohibido la importación de tales desechos. En el numeral 2, inciso a) habla acerca de Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos en ella, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos.



## **CAPÍTULO II: SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

En este capítulo se presentan los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en El Salvador, describe desde el pretratamiento hasta el tratamiento secundario. Dentro del tratamiento primario se expone el método que se utiliza en esta investigación, tratamiento físico-químico, los tipos de químicos que se utilizan en esta etapa, la obtención del tricloruro de hierro y sus aplicaciones.

### **2.1 Generalidades**

Aguas residuales son aquellas que han recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes y vertidas a un cuerpo receptor.

Las aguas residuales domésticas e industriales en El Salvador han sido evacuadas de las ciudades a través de la red de colectores y vertidas a quebradas, ríos, lagunas, costas o playas sin ningún tipo de tratamiento, por lo que este tipo de vertidos constituye una de las causas más importantes de la contaminación y degradación de las masas de agua.

El país no dispone de un inventario oficial de plantas de tratamiento y los datos que están registrados son de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA, 2009), la Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA, 2009) y del estudio sobre “Gestión de las excretas y las aguas residuales” realizado por Foro Centroamericano y República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento FOCARDAPS y la Cooperación Suiza para el Desarrollo COSUDE en 2013. Según estas fuentes, se puede estimar que el número de plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en el país es de 89, que tratan los siguientes caudales de agua residual (véase tabla 2-1).

**Tabla 2-1:** Caudales tratados en El Salvador 2010

	Gestión ANDA	Gestión comunitaria y privada	Total
Número plantas tratamiento	20	69	89
Caudales tratados en las plantas (millones m <sup>3</sup> /año)	9.46	16.40	25.86
Porcentaje respecto a caudales en alcantarillado (%)	8.52	22.65	13.98

**Fuente:** *Recomendaciones para la selección de tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas en la República de El Salvador* De Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2016

Los registros de vertidos han determinado que el mayor problema de los ríos del país, es el alto grado de contaminación derivada de las descargas de aguas residuales sin tratamiento, asimismo, han permitido diferenciar entre las aguas residuales domésticas e industriales; se estima que las aguas industriales corresponden a menos del 5% del total de vertidos, sin embargo su focalización en algunas zonas prioritarias y la falta de tratamientos adecuados, reflejado en las altas concentraciones de metales pesados y metaloides, agravan el problema. (MARN. 2013).

**Sistema de Tratamiento:** es un conjunto de procesos físicos, químicos o biológicos, que se aplican al agua residual con el fin de mejorar su calidad.

En El Salvador los seis tipos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas más aplicados son filtros percoladores, reactores anaerobios de flujo ascendente más filtros percoladores, lagunas de estabilización, humedales artificiales, aireación extendida y contactores biológicos rotativos.

## **2.2 Pretratamiento de aguas residuales**

Estos se aplican previo a los tratamientos primarios, secundarios o terciarios para aumentar la efectividad de los procesos en la planta de tratamiento de aguas, ya que las aguas residuales pueden venir con desechos muy grandes y voluminosos que pueden afectar el funcionamiento de bombas, tuberías y otros equipos mecánicos.

### **2.2.1 Cribado**

El cribado es una operación que se lleva a cabo con el fin de remover el material grueso, regularmente flotante, que se encuentran en algunas aguas residuales crudas, que puede obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la operación de los procesos de tratamiento. El cribado puede ser grueso, por medio de rejillas o fino por medio de mallas de alambre.

Las rejillas son barras metálicas verticales o inclinadas, espaciadas de 16 a 76 mm y colocadas en los canales de acceso a la planta de tratamiento de aguas, antes de las estaciones de bombeo. Los sistemas de limpieza a través de rejillas pueden ser manuales o automáticos. Las barras pueden ser rectangulares o cuadradas con uno o ambos extremos redondeados.

Las mallas en el cribado fino pueden ser de acero inoxidable, plástico o fibra de vidrio reforzada. Pueden colocarse en marcos fijos o en tambores rotatorios. Al fluir el agua a través de la malla, los sólidos son retenidos en ella. Se utilizan después de las rejillas para disminuir la carga contaminante a los procesos siguientes de tratamiento.

### **2.2.2 Desarenado**

Esta operación se ubica generalmente después del cribado y antes de la sedimentación primaria y es empleada para la remoción de gravillas, arenas, cenizas y otros materiales inorgánicos de tamaño superior a 0.2 mm y densidad superior a 2.5 g/cm<sup>3</sup> presentes en las aguas residuales que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de la planta de tratamiento. También eliminan partículas de origen orgánico, no putrescibles como granos de café, huesos, semillas, etc.

Los canales desarenadores pueden ser de flujo variable o de flujo constante. Los de flujo variable se emplean en pequeñas instalaciones de depuración, y en ellos las arenas se extraen manualmente de un canal longitudinal, con una capacidad para el almacenamiento de arenas de 4-5 días. Los de flujo constante mantienen una velocidad de paso fija, en torno a 0.3 m/s con lo que se logra que sedimente la mayor parte de las partículas de origen inorgánico y la menor parte posible de las de origen orgánico (< 5% de materia orgánica).

### **2.2.3 Homogenización**

La homogenización se lleva a cabo con el fin de regular o disminuir los efectos de la variación de flujo o concentración de las aguas residuales, esto se realiza en tanques donde se balancean las fluctuaciones de calidad del agua a tratar. La mayoría de las plantas de tratamiento de agua son muy sensitivas a este tipo de fluctuaciones.

La homogenización en línea es aquella en la que el tanque está localizado en la misma dirección del flujo de las aguas, pasando por él la totalidad del caudal. En cambio, la homogenización en derivación o paralelo es aquella en la que el tanque está separado del flujo de corriente principal, desviando a éste las aguas que excedan del caudal medio diario.

El uso de aireación en tanques de homogenización en combinación de tiempos de retención, pueden producir una reducción de  $DBO_5$  de 10 a 20%.

## 2.3 Tratamiento primario

Tratamiento primario es el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión y la reducción de contaminación biodegradable, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%.

Los tratamientos primarios más acostumbrados son la decantación primaria y los tratamientos fisicoquímicos.

### 2.3.1 Tratamiento físico

Los tratamientos físicos son empleados para remover partículas sólidas en suspensión que acompañan a las aguas residuales, ejemplo de ellos son la sedimentación y la flotación:

- I. **Decantación primaria o sedimentación:** su objetivo es eliminar la mayor parte posible de sólidos sedimentables, bajo la acción de la gravedad. Aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas donde los sólidos más pesados que el agua precipitan separándose del líquido. La retirada de estos sólidos es muy importante ya que, en caso contrario, originarían fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento de la estación.
- II. **La flotación** es un proceso que se utiliza para separar partículas sólidas o líquidas en un medio líquido. Eso se obtiene por flotación simple o introduciendo burbujas muy finas de aire en la masa líquida y así arrastrar las partículas sus-

pendidas hacia la superficie para ser removidas. Este método físico se utiliza principalmente en la remoción de aceites y grasas, también para la aglutinación de sólidos suspendidos.

### **2.3.2 Tratamiento físico químico**

En este tipo de tratamiento, mediante la adición de reactivos químicos, se consigue aumentar la eliminación de los sólidos suspendidos, y además sólidos coloidales, al incrementarse el tamaño y densidad de estos mediante procesos de coagulación-floculación.

Según el *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*, los tratamientos físico-químicos se aplican fundamentalmente:

- i. Cuando las aguas residuales presentan vertidos industriales que pueden afectar negativamente al tratamiento biológico.
- ii. Para evitar sobrecargas en el posterior tratamiento biológico.
- iii. Cuando se dan fuertes variaciones estacionales de caudal.
- iv. Para la reducción del contenido en fósforo.

#### **I. Coagulación-floculación**

La coagulación es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales que se encuentran suspendidas en el agua residual, esto se produce al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Se conoce como floculación a la aglomeración de partículas que permita la separación de los sólidos suspendidos en el agua residual, esta separación se puede realizar a través de medios físicos como flotación, sedimentación o filtración.

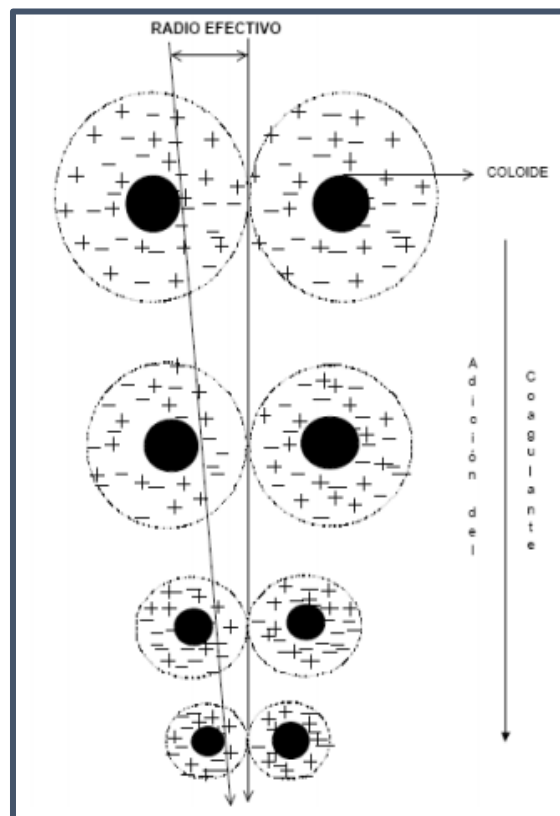
## II. Descripción del proceso

El proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas residuales tiene varios objetivos, entre los cuales destaca la remoción de materia orgánica DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno); eliminación de sólidos en suspensión, reducción de metales pesados, reducción de fósforo y espesamiento de lodos. En la potabilización de agua, se busca la eliminación de color, turbidez y dureza.

En reposo, mucho del material suspendido en el agua residual, puede sedimentar, pero hay otros sólidos suspendidos que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado. (Apaza, W., 2016).

En la Figura 2-1 se muestra como los coagulantes cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide permitiendo la aglomeración y la formación de flóculos. Estos flóculos inicialmente son pequeños, pero se juntan y forman aglomerados mayores capaces de sedimentar con la ayuda de floculantes. Un floculante reúne partículas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es estimulada por un mezclado lento que va uniendo poco a poco los flóculos. Un mezclado demasiado intenso los rompe y rara vez se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. Una buena floculación favorece el manejo del lodo final para su desecación, filtrado, etc. Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo po-

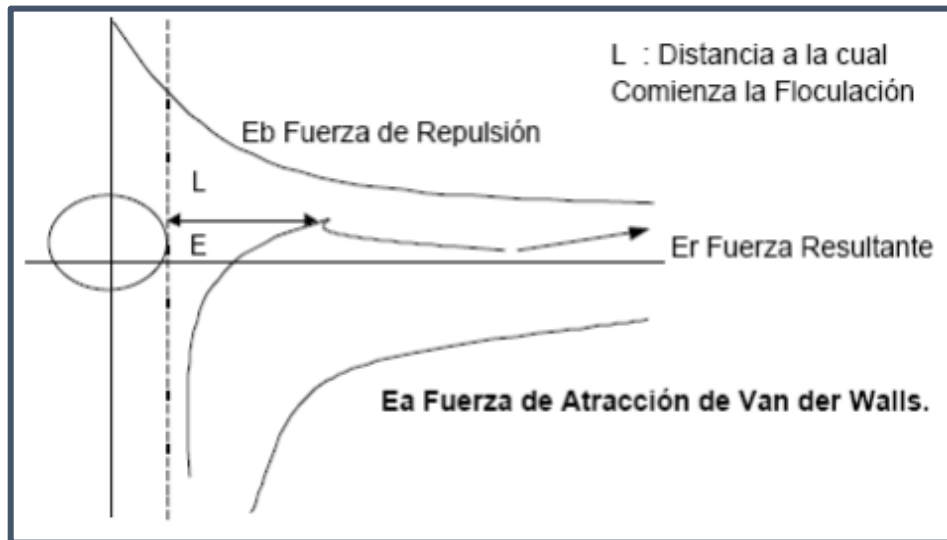
tencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas. Esto se consigue sólo con los iones del coagulante (véase Figura 2-2). Existe por otro lado, un potencial de atracción entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Waals, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Si la distancia que separa a las partículas es superior a “L” las partículas no se atraen. E es la energía que las mantiene separadas. (Apaza, W., 2016).



**Figura 2-1.** Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa

**Fuente:** Apaza, W. (2016)





**Figura 2-2.** Fuerzas de atracción y repulsión  
**Fuente:** Apaza, W. (2016)

Las especies coloidales halladas en aguas superficiales y residuales incluyen arcillas, sílice, hierro, metales pesados, color o sólidos orgánicos como por ejemplo residuos de animales muertos. Se han postulado diversas teorías para describir el fenómeno de las repulsiones entre partículas coloidales. Prácticamente, todo lo que se necesita para definir el sistema es la determinación de la naturaleza y la magnitud de la carga de la partícula. (Apaza, W., 2016)

Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. El movimiento browniano, movimiento caótico comunicado a las partículas pequeñas al ser bombardeadas por moléculas individuales de agua, está siempre presente como una fuerza homogeneizadora natural. Sin embargo, casi siempre es necesaria energía adicional de mezclado. Un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas es lo más efectivo. También son importantes en la coagulación la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas. Así, en aguas de baja turbidez, puede requerirse la adición de sólidos para aumentar dichas colisiones. (Apaza, W., 2016).

### III. Coagulantes utilizados en El Salvador para el tratamiento de aguas residuales

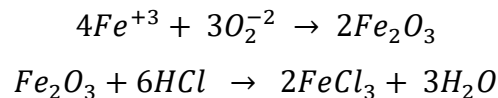
Los productos más comunes en el tratamiento químico de aguas son Sulfato de Aluminio, Cloruro de Aluminio / Policloruro de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruros de Hierro, Sulfatos de Hierro, Mezclas Inorgánicas / Orgánicas. En el Salvador los más utilizados son el Policloruro de aluminio y el sulfato de aluminio.

- i. **Policloruro de aluminio:** Se comercializa como un líquido de color amarillento pálido, mejor conocido como PAC. Se emplea en la potabilización de aguas superficiales y en el tratamiento de los efluentes líquidos residuales. Su función es la de coagular y acelerar la sedimentación de sólidos en suspensión. Por sus características es un producto que da una excelente prestación en el tratamiento de las aguas y efluentes líquidos, sin producir ningún tipo de contaminación ni interferencias. Cuando se utiliza en el tratamiento de aguas, brinda una velocidad de floculación mayor a la obtenida con otros coagulantes inorgánicos. Debido a la polimerización de su molécula permite una alta captación de contaminantes (orgánicos e inorgánicos). Permite trabajar en un amplio rango de pH 6-9, eliminando así ajustes de pH siempre y cuando se trabaje en este pH. (AQ, s.f)
- ii. **Sulfato de aluminio:** conocido como alum. Su fórmula es  $Al_2(SO_4)_3$ . Se presenta en forma granular blanco (o marrón cuando el contenido en hierro es mayor que el 0,5%). Se utiliza para el tratamiento de aguas residuales y en la purificación de agua como agente coagulante. La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales están diseñadas para trabajar con este reactivo debido a que tiene un costo razonable por su fácil obtención. También se emplea en la fabricación de papel, en la construcción como acelerante de fraguado y en estampado en la industria textil.
- iii. **Tricloruro de hierro:** El Tricloruro de hierro o cloruro férrico es un compuesto de fórmula química  $FeCl_3$ . Se trata de un sólido de color verde oscuro que forma cristales. En solución tiene apariencia viscosa de color café oscuro. Es una sus-

tancia corrosiva y entre sus principales propiedades del cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>) se tiene: Densidad: 2,8 g/cm<sup>3</sup>. Masa molar: 162,20 g/mol. Punto de fusión: 260 °C. Punto de ebullición: 315 °C.

#### IV. Reacción de obtención del tricloruro de hierro

Industrialmente el tricloruro de hierro se obtiene en solución a través de la reacción entre el óxido de hierro y ácido clorhídrico. Para esta investigación, se toma como fundamento la información teórica obtenida, a partir del hierro residual brindada en el taller de rectificado de motores, siendo hierro fundido gris y en base a la figura 1-5 *diagrama de fase hierro-carburo de hierro*, donde el hierro tiene una valencia de +3 y este reacciona con oxígeno para obtener el óxido férrico y posteriormente reacciona con ácido clorhídrico para obtener el tricloruro de hierro. (véase Ecuación 1).



**Ecuación 1.** Reacción de oxidación del hierro (III)

**Fuente:** (Reacciones de oxidación - reducción, s.f) y (OXY s.f)

#### V. Usos principales del Tricloruro de hierro.

El tricloruro de hierro tiene múltiples aplicaciones en la industria.

Como coagulante en el tratamiento de aguas residuales industriales y domiciliarias:

- i. Remueve fosfatos
- ii. Reduce sólidos en suspensión
- iii. Precipita metales pesados como cadmio, cromo, plomo, mercurio, etc.
- iv. Deshidrata lodos.

En potabilización de agua:

- i. Reduce turbiedad

- ii. Remueve el color asociado con compuestos orgánicos
- iii. Abatimiento de arsénico

#### En minería

- i. Como agente lixiviante de los concentrados de cobre

#### En química

- i. Materia prima en la elaboración de colorantes
- ii. Agente decolorante en el refinado de aceites y grasas
- iii. Agente oxidante en la industria orgánica

#### En el acondicionamiento de superficies metálicas

- i. Decapado de metales

#### Otros

- i. Textiles
- ii. Circuitos impresos
- iii. Manufactura de artículos metálicos

### **VI. Ventajas del uso de Tricloruro de hierro como coagulante**

- i. Alta velocidad de reacción
- ii. Poderoso agente oxidante que reacciona con los metales más comunes: hierro, cobre, níquel, plomo, mercurio, etc.
- iii. Rango de pH 3.5 – 7.0. es superior en la remoción de sustancias orgánicas, bacterias y plancton.
- iv. El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de hierro y manganeso
- v. No hay problemas con el aluminio residual
- vi. Muchas veces es eficiente sin ayuda de floculación.

## 2.4 Tratamiento secundario

Se conoce como tratamiento secundario al tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso en el que se consiga la eliminación de materia orgánica presente en el agua residual.

El diseño de sedimentadores secundarios varía de los sedimentadores primarios en que se deben considerar los grandes volúmenes de licor mezclado a la salida, por el tratamiento biológico del que procede. El licor mezclado tiene la tendencia de fluir a la entrada del tanque como una corriente densa e interferir en la separación de sólidos y el esparcimiento de lodos.

Por lo que se debe considerar primeramente el tipo de tanque que se desea, circular o rectangular; la carga hidráulica superficial, la carga de sólidos, velocidades de flujo, localización de vertederos y cargas sobre vertederos y la recolección de material flotante.

### 2.4.1 Tratamientos anaerobios

Los tratamientos anaerobios son aquellos que se emplean en ausencia de oxígeno para remover la materia orgánica de las aguas residuales.

**La Digestión Anaerobia:** es el proceso fermentativo que se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y  $\text{CO}_2$ , en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.

Es un proceso que se produce en ambientes naturales como los pantanos, en zonas inundadas para el cultivo de arroz, en los sedimentos de lagos y mares, en fuentes de aguas termales sulfurosas, etc.

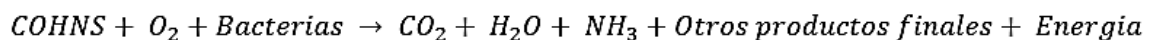
La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el meta-

no producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la demanda química de oxígeno (DQO) teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

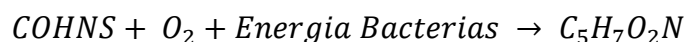
#### 2.4.2 Tratamiento aeróbico

El tratamiento aeróbico o de lodos activados fue desarrollado en 1914 en Inglaterra por Arden y Lockett. Hoy en día esta tecnología es la más ampliamente aplicada a nivel mundial para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Según el *Manual de depuración de aguas residuales urbanas* dice que el tratamiento biológico se realiza con la ayuda de microorganismos que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales. Una parte de la materia orgánica se oxida por la flora bacteriana, que obtiene de esta forma la energía necesaria para el mantenimiento celular (Véase Ecuación 2). De forma simultánea, otra fracción de materia orgánica se convierte en nuevo tejido celular nuevo, empleándose para ello la energía liberada en la fase de oxidación (Véase Ecuación 3).



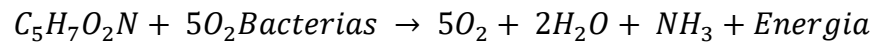
**Ecuación 2.** Reacción de Oxidación. (Charris N., 2014)



**Ecuación 3.** Síntesis. (Charris N., 2014)

Donde COHNS representa los elementos que predominan en la materia orgánica presente en las aguas residuales y  $C_5H_7O_2N$ , la composición media de los microorganismos encargados de la biodegradación de la materia orgánica.

Finalmente, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular. Este tercer proceso se conoce como respiración endógena (Véase Ecuación 4).



**Ecuación 4.** Reacciones de respiración endógena. (Charris N., 2014)

El aporte de oxígeno para mantener las reacciones de oxidación, síntesis y respiración endógena se efectúa introduciendo, generalmente, aire en los reactores biológicos o cubas de aireación que es donde se llevan a cabo estas reacciones.

Las nuevas bacterias que van apareciendo en los reactores, como consecuencia de las reacciones de síntesis, tienden a flocular formando agregados o fangos de mayor densidad que el líquido circundante, y en cuya superficie se va adsorbiendo la materia en forma coloidal.

Para la separación de estos agregados el contenido de los reactores biológicos se conduce a una etapa posterior de sedimentación, clarificación secundaria donde se consigue la separación de los lodos de los efluentes depurados por la acción de la gravedad. De los lodos decantados una parte se purga como lodos en exceso, mientras que otra fracción se recircula al reactor biológico para mantener en él una concentración determinada de microorganismos.

## CAPÍTULO III: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

La mala calidad de agua en la red hídrica de El Salvador está íntimamente vinculada a los vertidos de aguas residuales con alta carga de contaminación y sin un adecuado tratamiento. Ante esta realidad el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con el apoyo y acompañamiento de la Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente (EPA), ha iniciado un proceso para actualizar los límites para vertido de aguas residuales a cuerpos receptores. En el país, más del 88% de las aguas residuales de los ríos tienen altos niveles de contaminación, que van de una calidad pésima a regular. El 12% de las aguas residuales superficiales tienen calidad considerada como buena, es decir que puede ser utilizada para diversos usos previo tratamiento (IAGUA, 2017).

La Norma técnica para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial define que son las generadas por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario. En la Tabla 3-1 se presentan los parámetros y valores máximos permisibles de esta norma.

**Tabla 3-1** Valores máximos permisibles para aguas residuales de tipo especial.

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/l)	Sólidos sedimenta bles (ml/l)	Sólidos suspendido s totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
<b>VIII. PIELS, CUEROS, TALABARTERÍA Y PELETERÍA</b>					
1. Curtidurías y talleres de acabado	1500	850	15	150	50

**Fuente:** CONACYT. (2009). *Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.*



Dependiendo del tipo de industria o actividad productiva (Véase Anexos B), la caracterización del vertido deberá incluir los parámetros descritos en la tabla anterior y se deben de tomar en cuenta para controlar la presencia de los contaminantes de las aguas residuales de acuerdo con todas las normas establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente y de otras instituciones.

### **3.1 Principales fuentes de contaminación del agua**

Entre las principales fuentes de contaminación del agua se encuentran los vertidos de origen urbano, los que se originan de la actividad agrícola y ganadera, los vertidos industriales y los desechos sólidos orgánicos e inorgánicos arrojados hacia el recurso hídrico.

#### **3.1.1 Vertidos Urbanos**

Las aguas residuales urbanas son aquellas que provienen principalmente de domicilios, aguas lluvia y vertidos industriales.

Las aguas residuales domésticas están constituidas por aguas de cocina, que contienen sólidos, materia orgánica, grasas, sales; aguas de lavandería compuestas por detergentes, nutrientes; aguas de baño con jabones, geles, champús y aguas negras procedentes del metabolismo humano, con alto contenido en sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales, organismos patógenos.

Las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema de alcantarillado que se emplea para la recolección y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales. Estas aguas no son puras, dado que se ven afectadas por la contaminación atmosférica y por los arrastres de la suciedad depositada en calles, tejados, etc. Se caracterizan por grandes aportes de caudal y por una importante contaminación en los primeros 15-30 minutos del inicio de las lluvias.

Los principales contaminantes que aparecen en las aguas residuales urbanas son:

- i. Objetos gruesos, tales como trozos de madera, trapos, plásticos, etc., que son arrojados a la red de alcantarillado.
- ii. Arenas, gravas y partículas de origen mineral u orgánico.
- iii. Grasas y aceites que al no mezclarse con el agua permanecen en su superficie contribuyendo a la formación de natas. Su procedencia puede ser tanto doméstica como industrial.
- iv. Sólidos en suspensión de pequeño tamaño y de naturaleza muy variada.
- v. Sustancias con requerimientos de oxígeno como compuestos orgánicos e inorgánicos que se oxidan fácilmente, provocando un consumo del oxígeno presente en el medio al que se vierten.
- vi. Nutrientes ricos en nitrógeno y fósforo, su presencia en las aguas es debida principalmente a detergentes y fertilizantes. Igualmente, las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico.
- vii. Agentes patógenos, organismos como bacterias, protozoos, helmintos y virus; que pueden producir o transmitir enfermedades.

### **3.1.2 Agricultura y Ganadería**

El agua residual de origen agrícola y ganadero es de tipo difusa, en el que la contaminación puede ser de origen natural, entre ellos microorganismos, materia orgánica, nutrientes; o puede ser resultado de la intervención humana, entre los cuales se pueden identificar residuos orgánicos, productos químicos provenientes de la actividad agropecuaria, tales como plaguicidas, fertilizantes; desechos de animales, etc. estos componentes, son arrastrados por el agua hacia áreas de aguas superficiales y por filtración a aguas subterráneas.

El control de la contaminación en fuentes no puntuales es más difícil ya que se desconoce el sitio de entrada a los cursos de agua.

### **3.1.3 Industrias**

Las actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal o directamente a cuerpos receptores constituyen la principal fuente de contaminación de las aguas. Estas aguas presentan una composición muy variable dependiendo de cada tipo de industria.

La composición de las aguas residuales de origen industrial incluye sólidos suspendidos, productos químicos, aguas de enfriamiento, sustancias tóxicas, iones metálicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, etc.

#### **I. Industria de curtiembre**

El proceso de curtiembre consiste en la transformación de la piel animal a cuero. Primero se limpian las pieles de la grasa, carnazas y pelos o lanas, y luego son sometidas a la acción de diferentes agentes químicos que interactúan con las fibras de colágeno para obtener un cuero estable y duradero.

El consumo de agua en las industrias curtidoras es muy elevado, se estima un gasto promedio de 10 kg agua/1 kg cuero.

El curtido al cromo III es el método más utilizado, alrededor del 80% de las industrias curtidoras lo usan debido a las características organolépticas y otras ventajas que el cromo le otorga. El agua residual de baños de curtido al cromo generalmente no se recupera, este efluente presenta alta concentración de cromo (3 y hasta 10 g/L) así como componentes desengrasantes, aminas, cloruros, sulfuros y sodio, condición que identifica a un efluente altamente contaminado. (Álvarez, 2004)

Las operaciones y procesos de las curtiembres generan residuos líquidos y sólidos que se distinguen por su elevada carga orgánica y presencia de agentes químicos que pueden tener efectos tóxicos, como es el caso del sulfuro y cromo. Las variaciones en cuanto al volumen de los residuos y a la concentración de la carga contami-

nante se presentan de acuerdo con la materia prima procesada y a la tecnología empleada (Zárate, 1993).

### 3.1.4 Desechos sólidos

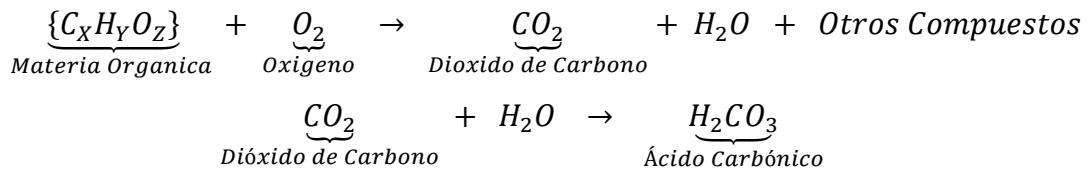
La problemática ambiental relacionada directamente con el manejo de desechos sólidos afecta al ser humano y a su entorno de diferentes maneras, especialmente en los siguientes aspectos:

- i. Factores ambientales enfocados en recursos renovables y no renovables.
- ii. Factores sociales que toma en cuenta la salud.
- iii. Factores económicos como los recursos naturales.

Cada factor antes mencionado afecta a cada uno de los componentes ambientales que los seres humanos necesitan del planeta tierra.

El recurso hídrico es uno de los factores ambientales con mayor impacto por el mal manejo de desechos sólidos (MINAN, S.F) y se define como todos aquellos que forman parte los cuerpos de agua que posee el planeta, tanto las aguas superficiales (ríos, lagos, lagunas, quebradas, océanos; nevados, glaciales) como las aguas subterráneas (pozos, manantiales). El proceso de contaminación de estos cuerpos de agua, causado por la mala disposición de los desechos sólidos, varía según los tipos de agua que pueden ser contaminación de aguas superficiales y contaminación de aguas subterráneas, las aguas superficiales se pueden contaminar con:

- I. **Materia orgánica:** ( $C_xH_yO_z$ ) a través de bacterias, microorganismos y oxígeno genera compuestos que acidifican el agua, eliminan el oxígeno importante para la vida de las especies acuáticas y hace que las aguas para consumo humano se contaminen y generen problemas de salud.



**Ecuación 5.** Contaminación por materia orgánica (MINAN, S.F)

- II. **Taponamiento y represamiento de caudales:** la presencia de basuras, bolsas, colchones, escombros y cualquier elemento que pueda represar el cauce normal de un río o una quebrada puede afectar el flujo normal del agua. En casos muy particulares, como en crecientes repentinas o épocas de alto invierno, lo mismo que con la presencia de gran cantidad de residuos, estos cauces se represan, produciendo inundaciones y afectando a las familias aledañas a estos cuerpos de agua, con lo cual se dañan zonas de cultivo y se impacta negativamente la zona.
  
- III. **Impacto en costas, ríos y mares:** la presencia de residuos en las zonas de recreo y esparcimiento afecta ambiental, social y económicamente las zonas con basura, ya que se causa un deterioro ambiental en las costas, orillas y playas, se amenaza la flora y la fauna marina y fluvial y se afecta el turismo y las actividades económicas relacionadas, como la pesca y la recreación, entre otras.
  
- IV. **Contaminación de las aguas subterráneas.** Ocurre debido a la filtración de lixiviados a través del suelo, que absorbe estos líquidos y los lleva hasta donde se encuentran las fuentes de agua.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO EN SOLUCIÓN A PARTIR DE HIERRO RESIDUAL**

La metodología utilizada para obtener tricloruro de hierro se define en cuatro etapas fundamentales, la primera es la selección, que se realiza utilizando imanes, con el fin de separar el hierro fundido y acero VCN 150 de otros materiales. La segunda es la limpieza, la cual se realiza para eliminar impurezas y lubricantes adheridas al material ferroso seleccionado. La tercera es la clasificación que se realiza utilizando el método granulométrico, para definir el tamaño de partícula para la etapa de obtención, que es la cuarta etapa, donde se da la reacción de obtención del tricloruro de hierro. Finalmente, en este capítulo se realiza una prueba de fenoles para comprobar que en la solución obtenida hay presencia del coagulante.

### **4.1 Selección de hierro residual de talleres de rectificado de motores.**

La selección con imanes se realiza con el fin de separar el hierro residual de las trazas de aluminio, cobre o zinc que el taller de rectificado de motores genera. También los separa de plásticos, hules, óxidos y otras impurezas que pueden estar mezcladas con las limaduras de hierro fundido y virutas de acero VCN 150; los cuales son indeseados para la obtención del Tricloruro de hierro.

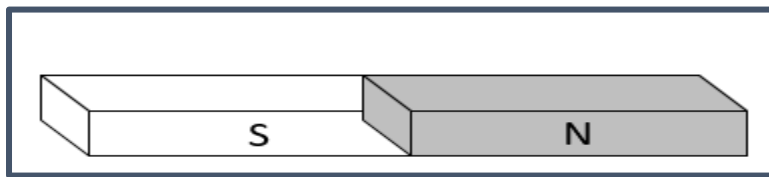
#### **I. Separación magnética**

Es un método físico de separación que consiste en aprovechar el campo magnético generado al acercar un imán a una mezcla, donde el material ferroso es atraído por el imán dejando en el depósito únicamente el material no ferroso.

El campo magnético de un imán es la zona en la que se manifiestan las fuerzas de atracción o repulsión que dicho imán ejerce sobre otros cuerpos. Los imanes atraen con gran fuerza a materiales ferromagnéticos, que son mate-

riales de hierro o acero principalmente, aunque también se da este fenómeno con el níquel y el cobalto.

Un imán tiene dos polos magnéticos en sus extremos (Véase Figura 4-1), que es donde se produce una mayor atracción de materiales ferromagnéticos, y la zona en la que no hay atracción se llama línea neutra. Al dejar libre el imán sobre un eje, se divisa que un extremo apunta hacia el polo norte terrestre y el otro hacia el sur.



**Figura 4-1** Polos magnéticos de un imán

## II. Tipos de imanes:

Los imanes se pueden clasificar según su origen o según la perduración de sus propiedades magnéticas.

Según su origen se dividen en dos tipos:

- i. **Naturales:** se encuentran en la naturaleza y poseen ciertas propiedades magnéticas, por ejemplo, la magnetita.
- ii. **Artificiales:** son fabricados con el fin de potenciar las propiedades magnéticas que poseen, elaborados a partir de materiales ferromagnéticos.

Según la perduración de sus propiedades magnéticas:

- i. **Permanentes:** pueden mantener durante un largo tiempo sus propiedades magnéticas. La mayor parte de los imanes permanentes se fabrican de acero.

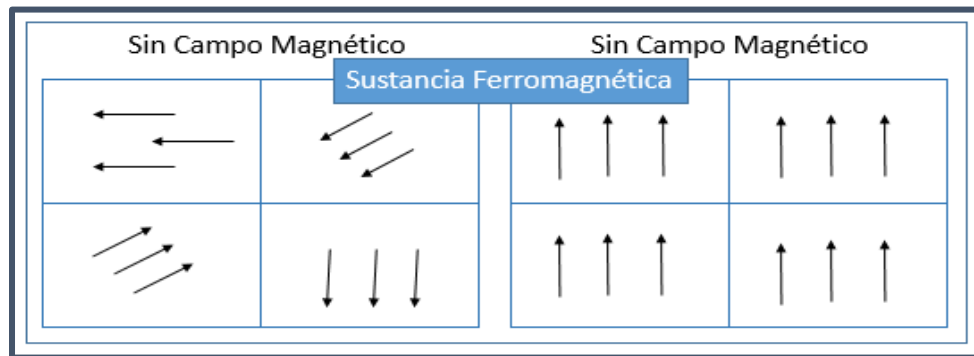
- ii. **Temporales:** son aquellos que mantienen sus propiedades magnéticas únicamente cuando son sometidos a la acción de un campo magnético, generalmente de hierro dulce. Son de gran utilidad para la construcción de núcleos para electroimanes, motores, generadores y transformadores.
- iii. **Cerámicos o ferritas:** Este tipo de imanes son de los más utilizados por su maleabilidad. Los aspectos físicos que lo caracterizan, son su color grisáceo y textura lisa.
- iv. **Alnico:** su nombre está compuesto por las simbologías del aluminio, níquel y cobalto, siendo estos los elementos de los que está hecho este tipo de imán. Este tipo de imán soporta altas temperaturas.
- v. **Imanes de tierras raras:** esta clase de imanes se subdividen en dos categorías de acuerdo con el material químico del que se compone (Enciclopedia de Clasificaciones, 2017):
  - i. Neodimio: están formados por hierro, neodimio y boro. Presentan una oxidación fácil, y se utilizan en aquellos casos donde las temperaturas no alcanzan los 80° C.
  - ii. Samario cobalto: no suelen oxidarse de manera fácil, aunque el precio al que cotizan es muy elevado.

El hierro fundido y acero VCN 150, tienen aleaciones de carbón, silicio, molibdeno, níquel, etc. Tal y como se detalla en el capítulo I, es por lo que son atraídos a imanes separándose fácilmente de otros materiales.

El imán cerámico también conocido como imán de ferrita, es un imán permanente y es el utilizado para la selección de hierro residual en la obtención del coagulante. Este tipo de imán es fabricado de un compuesto de óxido de hierro y carbonato de bario/estroncio mediante tecnologías de procesamiento de cerámicas, presentan un



buen balance entre fuerza magnética, excelente resistencia a la corrosión, temperaturas de trabajo entre -40 °C y 250 °C y con alta fuerza coercitiva (CREM, 2004).



**Figura 4-2.** Alineación del hierro con el campo magnético. (CREM, 2004)

## 4.2 Limpieza del hierro residual

El hierro residual obtenido de talleres de rectificado de motores se somete a un proceso de limpieza, con el fin de eliminar todos los restos de grasa, lubricantes o aceites que estos tengan adheridos.

El aceite soluble, también llamado “Chevron Soluble Oil B”, es utilizado para enfriar las piezas de mecánica automotriz y lubricar el punto de contacto de la herramienta y la parte trabajada, generalmente este aceite se utiliza en talleres de maquinaria como un fluido multifuncional de corte.

Este aceite tiene múltiples aplicaciones, es recomendado para metales (excepto magnesio) en los que se desea un enfriamiento máximo, particularmente cuando se corta con herramientas de carbón, acero de alta velocidad o carburo de tungsteno, además es utilizado en operaciones de tornado, cepillado, formado, aserrado y afilado. El aceite Chevron Soluble Oil B es típicamente diluido en rangos de agua/aceite que van desde 10:1 hasta 50:1. En Anexos C, se presenta la tabla de recomendaciones de Mezclado del aceite para los rangos apropiados de agua/aceite para cada aplicación (Chevron, 2016).

Como se puede percibir en la Tabla de Anexos C, para el hierro fundido la relación agua/aceite es seco, esto se debe a que el hierro fundido no utiliza ningún lubricante, una de las ventajas del hierro fundición gris es que el grafito presente en la estructura hace que las fundiciones grises tengan alta maquinabilidad y buena resistencia al desgaste. El grafito las hace autolubricantes y a la vez amortigua las vibraciones (Rosario, S., Villacorta, H., Falconi, V. y Rengifo W., 2012).

El hierro residual utilizado requiere de un lavado con agua para provocar la oxidación del hierro presente en el Acero VCN 150 y Hierro Fundido. Es necesario tomar en cuenta la importancia que tiene el uso de guantes, mascarillas y gafas, esto ayuda a proteger a la persona que realice la limpieza de estos materiales contra cualquier incidente durante la manipulación de los metales.

En la figura 4-3 se muestra el hierro fundido antes de someterse al lavado, donde pueden identificar que el hierro fundido tiene adherido lubricante, dando una apariencia brillante. Posteriormente se realiza la limpieza para ambos materiales de la misma manera, por separado. Con agua y detergente se realiza el lavado y luego en la Figura 4-4 se muestra la apariencia del hierro fundido durante el secado. Cuando el hierro fundido está seco se oxida con el aire natural (Véase Figura 4-5) y se almacena hasta el momento de utilizarlo, en anexos D, se detallan los pasos a seguir para la realización de la limpieza.



**Figura 4-3.** Hierro fundido antes del lavado



**Figura 4-4.** Hierro fundido durante el secado.



**Figura 4-5.** Hierro fundido después del secado.

### **4.3 Método de tamizado por granulometría**

El tamizado por granulometría es un método físico utilizado para separar sólidos formados por masas de partículas. Consiste en pasar un grupo de partículas por una serie de tamices, para separar por tamaño haciendo uso de diferentes números de mallas, los tamaños de cada partícula se suelen expresar como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra o partículas sometidas al tamizado. Este procedimiento de tamizado se puede llevar a cabo de manera manual o mecánica.

El tamaño de una partícula se puede determinar de forma directa o a través de otras características o propiedades de la masa de partículas. Su tamaño se expresa en términos de diámetro de partícula ( $D_p$ ). Los tamices se utilizan para medir tamaño de partículas, aplicable para tamaños comprendidos entre 38 y 76,000  $\mu\text{m}$ , 0.0015 y 3 pulg ó 0.00381 a 7.62 cm. Para esta investigación se utilizan los tamices estandarizados de las series Tyler.

#### 4.4. Obtención del Tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ) en solución

Luego de haber seleccionado y acondicionado el material ferroso, se procede a la obtención del Tricloruro de hierro a través de la reacción entre el óxido de hierro (acero o hierro fundido oxidado) y el ácido clorhídrico.

Se debe considerar que la velocidad de reacción del hierro con ácido clorhídrico es muy lenta, puede llegar a tardar de 4 a 6 días, dependiendo de la superficie de contacto de las partículas de hierro y concentración del ácido. Asimismo, considerar los riesgos de reacciones químicas exotérmicas y liberación de gases tóxicos. En la figura 4-6 se presenta el inicio de la reacción del Acero VCN 150 y en la figura 4-7 el inicio de la reacción de hierro fundido con HCl, donde se visualiza la formación de una capa negra metálica para ambos.



**Figura 4-6** Inicio de Reacción de Acero VCN 150 con HCl



**Figura 4-7** Inicio de Reacción de Hierro fundido con HCl

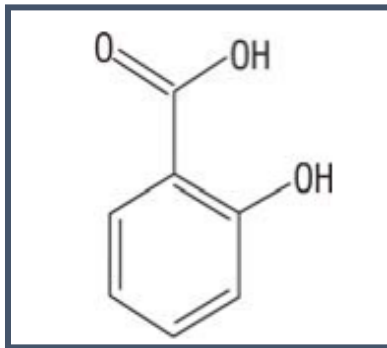
En anexos E, se detalla la descripción del procedimiento experimental que se lleva a cabo y en anexos F, se presenta la marcha de laboratorio utilizada para la elaboración del coagulante.

#### **4.5 Identificación de la presencia de $\text{FeCl}_3$ en la solución obtenida**

La identificación de la presencia de Tricloruro de hierro en la solución obtenida se realiza a través de un método colorimétrico llamado prueba de fenoles.

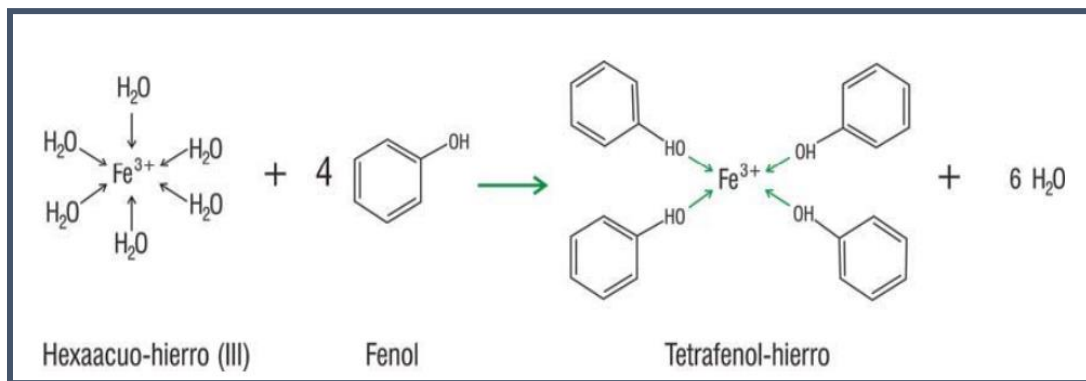
La mayor parte de los fenoles dan disoluciones vivamente coloreadas (azul, verde, violeta, etc.). Algunos fenoles no dan coloración, como la hidroquinona, debido a que se oxidan con el reactivo a quinona y no da coloración. Los ácidos a excepción de los fenólicos no dan la reacción, aunque algunos dan disoluciones o precipitados de color amarillento (Dobado, J., García, F., Portal D., y Sánchez, A., 2003)

El ácido salicílico (Véase Figura 4-8) es un ácido orgánico simple (ácido 2-hidrobenczoico). Es un sólido incoloro que suele cristalizar en forma de agujas y tiene una buena solubilidad en etanol y éter.



**Figura 4-8.** Estructura del ácido salicílico (FBQC, 2010)

Fundamento del método: los fenoles forman un complejo con Fe (III) el tetrafenol-hierro que es intensamente coloreado. La formación de una coloración roja, azul o púrpura indica la presencia de fenoles (Véase Figura 4-9).



**Figura 4-9.** Estructura del complejo tetrafenol-Fe (FBQC, 2010)

La prueba de fenoles es una prueba colorimétrica tradicional para identificación del tricloruro de hierro, dando una prueba positiva, al cambiar el color.

Para la identificación de fenoles se pesa Ácido salicílico (Véase Figura 4-10) y se diluye en Alcohol 70°, Preparando la solución para identificar el Tricloruro de Hierro obtenido.



**Figura 4-10.** Peso de Ácido salicílico

## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO**

En este capítulo se analiza la granulometría de las limaduras del hierro fundido utilizado en la obtención de tricloruro de hierro, para determinar la uniformidad de las partículas de hierro residual. También se describe el comportamiento cinético que presenta este tipo de reacción. Además, se determina la concentración del coagulante obtenido en cada ensayo.

### **5.1 Análisis Granulométrico del Hierro Residual**

El tamizado granulométrico tiene como objetivo analizar el origen del material y las propiedades mecánicas del mismo. Para así determinar la uniformidad del tamaño de partículas seleccionado para la reacción de obtención del coagulante.

#### **5.1.1 Tamizado Granulométrico**

Para realizar este análisis se utiliza un juego de tamices (Véase Figura 5-1), ordenados en orden decreciente de abertura de malla. Las limaduras de hierro se colocan en el primer tamiz, es decir, el que tiene mayor abertura (tamiz malla 4) y se somete a movimientos suaves y así poder determinar la cantidad de partículas que pasan en cada malla hasta llegar a la malla 25. Esta última es la que tiene menor diámetro de abertura en el juego de tamices utilizado.





**Figura 5-1.** Juego de tamices

**Fuente:** (Flores, C., Michue, N., y Navarro, M., 2017)

Una vez tamizado el hierro fundido, en cada tamiz se retienen partículas de Hierro, cada una de estas tiene un tamaño  $D_p$ , esto depende de la diferencia entre la abertura de malla de tamiz inferior y la malla de tamiz superior. Para tener mejor detalle con respecto al Diámetro, el tamaño de partículas retenida en el tamiz se calcula haciendo uso de los promedios de tamaños máximos y mínimos. Para la determinación de diámetros de partículas, se utiliza la ecuación 6a. Además, se determina la superficie de contacto a partir de los diámetros obtenidos, con la ecuación 6b. En Anexos G, se presenta la memoria de cálculos de  $D_p$  y  $S_p$ .

$$D_p = \frac{T_{n,min} + T_{n,max}}{2} \quad \text{y} \quad S_p = \pi * D_p^2$$

**Ecuación 6a**                      **y**                      **Ecuación 6b**

En la tabla 5-1, se presentan los diámetros de partículas y superficie de contacto por mallas retenidos, por ejemplo: para la malla 4, el tamaño promedio de partículas es de 4.05 mm y así sucesivamente, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5-1.** Diámetros y Superficie de contacto de partículas retenidos por mallas.

Malla	Abertura (mm)	Dn (mm)	Sp
4	4.75	4.05	51.5299
6	3.35	2.86	25.6969
8	2.38	2.03	12.9461
12	1.68	1.43	6.4242
16	1.18	1.01	3.2047
20	0.841	0.77	1.8626
25	0.71	0.355	0.3959

Se procede a determinar el peso retenido, el porcentaje retenido por cada tamiz y el acumulado, teniendo en cuenta que la muestra total de hierro residual a tamizar es de: 218.17 g.

En la tabla 5-2 se muestra los parámetros necesarios para determinar el peso retenido de las partículas de hierro fundido y en el Anexo 7-1 se presenta la memoria de cálculos respectivos para completar la tabla 5-2 y realizar las gráficas que se muestran en la figura 5 -2.

**Tabla 5.2** Datos experimentales y cálculos.

Malla	Abertura	Peso retenido	% Parcial retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasado
4	4.75	7.55	3.4606	3.46060	96.5393
6	3.35	14.26	6.5361	9.9967	90.0032
8	2.38	38.02	17.4267	27.4235	72.5764
12	1.68	58.16	26.6581	54.0816	45.9183
16	1.18	53.91	24.7100	78.7917	21.2082
20	0.841	32.86	15.0616	93.8534	6.14658
25	0.71	10.63	4.8723	98.7257	1.27423
<b>Bandeja</b>		2.78	1.27423	100.00	0.0000
<b>Total</b>		218.17	100		

En la tabla 5-2 se muestran los resultados obtenidos del tamizado, donde se logra apreciar que el total de la muestra es de 218.17 g, considerando que todo el hierro residual a tamizar es apto para la elaboración del coagulante, se ha seleccionado el hierro residual retenido en la malla 16 para la obtención del coagulante, con el fin de conocer el diámetro promedio que las partículas tienen; la cantidad de hierro residual en bandeja no es utilizado ya que las partículas son polvos finos que al acercarse al imán no son atraídos.

En la figura 5-2 se muestra la curva granulométrica, esta permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de las partículas (Diámetro). En la gráfica de curva granulométrica, se graficó el porcentaje acumulativo que pasa contra el diámetro de mallas por donde pasaron las partículas para tamizar.

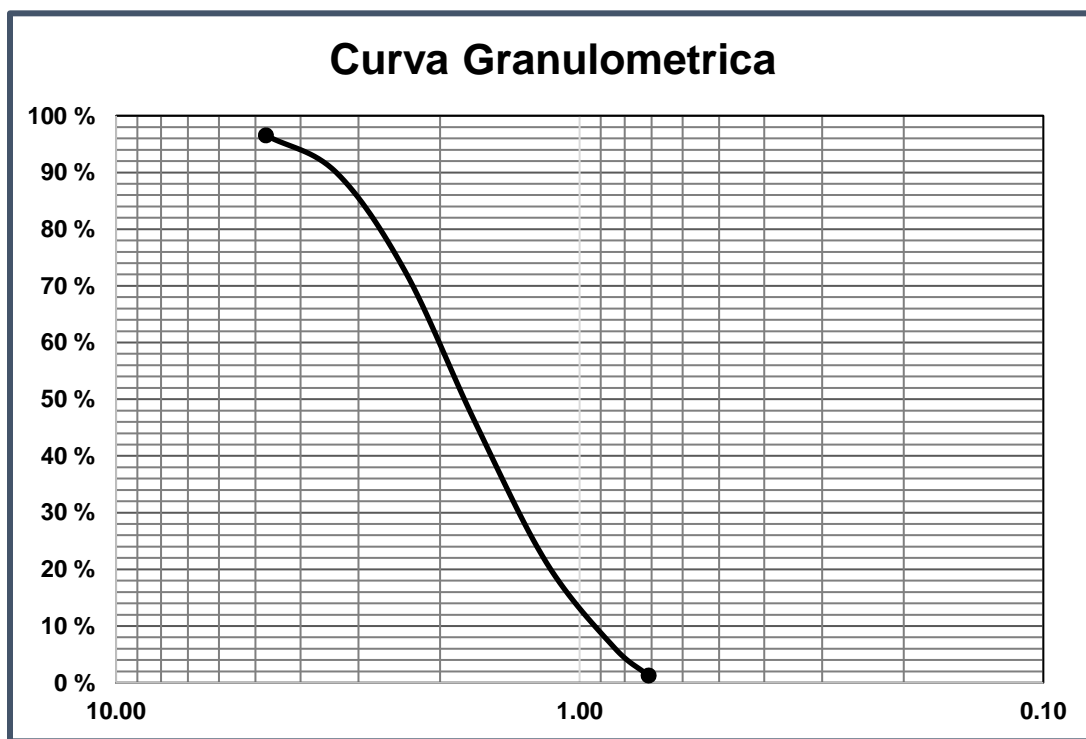


Figura 5-2 Curva granulométrica

En base a la figura 5-3, el autor dice que los tamaños de las partículas son uniformes si la tendencia de la curva es pobremente gradada, pero si la curva tiende a ser bien gradada, los tamaños de partículas no son uniformes.

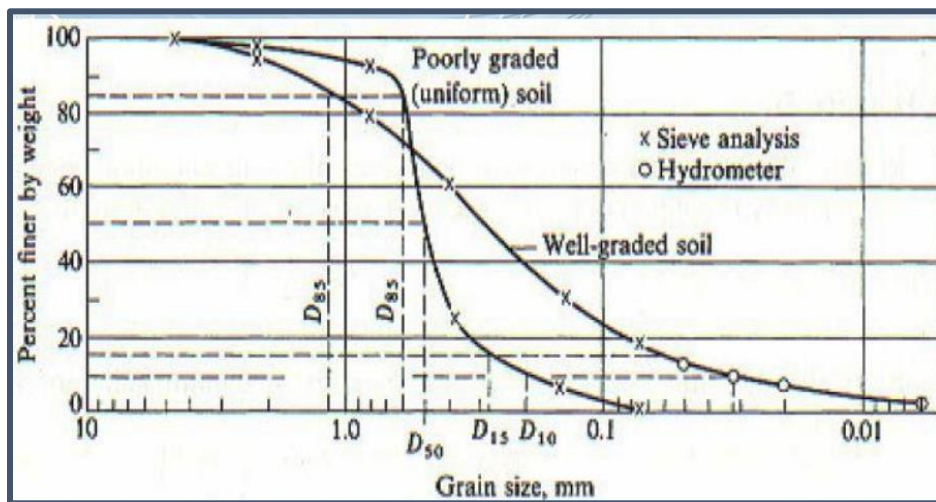


Figura 5-3. Característica de Curva Granulométrica (Gallardo, 2016).

Al comparar la Figura 5-2 con Figura 5-3, se puede notar que la tendencia de la gráfica de la figura 5-2 es muy parecida a la tendencia de la curva poorly graded (pobremente gradada).

Para este tipo de estudio, es importante tener claro algunos conceptos claves, tales como: Coeficiente uniforme y coeficiente de curvatura.

**Coeficiente Uniforme (Cruz, 2009):** Mide la condición de uniformidad o de distribución de tamaños, será de un valor bajo si la curva se extiende poco horizontalmente, e inversamente si se extienden demasiado, esta tendrá un valor grande y habrá una buena distribución de tamaños.

**Coeficiente de Curvatura (Cruz, 2009):** califica que sucede en cuanto a la distribución de tamaños intermedios.

En la figura 5-4 se presenta la curva granulométrica, con el fin de determinar los valores de  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  se leen y con los valores leídos se determina  $C_u$  y  $C_c$ . En anexos G-2, se presenta la memoria de cálculos respectivos; teniendo valores de  $C_u = 2.0$  y de  $C_c = 1.125$  Por lo tanto se puede establecer que las partículas tienen un tamaño uniforme, debido a que sus valores de  $C_u$  y  $C_c$  son bajos y la curva granulométrica indica también el tamaño de las partículas sometidas a análisis.

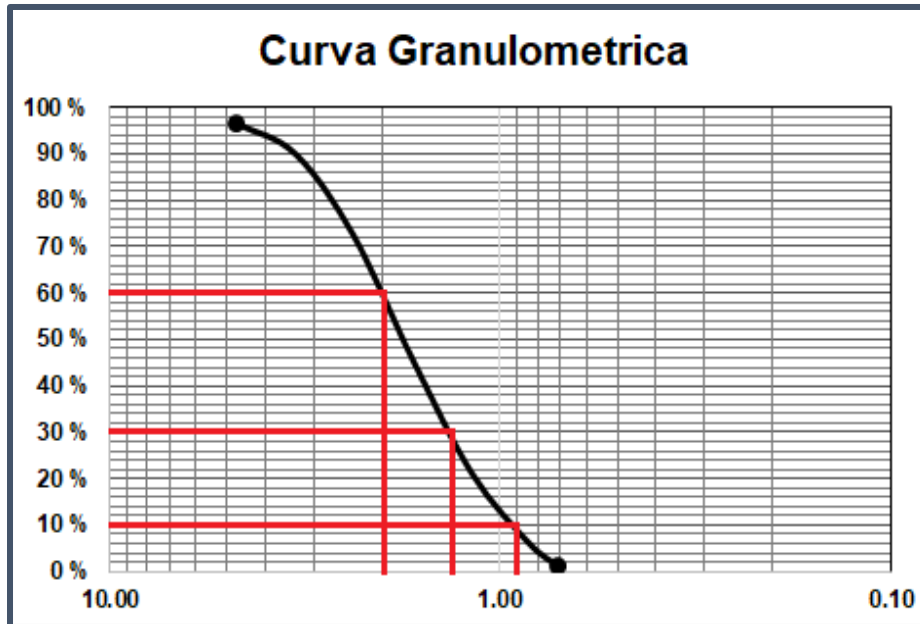


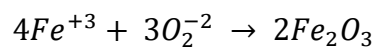
Figura 5-4. Lectura de D<sub>10</sub>, D<sub>30</sub> y D<sub>60</sub>

## 5.2 Obtención de Tricloruro de Hierro

Para la Obtención de tricloruro de hierro se describen las reacciones químicas que se da en cada etapa de la reacción, además se presenta el comportamiento cinético que esta reacción, al ser heterogénea presenta.

### 5.2.1 Reacciones Químicas

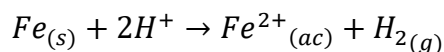
El hierro presente en las aleaciones del hierro residual provisto por el taller de rectificado de motores es el hierro (III). Su reacción de oxidación es la siguiente:



**Ecuación 7.**

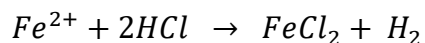
Alcanza la oxidación al lavarlo con agua y finalmente al exponerlo al ambiente ácido donde se da la formación de agua como uno de los subproductos.

El agua en medio ácido es capaz de oxidar el hierro metálico de la siguiente manera:



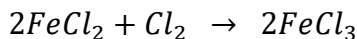
**Ecuación 8.**

El hierro (II) al entrar en contacto con el ácido clorhídrico reacciona para formar cloruro de hierro e hidrógeno molecular:



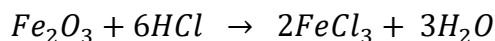
**Ecuación 9.**

El Cloruro de hierro reacciona con las moléculas libres de cloro en la solución reaccionante para formar Tricloruro de hierro de la siguiente manera:



**Ecuación 10.**

Al mismo tiempo el Hierro 3+ del óxido reacciona con el ácido para formar directamente el tricloruro de hierro deseado:



**Ecuación 11**

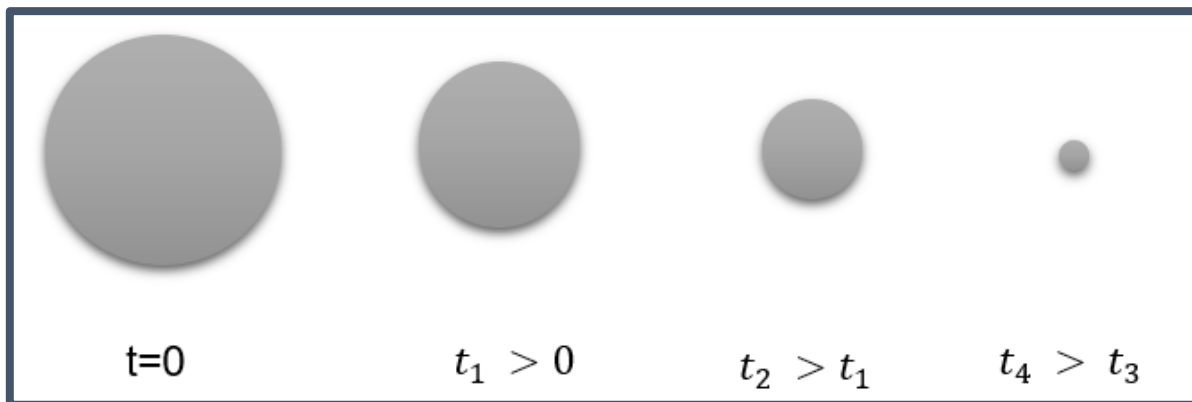
### **5.2.2 Descripción del comportamiento de la Cinética de Reacción**

La reacción principal  $Fe_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2FeCl_3 + 3H_2O$  es una reacción heterogénea no catalítica ya que el óxido férrico se encuentra en estado sólido y el ácido

clorhídrico en estado líquido. Esto da como producto una solución de Tricloruro de hierro.

También se percibe que en este tipo de reacción el fluido reacciona con el sólido hasta agotar las partículas del sólido completamente, por este motivo se interpreta que la reacción de obtención del tricloruro de hierro sigue el Modelo Cinético del Núcleo Sin Reaccionar.

En este modelo, el núcleo de la partícula permanece sin reaccionar ya que el fluido reacciona solamente con la superficie de contacto del sólido. Conforme avanza el tiempo la superficie de la partícula reacciona y su tamaño decrece; también el núcleo sin reaccionar reduce su radio hasta desaparecer completamente como se presenta en la Figura 5-5.

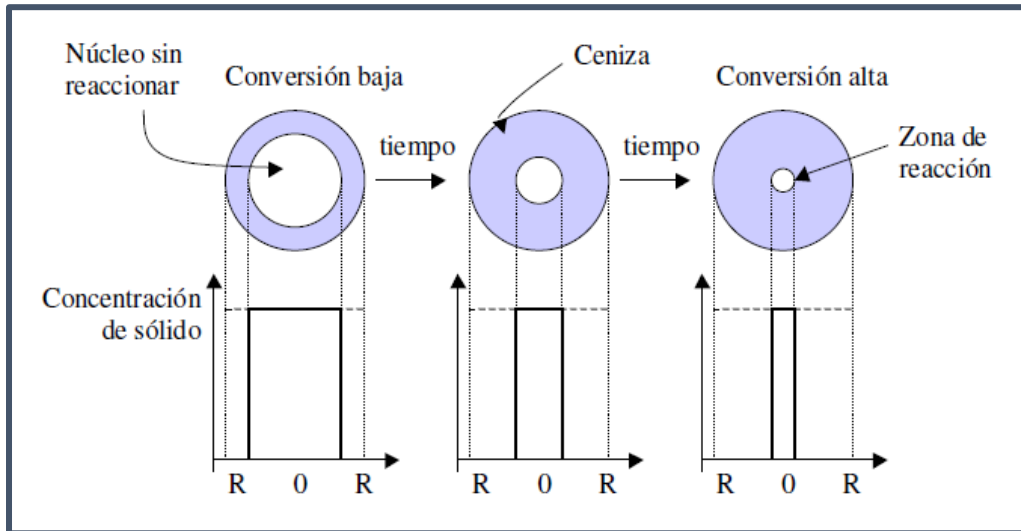


**Figura 5-5.** Núcleo sin Reaccionar.

Consideraciones de la reacción:

- i. La reacción se da en la superficie del sólido.
- ii. No ocurre en todas partes.
- iii. La zona del núcleo se mueve hacia el centro haciéndose más pequeña con el tiempo.
- iv. Deja atrás al material completamente convertido y material inerte (ceniza o producto de ceniza).

La concentración dentro de la partícula es cero debido a la lentitud de reacción del reactante en la superficie del sólido. Se ve un gradiente de concentración en el radio de la partícula (Véase Figura 5-6).



**Figura 5-6.** Esquema del modelo Núcleo sin reacción (Conesa, 2014)

Este modelo describe que para una partícula esférica de radio  $R$ , ocurren tres procesos:

- i. Difusión a través de la película de fluido.
- ii. Difusión a través de la ceniza.
- iii. Reacción en la interface del núcleo sin reaccionar y la ceniza.

### **Determinación de etapa controlante**

Para la determinación de la etapa controlante de la velocidad de una reacción sólido fluido, se sigue la conversión de las partículas sólidas y analizando la influencia de su tamaño y la temperatura en dicha conversión en el tiempo.

La etapa química depende mucho más de la temperatura que las etapas físicas. Por ese motivo los resultados experimentales a diferentes temperaturas permiten distinguir fácilmente cual es la etapa controlante de la reacción. También en la figura 5-7 se presentan las curvas de predicción de la etapa controlante, que compara el com-



portamiento de experiencias cinéticas en distintos periodos de tiempo. Grafica el transcurso de la reacción de una partícula esférica con el fluido de los alrededores en función del tiempo necesario para la conversión completa.

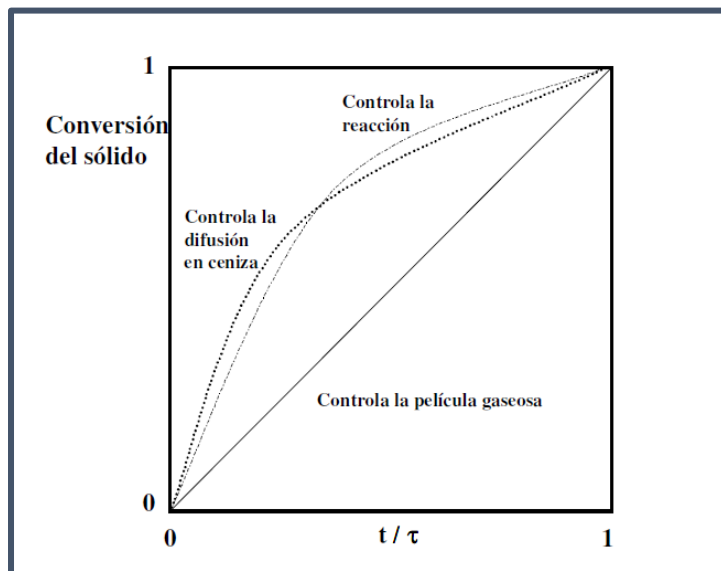


Figura 5-7. Curvas de predicción de la etapa controlante (Conesa,J., 2014)

### 5.3 Prueba de Fenoles

La prueba de fenoles como se describe en el capítulo 4, se realiza para verificar la presencia de tricloruro de hierro en el coagulante elaborado, debido a que bibliográficamente está comprobado cambios de coloración en la solución al entrar en contacto con algunos reactivos.

El ácido salicílico al entrar en contacto con tricloruro de hierro, de incoloros toman una coloración violeta. En la figura 5-8 se muestra como el coagulante titulado P04 tiene el efecto de cambiar la solución de incolora a violeta.



**Figura 5-8.** Prueba de Tricloruro de Hierro en Fenoles

#### **5.4 Determinación de la concentración del coagulante**

Para la determinación de la concentración del tricloruro de hierro a partir de hierro residual y ácido clorhídrico es importante conocer las características físicas y químicas del hierro residual usado, esto permite determinar la masa de hierro puro que reacciona con el ácido clorhídrico para determinar su concentración y de igual forma se hace para el Acero VCN 150, siendo estos los materiales utilizados para esta investigación.

La determinación del porcentaje puro de Fe en los residuos de hierro fundido se realiza a partir de la información que contiene la Tabla 1-1 del capítulo I; donde se lee la composición química del hierro fundición gris y el porcentaje de carbono para este tipo de función esta entre 2.5% y 4% y el porcentaje de silicio es entre 1.0 % y 3.0%. Para la determinación del porcentaje puro de Fe en el Acero VCN 150 se considera el tipo de aleación descrita en el capítulo I, el Acero VCN 150 tiene aleaciones de Cr en 1.5%, Ni en 1.5%, C en 0.34% y Mo en 0.20%.

En anexos G-3, se presenta la memoria de cálculos respectivos para determinar el % m/m de cada coagulante elaborado.

En la Tabla 5-3 se presenta el resumen de las pruebas elaboradas con su respectiva concentración.

**Tabla 5-3.** Concentración de coagulantes.

Nombre de Coagulante	Tipo de Hierro Residual	Peso de Hierro (g)	Vol. de HCl (ml)	% Masa/Masa
P01	Hierro Fundido	15	100	12,7238
P02	Acero VCN 150	15	115	11,2638
P03	Acero VCN 150	15	225	5,7570
P04	Hierro Fundido	15,0477	200	6,3821

En la Figura 5-9 se presentan los coagulantes obtenidos a partir de hierro fundido y Acero VCN 150.



**Figura 5-9.** Coagulantes obtenidos.

## **CAPÍTULO VI: PRUEBAS DE JARRAS**

La prueba de Jarras es una metodología utilizada para tratamientos de aguas con el fin de brindar una simulación del proceso de clarificar las aguas residuales a nivel de laboratorio, es un ensayo fácil, compuesto de varios vasos de laboratorio con muestras de aguas residuales con volumen de 1000 ml. A cada muestra se le agrega una cantidad diferente de coagulante e inmediatamente después de agregarle coagulante se deben de agitar rápidamente durante 60 segundos aproximadamente, luego se agita lentamente durante otro tiempo prolongado para después dejar que las muestras tratadas sedimenten.

### **6.1 Sólidos suspendidos totales**

Las aguas residuales crudas de tenería contienen partículas suspendidas que son transportados por la acción de arrastre y el movimiento del agua, este efecto permite determinar la cantidad de sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales retenidos por un filtro con poro de aproximadamente 1.5  $\mu\text{m}$  secado y llevado a masa constante a una temperatura de  $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en una estufa.

Los niveles máximos permisibles de los parámetros de la norma salvadoreña NSO 13.49.01:09 que deberán ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos se presenta en Anexos B. Siendo para sólidos suspendidos totales un valor de 150 mg/l.

Para determinar los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y comparar la efectividad de los coagulantes tanto el coagulante elaborado (Tricloruro de Hierro) como el coagulante comercial (Sulfato de Aluminio), se realizaron prueba de jarras para dos lotes diferentes de aguas residuales.

#### **Lote 1 de aguas residuales.**

Para el primer lote de aguas residuales, se muestran en la figura 6-1 las aguas residuales crudas sin recibir ningún tratamiento, se puede percibir que las aguas tienen

aparición de aguas con abundantes lodos, de color gris oscuro y con textura gruesa, las 6 muestras son tratadas con coagulantes (Véase figura 6-2) identificando los coagulantes como: P01, P02, P03, P00, y se identifican las muestras como: M03, M04, M05 y M06 teniendo en cuenta que una muestra hace referencia a agua residual más el tricloruro de hierro obtenido en laboratorio, cabe mencionar que la M01 solo contiene agua residual sin recibir ningún tratamiento previo y M02 es la muestra que contiene aguas residuales más coagulante comercial (sulfato de aluminio).



**Figura 6-1.** Muestras de Agua Residual Cruda.



**Figura 6-2.** Prueba de Jarras para determinar SST

En la tabla 6-1 se muestra la identificación de cada muestra con cada prueba de coagulante utilizado y la dosis suministrada de cada uno

**Tabla 6-1.** Identificación de muestras.

LOTE 1 DE AGUA RESIDUAL		
MUESTRA	COAGULANTE	Dosis de Coagulante (ml)
M01	Agua Residual Cruda	-
M02	Agua Cruda + P00	2
M03	Agua Cruda + P03	2
M04	Agua Cruda + P01	2
M05	Agua Cruda + P02	2
M06	Agua Cruda + P03	5

**Nota:** P00 es el coagulante comercial, Sulfato de Aluminio al 35%

Luego de agregar el coagulante a las aguas crudas, se agita, con ayuda de un hot-plate, posteriormente las 6 muestras se filtran para determinar los SST, En la figura 6-3 se evidencian las muestras filtradas sometidas a secado con una temperatura entre 80 °C y 85 °C durante 45 minutos.



**Figura 6-3.** Muestras de SST sometidas a Secado

Los cálculos realizados para determinar los SST que se muestran en la Tabla 6-2 aparecen en Anexos G-4; donde A representa Peso del papel filtro más el peso de residuo seco en mg y B representa Peso del papel filtro en mg

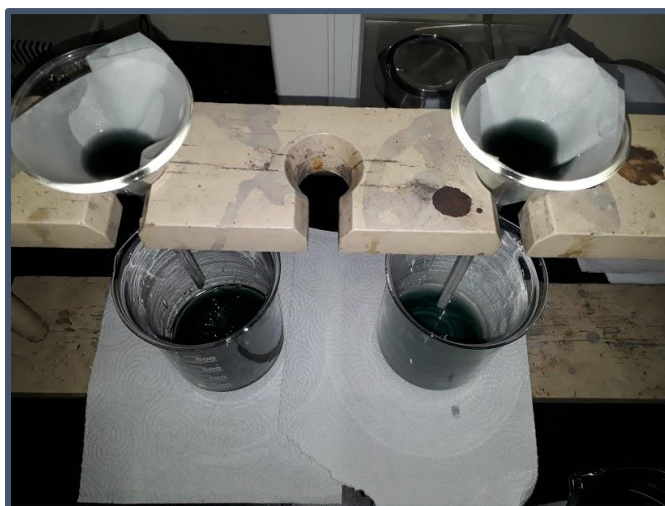
**Tabla 6-2** Datos medidos para determinar los SST

LOTE 1 DE AGUAS RESIDUALES						
NOMBRE DE MUESTRA	A (g)	A (mg)	B (g)	B (mg)	Volumen	SST (mg/L)
M02	1.575	1575	0.296	296	400	3197.5
M03	1.665	1665	0.288	288	400	3442.5
M04	1.2834	1283.4	0.325	325	400	2396
M05	1.511	1511	0.441	441	400	2675
M06	1.3102	1310.2	0.299	299	400	2528

Los valores de SST son altos comparados con el permitido por la Norma Salvadoreña de Permisibilidad para SST, se debe considerar que las aguas residuales de tenería contienen grandes cantidades de partículas orgánicas e inorgánicas disueltas, y necesitan de una dosificación mayor para su reducción.

### **Lote 2 de aguas residuales**

Para el segundo lote de aguas residuales se someten 6 muestras a secado, identificando los coagulantes como: P01, P03, P04 (2 veces en dosis diferente) y P00, se identifican las muestras como: MA03, MA04, MA05 Y MA0. En la Figura 6-4 se muestra prueba de jarras para las muestras MA02 y MA04, teniendo en cuenta que una muestra hace referencia a agua residual más el tricloruro de hierro obtenido en laboratorio, cabe mencionar que la MA01 solo contiene agua residual sin recibir ningún tratamiento previo y MA02 es la muestra que contiene aguas residuales más coagulante comercial (sulfato de aluminio). Este segundo lote se envía a análisis de laboratorio para la determinación del contenido de DQO y Cr<sup>+6</sup>.



**Figura. 6-4.** Prueba de jarras lote 2

En la tabla 6-3 se muestran los resultados obtenidos de SST de las muestras que pertenecen al lote 2 de aguas residuales, pero para este caso, se utilizan 1000 ml de agua residual cruda y la dosis de coagulante adicionada es de 15 ml y de 20 ml.

**Tabla 6-3.** SST para lote 2 de aguas residuales

<b>Muestra</b>	<b>A (mg)</b>	<b>B (mg)</b>	<b>Volumen en ml</b>	<b>Dosis de Coagulante</b>	<b>SST (mg/L)</b>
MA02	360.5	218	1000	20 ml	142.5
MA03	392.1	221	1000	5 ml	171.1
MA04	396.0	220	1000	15 ml	176
MA05	360.8	216	1000	15 ml	144.8
MA06	350.9	217	1000	20 ml	133.9

Como se presenta en la tabla 6-3 las muestras que obtiene mejores resultados de SST son: MA02, MA05 y MA06.

## **6.2 Medición de pH en aguas residuales tratadas**

El pH se mide para tener una definición clara de la alcalinidad y acidez del agua residual tratada, el pH tiene escalas desde ácido hasta alcalino, sus valores compren-



den desde 0 a 7 indica que es ácido, si el pH es de 7 es neutro, pero si es entre 7 y 14 es alcalino. Para determinar el pH existen diferentes métodos de medición, para esta investigación se utiliza un pH metro con soluciones buffer de 4, 7 y 10 para calibrarlo y posteriormente determinar el pH de las muestras a analizar.

En anexos G-5, la norma salvadoreña NSO 13.49.01:09 presenta los Parámetros complementarios sobre valores permisibles para aguas residuales descargadas a cuerpos receptores establece que el rango de pH es de 5.5 a 9, en base a la Norma, se toman medidas de pH y se determina en laboratorio para cada muestra; estos resultados se detallan en la tabla 6-4; donde se realiza medición de pH para 8 muestras de las cuales 6 corresponden al lote 1 de aguas residuales y 2 muestras al lote 2 de aguas residuales.

**Tabla 6-4.** Medición de pH para aguas residuales de tenería tratadas.

<b>Muestra</b>	<b>Coagulante</b>	<b>Dosis</b>	<b>Volumen de agua Residual (ml)</b>	<b>pH</b>
M01	-	-	400	6.5
M02	P00	2 ml	400	5.6
M03	P03	2 ml	400	5.5
M04	P01	2 ml	400	6.0
M05	P02	2 ml	400	6.7
MA02	P00	20 ml	1000	6.5
MA05	P04	15 ml	1000	6.0
MA06	P04	20 ml	1000	6.5

Los valores medidos en laboratorio de pH varían entre 5.5 y 6.7 estando todos los valores dentro del rango permitido por la norma salvadoreña.

### **6.3 Turbidez del Agua Tratada.**

La turbidez es una característica óptica que describe la claridad u opacidad del agua. Este parámetro no tiene ningún efecto sobre el color, sino que se enfoca en la

pérdida de transparencia debido al efecto que tiene los sólidos suspendidos totales en las aguas.

Este parámetro se determina de forma descriptiva, a partir de la prueba de jarras con el Lote 1 de aguas residuales. Según el documento publicado en la página de Nihon Kasetsu establece que cuanto más turbia, menor será la calidad del agua, cabe mencionar que existen otros métodos para determinar la turbidez del agua, uno de ellos es el turbidímetro, que es un método más exacto, pero para fines de esta investigación, se considera que un método óptico es adecuado.

En la Figura 6-5 se muestran las aguas residuales tratadas a las que se les realiza un análisis visual acerca de la turbidez que estas presentan.



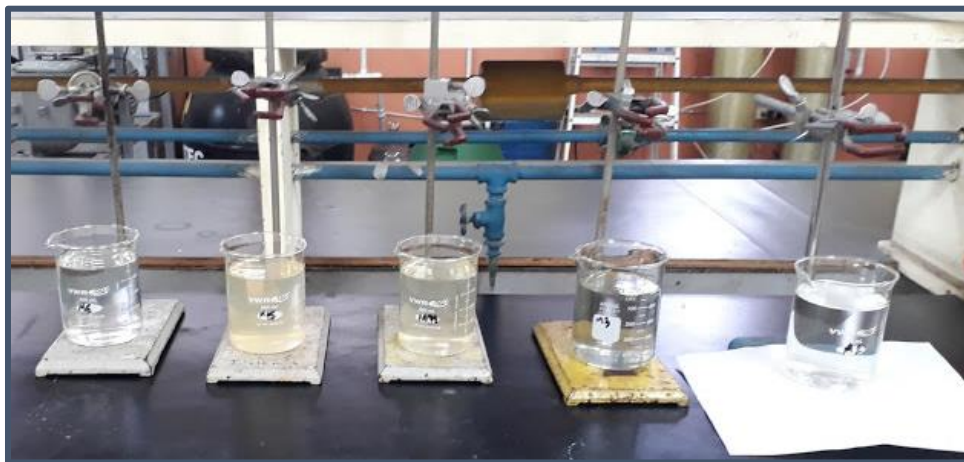
**Figura 6-5** Aguas Residuales Crudas con Coagulantes.

En la Tabla 6-5 se realiza una breve descripción del comportamiento de las muestras después de agregar el coagulante y dejarlas reposar para que sedimenten adecuadamente.

**Tabla 6-5.** Descripción de la turbidez de aguas residuales tratadas.

MUESTRA	ANTES DEL FILTRADO	DESPUÉS DEL FILTRADO
M02	Apariencia café oscura, abundantes partículas flotantes en la superficie.	Agua de color café claro, aparentemente transparente a la luz, pero con abundante turbiedad, lodos color café.
M03	Sedimenta y clarifica partículas blancas suspendidas	Agua cristalina, transparente sin turbidez aparente. Lodos de color azul.
M04	Coloración gris azulada, sedimentos al fondo, partículas de color suspendidas le dan coloración al agua	Agua transparente con aspecto a coloración verdosa, sin turbidez aparente. Lodos negros verdosos
M05	Burbujas en superficie, sedimentos precipitados, partículas suspendidas coloración café-sosa	Agua cristalina, sin turbidez aparente. Lodos color café.
M06	Solución café, sólidos sedimentados, precipita suspensión café.	Agua cristalina, sin turbidez aparente. Lodos color café.

En la figura 6-6 se puede apreciar como las aguas residuales clarificaron con la ayuda de los coagulantes, además los resultados de SST sirven como apoyo para poder realizar una comparación con respecto a cada coagulante y así facilitar la comparación de los coagulantes.



**Figura 6-6.** Muestras de Agua residual clarificadas.

## 6.4 Análisis de DQO y Cromo Hexavalente

### Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es un parámetro analítico de polución que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. Es la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y que es susceptible a ser oxidada por un agente químico fuerte en este caso dicromato de potasio en solución ácida. (Marín, 2011).

### Cromo Hexavalente (Cr<sup>+6</sup>).

El Cr<sup>+6</sup> es un compuesto cancerígeno que se encuentra en las aguas residuales en su estado de oxidación, debido a que el Cr es utilizado en muchas industrias para diferentes tipos de productos, este es liberado al medio ambiente por medio de degradación y es liberado al agua. Causando gran contaminación y provocando grandes efectos sobre la salud.

Para determinar los parámetros de DQO y Cr<sup>+6</sup> se enviaron muestras de 1 litro de volumen con diferentes coagulantes a laboratorio y los resultados obtenidos se detallan en la tabla 6-6.

**Tabla 6-6.** Resultados de análisis de DQO y Cromo Hexavalente.

Análisis enviados	Muestras	Código Coagulante	Dosis de coagulante	Concentración de coagulantes	Cr <sup>+6</sup> (mg/L)	DQO (mg/L)
ANÁLISIS 1	MA01	--	--	-	1.4	11700
	MA03	P03	5 ml	5.76%	3.0	5200
ANÁLISIS 2	MA04	P01	15 ml	12.72%	3.62	5200
	MA05	P04	15 ml	6.38%	2.82	4900
ANÁLISIS 3	MA06	P04	20 ml	6.38 %	0.49	8150
	MA02	P00	20 ml	35%	0.56	11800

## 6.5 Dosis de Coagulante en Aguas Residuales de Tenerife

La dosis optima es la cantidad de volumen que se agrega de coagulante a una determinada concentración al agua residual, con la que se logra la formación de flóculos. El valor de dicha dosis no es constante ya que presentará una variación de acuerdo con la naturaleza y composición del agua que esté siendo tratada, razón por la cual no existe una relación matemática que permita calcular una dosis óptima de coagulante con una concentración necesaria para permitir floculación y que tenga en cuenta las variables relacionadas (Barajas C y León A., 2015).

En la tabla 6-7 se presenta el resumen de las características del agua residual cruda y también del agua residual tratada con coagulante, tanto de origen de hierro residual como el comercial.

La caracterización del agua residual para el lote 1 y el lote 2 son notablemente diferentes entre sí. Esto depende de la producción de la industria de curtiembre que proporciona el agua para este análisis.

El rango de pH permisible para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores es establecido por la NSO, y en la tabla resumen se presenta que las muestras crudas para el lote 1 están dentro de los límites. Al realizar las pruebas de jarras, aquellas muestras a las que se les tomó el valor de pH se encontraron que cumplen con la norma.

El agua del lote 1 contiene 92.9% más cantidad de sólidos suspendidos totales que la del lote 2, por lo que el análisis se realizará por separado.

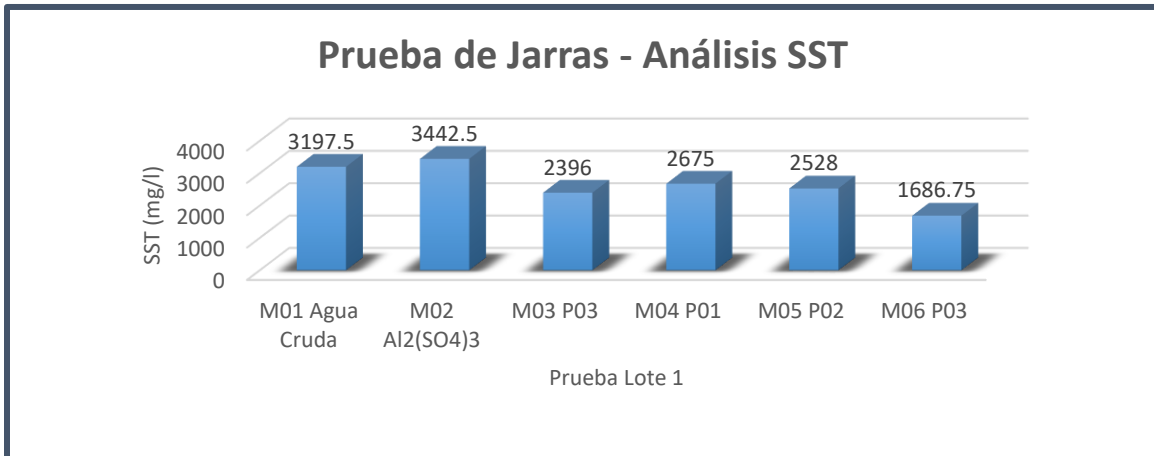
**Tabla 6-7:** Resumen de análisis de datos

	Prueba	Código coagulante	Origen de coagulante	Concentración	Volumen de agua residual (ml)	Dosis coagulante (ml)	pH (5,5 - 9,0)	SST (mg/l)	DQO (mg/l)	Cr+6 (mg/l)
Lote 1	M01	-	-		400		6,5		-	-
	M02	P00	Sulfato de Aluminio	35% p/v	400	2	5,6	3197,5	-	-
	M03	P03	Acero VCN 150	5.76%	400	2	5,5	3442,5	-	-
	M04	P01	Hierro Fundido	12.72%	400	2	6	2396	-	-
	M05	P02	Acero VCN 150	11.26 % m/m	400	2	6,7	2675	-	-
	M06	P03	Acero VCN 150	5.76% m/m	400	5	-	2528	-	-
Lote 2	MA01	-	-		1000	-	-	277	11700	1,4
	MA02	P00	Sulfato de Aluminio	35% p/v	1000	20 ml	6,5	142.5	11800	0,56
	MA03	P03	Acero VCN 150	5.76% m/m	1000	5 ml	-	171.1	5200	3
	MA04	P01	Hierro fundido	12.72% m/m	1000	15 ml	-	176	5200	3,62
	MA05	P04	Hierro fundido	6.38 % m/m	1000	15 ml	6	144.8	4900	2,82
	MA06	P04	Hierro fundido	6.38 % m/m	1000	20 ml	6,5	133.9	8150	0,49

Límites permitidos de Cr<sup>+6</sup>, DQO, SST y pH permisibles por la Norma Salvadoreña NSO 13.49.01:09 son: Cr<sup>+6</sup> = 0.1 mg/l  
DQO = 1500 mg/l, SST = 150 mg/l y pH = 5.5 a 9.0

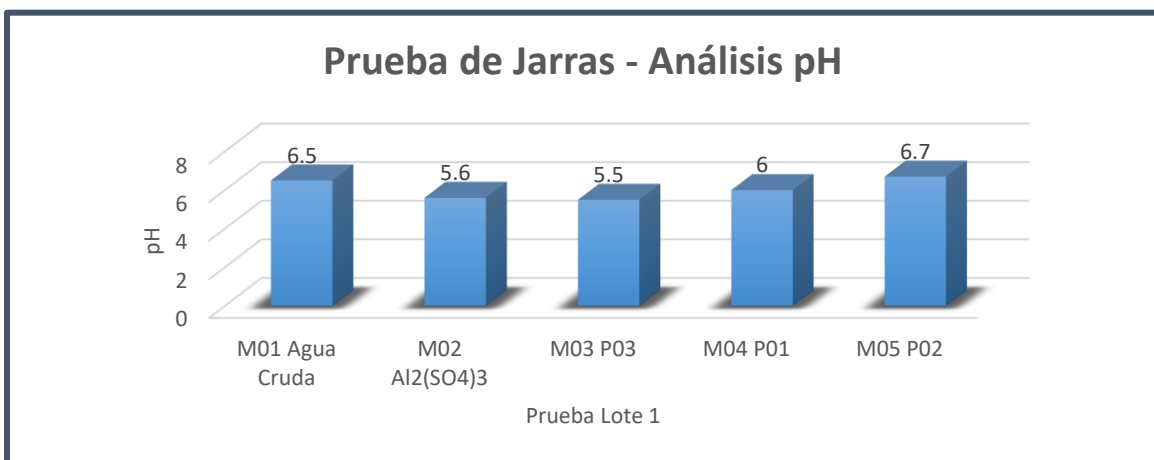
## LOTE 1

Para la calidad de agua del Lote 1, los coagulantes elaborados de Acero VCN 150 y de Hierro fundido reducen la cantidad de SST desde un 16% hasta un 47%. Contrario al coagulante comercial, que aumenta el contenido de SST en las aguas residuales de tenería (Véase Figura 6-7).



**Figura 6-7.** Gráfica de los resultados de SST para Lote 1 de Agua residual.

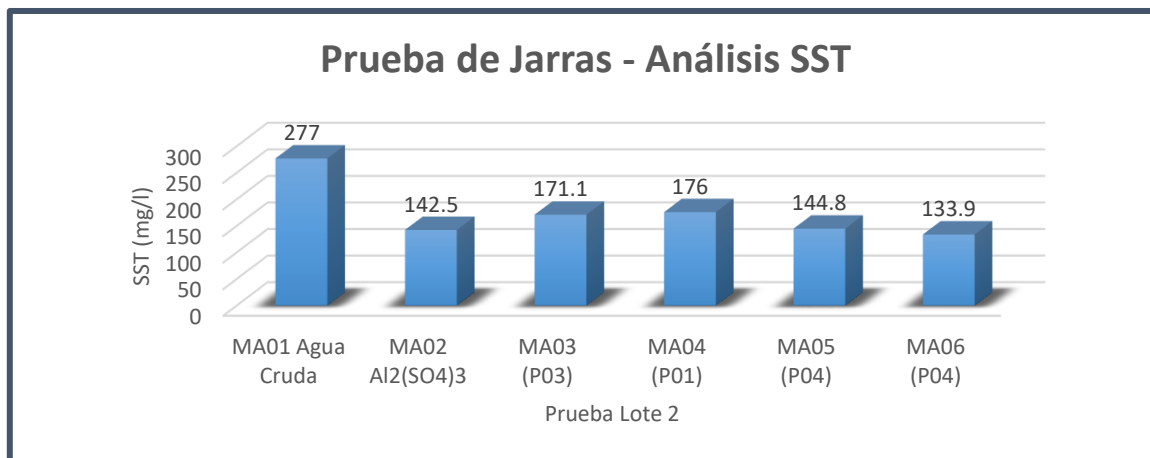
En la Figura 6-8 se puede apreciar el comportamiento del pH; donde la muestra M03 P03 tiene un pH de 5.5 y con un pH de 6.7 para la muestra M05 P02. Los valores de pH están en un rango bien estrecho, entre 5.5 y 6.7.



**Figura 6-8.** Gráfica de los pH obtenidos para lote 1 de aguas residuales.

## LOTE 2

La cantidad de SST disminuye al tratar el agua residual con todos los coagulantes (véase tabla 6-7 y Figura 6-9); no así el DQO ya que, con los coagulantes elaborados a base de hierro residual, disminuye de 28% a 58%; y con el coagulante comercial aumenta en 100 mg/l a pesar de que la cantidad suministrada es mayor.

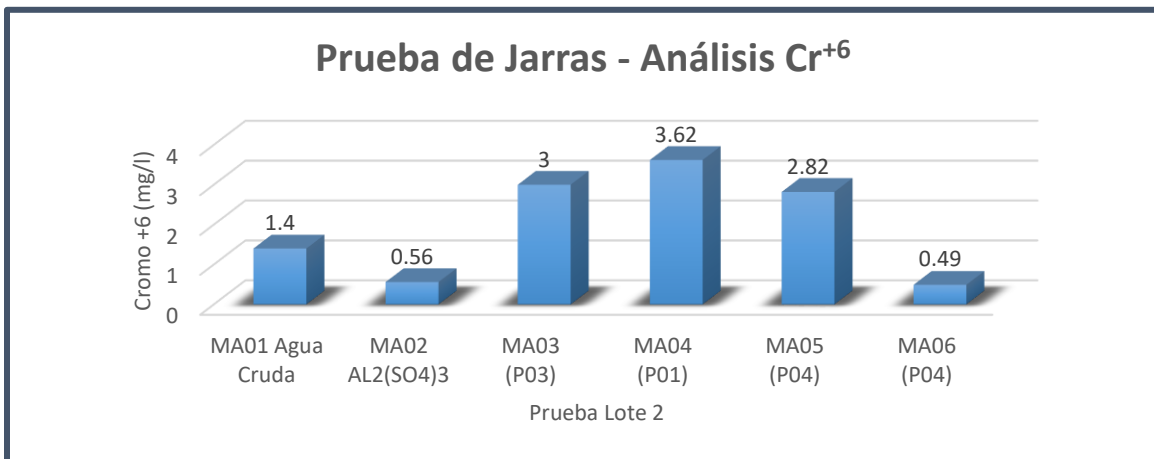


**Figura 6-9.** Gráfica de los resultados de SST para Lote 2 de agua residual

Las pruebas de jarras realizadas a este lote de aguas residuales se enviaron a análisis de laboratorio para determinar la cantidad de DQO y Cr<sup>+6</sup>.

En el análisis de cromo (VI) se ve un aumento al tratar con coagulantes de hierro residual, debido al contenido de la estructura del acero VCN 150, que contiene 1.5% de cromo, es notorio el aumento en el contenido de Cr<sup>+6</sup> para la prueba MA03. En cambio, para las muestras tratadas con coagulante de hierro fundido, la metodología de agitación y dosis de coagulante suministrado hicieron la diferencia, como se puede evidenciar en la prueba MA06, que se encuentra que redujo el 65% del Cr<sup>+6</sup> (Véase Figura 6-10). Se necesitará de una dosis mayor para reducir los mg/l de cromo en el agua residual.

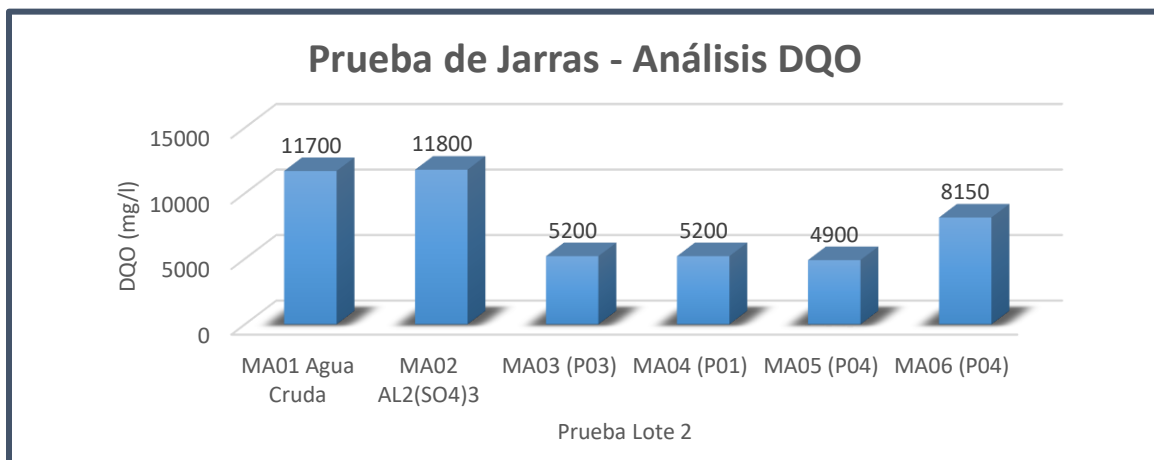




**Figura 6-10** Gráfica de los Resultados de Análisis de Cr<sup>+6</sup>

El coagulante comercial (Sulfato de aluminio) muestra resultados favorables con respecto a la disminución del Cr<sup>+6</sup> de las aguas residuales de tenería, a pesar de que el DQO aumenta (Véase Figura 6-11).

Se tiene que los resultados de DQO y Cr<sup>+6</sup> no cumplen con la NSO a pesar de la disminución, por lo que se recomienda una dosis mayor y mejorar la metodología de agitación en las pruebas de jarras.



**Figura 6-11.** Gráfica de los Resultados de Análisis de DQO

## **CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE TRICLORURO DE HIERRO**

En este capítulo se identifican y se evalúan los impactos ambientales del proceso de obtención del coagulante Tricloruro de hierro, desde la selección y acondicionamiento del hierro residual hasta su uso como coagulante en el tratamiento de aguas residuales. También se proponen las medidas para prevenir, mitigar o corregir los impactos negativos y potenciar los impactos positivos, para la conservación y protección del medio ambiente.

### **7.1 Matriz causa y efecto**

En este apartado se presenta la identificación y evaluación de las causas y efectos que genera la elaboración del tricloruro de hierro, se utiliza la metodología de Moore y se clasifican los efectos de acuerdo a su magnitud haciendo uso de una escala de colores y de acuerdo a su carácter que puede ser positivo o negativo.

#### **7.1.1 Identificación y Evaluación de aspectos e impactos ambientales.**

Impacto Ambiental es cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales. Además, constituye una alteración significativa de las acciones humanas y una alteración ambiental, correspondiente a cualquiera de esas facetas de la vulnerabilidad o fragilidad del área donde se realiza el proyecto, que se puede individualizar por una serie de características, tales como:

- i. El *carácter* del impacto que hace referencia a su consideración positiva o negativa respecto al estado previo a la acción.
- ii. La *magnitud* del impacto informa de su extensión y representa la “cantidad e intensidad del impacto”.
- iii. El *significado* del impacto alude a su importancia.

- iv. El *tipo de impacto* describe el modo en que se produce.
- v. La *duración* del impacto se refiere al comportamiento en el tiempo de los impactos ambientales previstos.
- vi. La *reversibilidad* del impacto tiene en cuenta la posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar a la situación anterior a la acción.
- vii. El *riesgo* del impacto estima su probabilidad de ocurrencia.
- viii. El *área espacial* o de influencia es el territorio que contiene el impacto ambiental y que no necesariamente coincide con la localización de la acción propuesta.

**Aspectos ambientales:** son aquellas partes resultantes de una actividad, producto o servicio, que pueden repercutir sobre las condiciones naturales del medio ambiente, dando lugar a alteraciones o modificaciones específicas (impacto ambiental). Es decir, existe por lo tanto una relación causa y efecto, siendo causa un aspecto y efecto un impacto.

**Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)**, según el MARN exigida en el Art. 18 de la Ley de Medio Ambiente, es el proceso que incluye el conjunto de acciones que aseguran que las actividades, obras o proyectos que puedan tener un impacto negativo en el ambiente o en la calidad de vida de la población, se sometan desde la fase de pre inversión a los procedimientos que identifiquen y cuantifiquen dichos impactos y se recomienden las medidas que los prevengan, atenúen, compensen o potencien, según sea el caso, seleccionando la alternativa que mejor garantice la protección del ambiente y la sostenibilidad de la inversión.

Para la Identificación, evaluación y clasificación de impactos ambientales es importante conocer las principales metodologías que ayudan a la valoración de impactos, según (Mijangos, O. y López J., 2013) algunas de las metodologías son:

- I. **Metodologías Ad hoc (Panel de expertos):** este método brinda directrices para la evaluación de impacto, principalmente se basa en la consulta sistemática de expertos para:
  - i. La identificación de los impactos, en sus áreas de conocimiento, que sobre el ambiente puede provocar un proyecto.
  - ii. Determinar las medidas correctivas.
  - iii. Asesorar en la implementación de procedimientos de seguimiento y control.

Por lo tanto, este método presenta una gran dependencia del grado de conocimiento y experiencia de los participantes, así como de su disponibilidad.

- II. **Método de Leopold** (Matriz causa y efecto ponderada) Es una metodología de identificación de impactos. Básicamente se trata de una matriz que presenta en las columnas, las acciones del proyecto y en las filas los componentes del medio y sus características. Esta matriz es uno de los métodos más utilizados en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), para casi todo tipo de proyecto. Está limitada a un listado de 100 acciones que pueden causar impacto al ambiente representadas por columnas y 88 características y condiciones ambientales representadas por filas, lo que significa un total de 8800 posibles interacciones, aunque en la práctica no todas son consideradas.
- III. **Matrices simples de causa y efecto** consisten en tablas de doble entrada, donde en la primera columna se consideran las variables ambientales y en la fila número uno las actividades o etapas del proyecto. En las intersecciones de las filas y columnas se identifican los impactos correspondientes. Su uso es simple y puede materializarse con una pequeña recolección de datos, pero requiere de conocimiento del área afectada y de la naturaleza del proyecto. Es de gran utilidad si se intenta identificar el origen de ciertos impactos, pero tienen limitaciones al realizar consideraciones espaciales (Ordoñez, 2011).

Existen diferentes tipos de Matrices simples entre ellas están:

- i. **Matriz de Moore.** En 1973, es una matriz simplificada para la elaboración de impactos que consta esencialmente de dos listas cruzadas entre sí: una lista de las acciones del proyecto y otra de los componentes del ambiente. El cruce entre las filas produce una síntesis visual de los impactos (Martínez, 2014).
- ii. **Matriz de Clark.** En 1976, Clark desarrolla un método basado en una matriz con técnica bidimensional de elementos ordenados en filas y columnas, que relacionan las acciones del proyecto con los factores ambientales (Albán, 2014).

Esta matriz proporciona una evaluación cualitativa basada en cinco polaridades: Beneficio / Adverso, Corto plazo / Largo plazo, Reversible / Irreversible, Directo / Indirecto, Local / Estratégico. (Borges, 2009).

Se utilizará la metodología matriz causa-efecto de Moore para la identificación y evaluación de los impactos que la parte experimental de esta investigación tiene sobre el medio ambiente. La tabla 7.1 se muestra la leyenda de los impactos ambientales a ser evaluados, en la cual se define la escala de colores de acuerdo con la magnitud del impacto.

**Tabla 7-1.** Leyenda de la evaluación de impactos

<b>Magnitud</b>	<b>Color</b>
No Significativo	Verde
Bajo	Amarillo
Moderado	Naranja
Alto	Rojo

En la siguiente tabla se muestran las variables ambientales que se utilizarán para realizar la evaluación de impactos de forma más clara y sencilla.

**Tabla 7-2.** Variables ambientales

<b>Variable ambiental</b>		
Físico Químicas	Tierra	1-Contaminación del suelo
	Agua	1-Contaminación del agua 2-Salud humana
	Aire	1-Contaminación del aire 2-Emisión de gases 3-Emisión de ruidos
Biológicas	Flora	1-Reforestación
	Fauna	1-Biodiversidad
Socio – Culturales	Sociales	1-Socioeconómico

En tabla 7-3 se muestra la segmentación de impactos ambientales en las variables de la tabla 7-2 para cada actividad realizada en la obtención del coagulante. Y en la tabla 7-4 se realiza la evaluación según la magnitud de impacto que la actividad tiene sobre cada variable ambiental.

**Tabla 7-3** Identificación de impactos ambientales en la obtención de FeCl<sub>3</sub>.

<b>ACTIVIDAD</b>		<b>CAUSA (Aspecto Ambiental)</b>	<b>EFECTO (Impacto ambiental)</b>	<b>VARIABLE AMBIENTAL</b>
<b>Previas a la elaboración del Coagulante</b>				
Acondicionamiento de Materia Prima	Clasificación de hierro residual	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación de desechos sólidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reforestación</li> <li>▪ Reciclaje</li> <li>▪ Riesgo para la salud</li> </ul>	Biológica Social
	Lavado y secado de hierro residual	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación de descargas líquidas</li> <li>▪ Generación de desechos sólidos.</li> <li>▪ Consumo de agua</li> <li>▪ Uso de agentes de limpieza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación del suelo</li> <li>▪ Contaminación del agua</li> <li>▪ Malos olores</li> </ul>	Físico–Químico
<b>Durante la elaboración del coagulante</b>				
Preparación de materiales.	Lavado de cristalería a usar en laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Consumo de agua</li> <li>▪ Uso de agentes de limpiezas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación del agua</li> </ul>	Físico–Químico
	Secado de cristalería	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación de residuos no peligrosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación al medio ambiente.</li> <li>▪ Tala de arboles</li> </ul>	Físico–Químico Biológico Socio–cultural

Continúa...

**Tabla 7-3** Identificación de impactos ambientales en la obtención de FeCl<sub>3</sub>. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>		<b>CAUSA (Aspecto Ambiental)</b>	<b>EFECTO (Impacto ambiental)</b>	<b>VARIABLE AMBIENTAL</b>
Mediciones	Pesar la cantidad de hierro residual que reaccionará con el HCl	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso de energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agotamiento de recurso natural</li> </ul>	Biológico
	Medir el volumen de HCl que se utilizará para la reacción en Cámara de gases.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso de energía</li> <li>▪ Emisión de gases a la atmósfera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Agotamiento de recurso natural</li> <li>▪ Contaminación del aire</li> </ul>	Biológico Y Físico - Químico
Obtención del coagulante	Reaccionar HCl con Hierro residual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emisiones de gases</li> <li>▪ Daños a la salud humana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación al aire.</li> <li>▪ Riesgo para la salud humana</li> </ul>	Físico - químico Y Socio – cultural
	Filtrar la solución obtenida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso de papel filtro</li> <li>▪ Emisiones de gases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tala de arboles</li> <li>▪ Contaminación al aire</li> </ul>	Biológico Y Físico - Químico

Continúa...



**Tabla 7-3** Identificación de impactos ambientales en la obtención de FeCl<sub>3</sub>. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>		<b>CAUSA (Aspecto Ambiental)</b>	<b>EFECTO (Impacto ambiental)</b>	<b>VARIABLE AMBIENTAL</b>
Manejo y almacenamiento del tricloruro de hierro	Almacenar la solución obtenida en envases de plástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso de envases plásticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reciclaje</li> <li>▪ Contaminación del agua</li> <li>▪ Contaminación del suelo</li> <li>▪ Contaminación del aire</li> </ul>	<p>Biológico Y Físico-Químico</p>
<b>Post-Elaboración del Coagulante</b>				
Preparación de aguas residuales	Recolectar y homogenizar aguas residuales de tenería	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación de descarga líquida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación del suelo</li> <li>▪ Contaminación del agua</li> <li>▪ Riesgo a la salud humana</li> </ul>	<p>Físico-Químico Y Socio-cultural</p>
Prueba de Jarras	Comprobación de su efectividad como coagulante Y tratamiento de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generación de descargas líquidas</li> <li>▪ Emisiones de gases a la atmósfera</li> <li>▪ Uso de papel</li> <li>▪ Evita problemas a la salud humana</li> <li>▪ Cuidado a la flora y fauna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contaminación del suelo</li> <li>▪ Contaminación del agua</li> <li>▪ Contaminación del aire</li> <li>▪ Tala de arboles</li> <li>▪ Reforestación de flora y fauna</li> <li>▪ Biodiversidad</li> </ul>	<p>Físico-Químico Biológico Socio-cultural</p>

Continúa...

**Tabla 7-3** Identificación de impactos ambientales en la obtención de FeCl<sub>3</sub> (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>		<b>CAUSA (Aspecto Ambiental)</b>	<b>EFECTO (Impacto ambiental)</b>	<b>VARIABLE AMBIENTAL</b>
Envió de muestras obtenidas de pruebas de jarras a análisis.	Almacenamiento de las aguas residuales tratadas con coagulante para ser sometidas a pruebas de laboratorio (Análisis de DQO, Turbidez, sólidos totales disueltos y pH).	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usos de envases plásticos</li> <li>▪ Uso de energía eléctrica</li> <li>▪ Cuidado de flora y fauna</li> <li>▪ Salud humana protegida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pérdida de biodiversidad</li> <li>▪ Consumo de energía eléctrica</li> <li>▪ Biodiversidad</li> <li>▪ Cuidado de la salud humana</li> </ul>	<p>Físico–Químico</p> <p>Biológico</p> <p>Socio-cultural</p>

**Tabla 7-4.** Evaluación de impactos ambientales en la obtención de Tricloruro de hierro

ACTIVIDADES		VARIABLES AMBIENTALES								
		Físico – químicos						Biológicos		Socioculturales
		Tierra	Agua		Aire			Flora	Fauna	Sociales
		1	1	2	1	2	3	1	1	1
<b>Previas a la elaboración del Coagulante</b>										
Acondicionamiento de Materia Prima	Clasificación de hierro residual	Red	Am	Am	Ver	Ver	Ver	Red	Red	Am
	Lavado y secado de hierro residual	Am	Am	Am	Ver	Ver	Ver	Am	Am	Am
<b>Durante la elaboración del coagulante</b>										
Preparación de materiales	Lavado de cristalería a usar en laboratorio	Ver	Am	Ver	Ver	Ver	Ver	Am	Am	Am
	Secado de cristalería	Ver	Ver	Ver	Ver	Ver	Ver	Red	Am	Am
Mediciones	Pesar la cantidad de hierro residual que reaccionará con el HCl	Ver	Ver	Ver	Ver	Ver	Ver	Am	Am	Am
	Medir el volumen de HCl en cámara de gases	Ver	Ver	Am	Red	Am	Am	Am	Am	Am
Obtención de coagulante	Reaccionar HCl con Hierro residual.	Ver	Ver	Ver	Red	Red	Ver	Ver	Red	Ver
	Filtrar la solución obtenida.	Ver	Ver	Ver	Am	Am	Ver	Am	Am	Am

Continúa...

**Tabla 7-4.** Evaluación de impactos ambientales en la obtención de Tricloruro de hierro. (Continuación)

ACTIVIDADES		VARIABLES AMBIENTALES								
		Físico – químicos						Biológicos		Socioculturales
		Tierra	Agua		Aire			Tierra	Agua	Aire
		1	1	2	1	1	2	1	1	2
Manejo y almacenamiento del tricloruro de hierro	Almacenar la solución obtenida en envases de plástico	Yellow	Green	Orange	Orange	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Orange
<b>Post-Elaboración del Coagulante</b>										
Preparación de aguas residuales	Recolectar y homogenizar aguas residuales de tenería	Orange	Red	Red	Green	Green	Green	Yellow	Orange	Orange
Prueba de Jarras	Comprobación de su efectividad como coagulante Y tratamiento de aguas residuales	Orange	Red	Red	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Orange	Orange
Envío de muestras obtenidas de pruebas de jarras a análisis.	Almacenamiento de las aguas residuales tratadas con coagulante para ser sometidas a Análisis	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Orange

### 7.1.2 Clasificación de impactos ambientales

Los impactos ambientales son clasificados de diferentes formas dependiendo del punto de vista del autor o de la necesidad. La importancia de conocer la clasificación de los impactos ambientales radica en poder establecer toda la atención y poner a disposición todo lo necesario para poder evitar los impactos ambientales negativos, es por eso por lo que para fines de esta investigación se han clasificado en la Tabla 7-5. Según Jure y Rodríguez, 1997.

**Tabla 7-5** Clasificación de impactos ambientales (Jure y Rodríguez, 1997)

<b>CRITERIO DE CLASIFICACIÓN</b>	<b>CLASE</b>
Por el Carácter	<b>Impacto Positivo:</b> es aquel impacto aceptado por la comunidad en general, mejor evaluado como aquel que cumple con los estándares permisibles expuestos en la normatividad.
	<b>Impacto Negativo:</b> Su efecto se traduce en pérdida del valor o calidad del componente afectado.
Por la interrelación de acciones y/o alteraciones	<b>Impacto simple:</b> aquel cuyo impacto se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado.
	<b>Impactos acumulativos:</b> son aquellos resultantes del impacto incrementado de la acción propuesta sobre algún recurso común cuando se añade a acciones pasadas, presentes y esperadas en el futuro
Por la relación Causa y Efecto	<b>Primarios:</b> son aquellos efectos que causa la acción y que ocurren generalmente al mismo tiempo y en el mismo lugar de ella (obvio y cuantificable).

Continúa...

**Tabla 7-5** Clasificación de impactos ambientales (Jure y Rodríguez, 1997). (Continuación)

<b>CRITERIO DE CLASIFICACIÓN</b>	<b>CLASE</b>
Por la relación Causa y Efecto	<b>Secundarios:</b> son aquellos cambios indirectos o inducidos en el ambiente.
Por el momento en que se manifiestan	<b>Latente:</b> aquel que se manifiesta al cabo de cierto tiempo desde el inicio de la actividad que lo provoca.
	<b>Inmediato:</b> aquel que en el plazo de tiempo entre el inicio de la acción y el de manifestación es prácticamente nulo. Momento
	<b>Crítico:</b> aquel en que tiene lugar el más alto grado de impacto, independiente de su plazo de manifestación.
Por la extensión	<b>Puntual:</b> cuando la acción impactante produce una alteración localizada.
	<b>Parcial:</b> aquel cuyo impacto supone una incidencia apreciable en el área estudiada.
	<b>Extremo:</b> aquel que se detecta en una gran parte del territorio considerado.
	<b>Total:</b> aquel que se manifiesta de manera generalizada en todo el entorno considerado
Por la persistencia	<b>Temporal:</b> aquel que supone una alteración no permanente en el tiempo, con un plazo de manifestación que puede determinarse y que por lo general es corto.
	<b>Permanente:</b> aquel que supone una alteración indefinida en el tiempo.

Continúa...

**Tabla 7-5** Clasificación de impactos ambientales (Jure y Rodríguez, 1997). (Continuación)

<b>CRITERIO DE CLASIFICACIÓN</b>	<b>CLASE</b>
Por la capacidad de recuperación del ambiente	<b>Irrecuperable:</b> cuando la alteración del medio o pérdida que supone es imposible de reparar.
	<b>Irreversible:</b> aquel impacto que supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar, por medio naturales, a la situación anterior a la acción que lo produce.
	<b>Reversible:</b> aquel en que la alteración puede ser asimilada por el entorno a corto, medio o largo plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales.
	<b>Fugaz:</b> aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa prácticas de mitigación.

A partir de la tabla 7-5, se clasificarán los impactos ambientales de acuerdo con su carácter. En la matriz causa–efecto de Moore (tabla 7-6), se realiza la clasificación con un signo **positivo (+)** o **negativo (-)** de acuerdo con la naturaleza del impacto.

**Tabla 7-6** Matrices causa–efecto de Moore.

ACTIVIDADES		VARIABLES AMBIENTALES								
		Físico-químicos						Biológicos		Socio-culturales
		Tierra	Agua		Aire			Flora	Fauna	Sociales
		1	1	2	1	2	3	1	1	1
<b>Previas a la elaboración del Coagulante</b>										
Acondicionamiento de Materia Prima	Clasificación de hierro residual	+	+	-	-	-	-	+	+	+
	Lavado y secado de hierro residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Durante la elaboración del coagulante</b>										
Preparación de materiales	Lavado de cristalería a usar en laboratorio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Secado de cristalería	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mediciones	Pesar la cantidad de hierro residual que reaccionará con el HCl	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medir el volumen de HCl en cámara de gases	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Obtención de coagulante	Reaccionar HCl con Hierro residual.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Filtrar la solución obtenida.	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continúa...



**Tabla 7-6** Matrices causa – efecto de Moore. (Continuación)

ACTIVIDADES		VARIABLES AMBIENTALES								
		Físico - químicos						Biológicos		Sociocultu rales
		Tierra	Agua		Aire			Flora	Fauna	Sociales
		1	1	2	1	2	3	1	1	1
Manejo y almacenamiento del tricloruro de hierro	Almacenar la solución obtenida en envases de plástico	+		+	+	+		+	+	+
<b>Post-Elaboración del Coagulante</b>										
Preparación de aguas residuales	Recolectar y homogenizar aguas residuales de tenería	+	+	+				+	+	+
Prueba de Jarras	Comprobación de su efectividad como coagulante Y tratamiento de aguas residuales	+	+	+	-	-		+	+	+
Envío de muestras obtenidas de pruebas de jarras a análisis.	Almacenamiento de las aguas residuales tratadas con coagulante para ser sometidas a Análisis	+			+	+		+	+	+

## 7.2 Mitigación de Impactos Ambientales

El conjunto de las medidas mitigadoras que se exponen en este apartado tiene como fin minimizar los posibles impactos ambientales que genera la elaboración del coagulante, desde la recepción de materias primas hasta su almacenamiento como coagulante.

**Medidas de mitigación ambiental:** son aquellas acciones implementadas justamente después de identificar, evaluar y clasificar el impacto ambiental que este ocasiona al medio ambiente teniendo por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos que las actividades del proceso de la elaboración del coagulante pueden generar.

Existen tres tipos de medidas para tener en cuenta en el desarrollo del proyecto, para mitigar o compensar los efectos de este sobre el medio ambiente (Martín, s,f):

- I. **Medidas preventivas:** evitan o mitigan las afecciones que se generarían por la construcción o explotación de un proyecto. Estas medidas evitarán la aparición del impacto o disminuirán su intensidad a priori, por lo que deberán adoptarse previamente a la aparición de este.
- II. **Medidas correctoras:** corrigen un impacto para minimizar su gravedad o sus efectos. Son medidas para minimizar o corregir los impactos ya originados, para recuperar el estado inicial o, al menos, disminuir la magnitud del efecto.
- III. **Medidas compensatorias:** dirigidas a compensar los efectos irreversibles y más significativos, en los que no es posible la aplicación de medidas correctoras. Son de especial aplicación para compensar efectos en espacios Red Natura 2000.

La tabla 7-7 detalla el tipo de medida de mitigación de acuerdo con los impactos por el tipo de contaminación, se presenta la medida preventiva, correctiva y compensatoria.

**Tabla 7-7:** Nomenclatura para las medidas mitigatorias.

<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>MITIGACIÓN</b>
Riesgo a la Salud Humana Agotamiento de recursos naturales.	MMIT-1: Mitigación del impacto a la población por actividades realizadas por la elaboración del coagulante
Contaminación al suelo Tala de árboles.	MMIT-2: Mitigación del impacto por producción de desechos sólidos ordinarios y peligrosos. MMIT-3: Compensación del impacto por cambio en el uso del suelo y sobre la flora
Contaminación del agua	MMIT-4: Mitigación del impacto por alteración de la calidad del agua
Contaminación del aire	MMIT-5: Mitigación del impacto por emisiones al aire
Emisiones de gases	MMIT-5: Mitigación del impacto por emisiones al aire
Emisiones de ruidos	MMIT-6: Mitigación de impacto a la población por emisiones de ruido y vibraciones.

En base a estas medidas mitigatorias, en la tabla 7-8 se presentan las actividades, los impactos ambientales y la implementación de las medidas mitigatorias necesarias para reducir, corregir o compensar el impacto ambiental (IA) que tiene la elaboración del coagulante, teniendo en cuenta que solo se hace para las actividades que causan impactos negativos al medio ambiente.

**Tabla 7-8: Medidas mitigatorias**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>MEDIDA MITIGATORIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA MITIGATORIA.</b>
<b><i>Previas a la elaboración del coagulante</i></b>			
Clasificación de hierro residual	Riesgo a la salud	MMIT-1	Usar equipo de protección adecuado para realizar esta actividad.
Lavado y secado de hierro residual	Contaminación del suelo	MMIT-3	Evitar derrames de agua en el suelo, hacerlo en una superficie que tenga un drenaje adecuado que lleve las aguas residuales a un recipiente o al alcantarillado de aguas residuales público.  Colocar mallas o coladores sobre para evitar el derrame de sólidos gruesos.
	Contaminación del agua	MMIT-4	Usar agentes de limpiezas orgánicos y Darle tratamientos físicos químicos a las aguas residuales de lavado para minimizar el impacto ambiental que estas pueden causar.
	Malos olores	MMIT-1	Usar mascarillas adecuadas para el tipo de actividad a realizar.

Continúa...

**Tabla 7-8:** Medidas mitigatorias (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>MEDIDA MITIGATORIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA MITIGATORIA.</b>
<b><i>Durante la elaboración del coagulante</i></b>			
Lavado de cristalería a usar en laboratorio	Contaminación del agua	MMIT-4	Usar agentes de limpieza orgánicos.
Secado de cristalería	Contaminación al medio ambiente.	MMIT-2	El papel es un desecho sólido no peligroso, sin embargo, causa impacto ambiental muy moderado, Se puede disminuir si la cantidad de papel toalla utilizada se minimiza.
	Tala de arboles	MMIT-3	Disminuir el uso de papel toalla, colocándolo en un estante para que elimine la mayor cantidad de agua y utilizar menos papel.
Pesar la cantidad de hierro residual que reaccionará con el HCl	Agotamiento de recurso natural	MMIT-1	Hacer uso de energía eléctrica solo cuando se usará la balanza analítica, de esa manera disminuir el consumo de este recurso.
Medir el volumen de HCl que se utilizará para la reacción en Cámara de gases.	Agotamiento de recurso natural	MMIT-1	Conectar la cámara de gases únicamente cuando se use, de lo contrario mantenerla desconectada, esto ayudará a disminuir el consumo de energía.

Continúa...

**Tabla 7-8: Medidas mitigatorias (Continuación)**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>MEDIDA MITIGATORIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA MITIGATORIA.</b>
Medir el volumen de HCl que se usará para la reacción en Cámara de gases.	Contaminación del aire	MMIT-5	Usar equipo de protección adecuado. Colocar señales de peligrosidad del HCl Realizar la medición de volúmenes de HCl únicamente en cámara de gases o espacios con suficiente ventilación.
Reaccionar HCl con Hierro residual.	Contaminación al aire.	MMIT-5	Hacer la reacción de HCl con Fe fundido en la cámara de gases, además usar mascarillas auto filtrante o mascarillas para gases.
	Riesgo para la salud humana	MMIT-1	Usar equipo de protección adecuado a la hora de realizar la reacción
Filtrar la solución obtenida.	Tala de arboles	MMIT-3	Usar métodos de filtración por decantación u otro método que evite el uso de papel filtro.
	Contaminación al aire.	MMIT-5	Realizarlo en cámara de gases y usar equipo de protección adecuado.
<b>Post-Elaboración del coagulante</b>			
Comprobación de su efectividad como coagulante y tratamiento de aguas residuales.	Contaminación del aire	MMIT-5	Cuando se realiza la comprobación, el agua residual tiene componentes químicos que reaccionan con el coagulante y liberan gases, para este caso se implementa una medida preventiva, usar equipo de protección adecuado.

## OBSERVACIONES

1. Se trabajó con un taller de rectificado de motores el cual proveyó sin costo los residuos de hierro que generan, para la obtención de tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ).

Durante la obtención del coagulante

2. Las temperaturas al iniciar el contacto del hierro residual con el ácido clorhídrico suben notoriamente (hasta  $60\text{ }^\circ\text{C}$ ), para luego disminuir en un gradiente de  $10\text{ }^\circ\text{C}$  aprox. Esto es debido a que la difusión de las partículas del ácido se mueve muy lentamente hacia la superficie del hierro para continuar reaccionando.
3. Se observa formación de espuma negra, alusiva al lubricante del hierro fundido, ya que tiene alto contenido de grafito.

Durante la prueba de jarras

4. Los valores de SST son mayores en las aguas residuales del lote 1 (tabla 6-10) que en las de lote 2, esto se debe a la calidad del agua provista por la industria de curtiembre. Las aguas residuales del lote 1 eran aguas residuales crudas de coloración gris, muy espesas y con muchos residuos orgánicos gruesos como pelos y pieles del proceso; mientras que las aguas del lote 2 eran aguas de proceso de coloración azul oscuro, fluida y sin cuerpos gruesos.
5. La efectividad de los coagulantes es mejor cuando existe una agitación uniforme en la muestra durante la prueba de jarras, en anexos H. se presenta que las dos muestras que recibieron agitación constante se precipitan coágulos blancos al fondo del recipiente y son las muestras que mejores resultados de DQO y cromo hexavalente obtuvieron (pruebas MA02 y MA06).

## CONCLUSIONES

1. Se obtuvo el tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ) a partir del hierro residual generado en talleres de rectificado de motores y se realizaron pruebas de jarras para la evaluación de su efectividad en el tratamiento de aguas residuales de tene-ría; los coagulantes elaborados resultaron favorables en la reducción de SST y DQO para todas las pruebas tratadas. Las aguas residuales presentan reducción de  $\text{Cr}^{+6}$  al aplicar el coagulante a base de hierro fundido con co-recta agitación.
2. Se clasificó el hierro residual y se determinó su composición química. El hie-rrero fundido está compuesto por 3.25% carbono, 2% silicio y 94.75% hierro con un tamaño de partícula utilizado para la obtención del tricloruro de hierro de 1.01 mm. El acero VCN 150 se utilizó en calidad de viruta tiene como com-posición 0.34% carbono, 1.5% cromo, 1.5 níquel, 0.2% molibdeno y 96.46% hierro.
3. El uso de los imanes permite separar los diferentes materiales ferrosos gra-cias a sus propiedades mecánicas y físicas, separando con facilidad el hierro fundido y acero VCN 150 del aluminio, cobre y demás materiales generados dentro del taller de rectificado de motores. Esto brinda la confiabilidad que el residuo ferroso seleccionado para la elaboración del coagulante es adecuado para los usos que se le desean dar.
4. De acuerdo con los resultados de análisis de laboratorio del lote 2 de aguas tratadas se tiene que el coagulante con resultados más favorables es el P04 (base hierro fundido), con una concentración de 6.38% m/m. Que para su e-laboración se suministró una proporción de 3 g de hierro fundido: 40 ml ácido clorhídrico.



5. Al agregar a una solución de ácido salicílico con gotas de la solución obtenida de la reacción entre el ácido clorhídrico y el hierro residual, la coloración del ácido salicílico cambia de incoloro a violeta, comprobando la presencia de tricloruro de hierro.
6. La dosis suministrada a las aguas residuales para la prueba de jarras no es constante, esta depende de la naturaleza del agua, pero también del método de agitación aplicado. La agitación es el que permite la floculación y determina la remoción de contaminantes en el agua. Los resultados de la tabla 6-10 son claro ejemplo de esto ya que del coagulante P04 se realizaron distintas pruebas; agregando 15 ml en una y 20 ml en otra. La prueba más exitosa fue aquella en la que se adicionó 20 ml de coagulante a 1000 ml de agua residual y la agitación fue más metódica.
7. El agua residual tratada con el tricloruro de hierro elaborado se encuentra dentro de los límites establecidos de pH para su descarga a cuerpos receptores. Supera la calidad de agua tratada con el sulfato de aluminio, específicamente la prueba P04 a base de hierro fundido, que a una concentración de 6.38% m/m reduce el DQO de 11700 mg/l a 8150 mg/l y el  $\text{Cr}^{+6}$  de 1.4 mg/l a 0.49 mg/l; a diferencia del coagulante comercial que aumenta los niveles de DQO a 11800 mg/l pero logra disminuir el  $\text{Cr}^{+6}$  a 0.56 mg/l.
8. Se evalúa en una matriz el impacto ambiental que la obtención del coagulante tiene, en el cual se concluye que el mayor riesgo es hacia la salud de las personas debido a la emanación de gases durante la reacción. Principalmente hidrógeno molecular ( $\text{H}_2$ ). También tiene un mayor impacto positivo en la post elaboración del producto, debido a que es utilizado para brindar tratamiento a las aguas residuales.

## RECOMENDACIONES

Para la obtención del coagulante

1. Se necesita de agitación intermitente para que de esa manera se promueva el contacto del ácido con el hierro residual durante la reacción de obtención del Tricloruro de hierro, ya que la difusión del líquido hacia la superficie del sólido es muy lenta.
2. Para prevenir los impactos indeseados se sugiere implementar durante la elaboración del coagulante un reglamento específico para el manejo adecuado del HCl y la manipulación de hierro residual.
3. También tomar precauciones debido a que las reacciones principales son exotérmica y se liberan gases tóxicos. Por lo que se recomienda trabajar en un lugar muy ventilado o al aire libre.

Para la prueba de jarras con aguas de tenería

4. Se recomienda aplicar agitación a aproximadamente 65-70 rpm luego de agregar coagulante durante 15 minutos, posteriormente agitar a 25-30 rpm durante 15 minutos y dejar reposar. De esta manera fomentar la formación de flóculos y la sedimentación de estos.

## REFERENCIAS

- Abasteinsa (2016). *Generalidades de acero VCN 150- AISI 4340 de Abasteinsa de C.V. de El Salvador*. Recuperado de: [abasteinsa.com/aisi\\_4340h/](http://abasteinsa.com/aisi_4340h/)
- ACEROSAL S. A de C.V. *Acero VCN-150 de Catálogo de productos El Salvador*.
- Albán, K. (2014). Matriz de Clark de Prezi. Recuperado de: <https://bit.ly/2E0DJhV>
- Álvarez, S.G., Maldonado, M, Gerth, A, y Kusch, P. (2004). *Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo*. Información tecnológica, 15(3), 75-80. De Guanajuato. México  
Recuperado de: <https://goo.gl/HU2Qzu>
- ANDA. (2009). *Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario*. De Gerencia técnica departamento de normas técnicas de Plan Hidro 2009. Recuperado de: <https://goo.gl/mnJ-EeD>
- Apaza, W (2016). *Tema 5. Coagulación-Floculación*, de Universidad Nacional de Altiplano de Puno de Perú. Repositorio Institucional Vicerrectorado de investigación. Recuperado de: <https://bit.ly/2S5GohQ>
- AQ. (s.f). *Policloruro de Aluminio PAC18 Coagulante Inorgánico*. de ARQUIMIA S.A. de Argentina. Recuperado de: <https://goo.gl/MqWwEj>
- Avner, S. (1980). *Introducción a la Metalurgia física*. México: McGRAW-HILL.

- Baltzua, H. (2009). *Identificación y evaluación de aspectos ambientales*. Del Gobierno Vasco, departamento de medio ambiente, planificación territorial, agricultura y pesca de España. Recuperado de: <https://bit.ly/2mPRm79>
- Borges, E. (2009). *Impacto Ambiental* de Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño de Venezuela. Recuperado de: <https://bit.ly/2SgjEr3>
- Castro, M. (2013). *Impacto Ambiental y Su Clasificación* de Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD Cead Valledupar de Colombia. Recuperado de SlideShare: <https://bit.ly/2RGSIUO>
- CENTA (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. de Alianza por el agua de El Salvador. Recuperado de: <https://goo.gl/7ivVaR>
- Charris, N. (2014). *Tratamientos Biológicos* de Micro depuración. Recuperado de: <http://depu19.blogspot.com/>
- Chevron (2016). *Chevron Soluble Oil B* de Chevron Intellectual Property LLC. De U. S.A. Recuperado de: <https://bit.ly/2LUbfq0>
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. De Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento de México, Libro 4 Recuperado de: <https://bit.ly/2Sser32>
- CONACYT. (2009). Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “*Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor*”. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de El Salvador. Recuperado de: <https://goo.gl/PU7aFC>

- Conesa, J. (2014). *Reacción sólidos fluido no catalíticas*, de Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante, Valencia, España. Recuperado de: <https://bit.ly/2HEztGQ>
- CREM. (2004). Imanes cerámicos, imanes de ferrita, de China Rare Earth Magnet limited Recuperado de: <https://bit.ly/2Jxw5r>
- Cruz, L. (2009). *Mecánica de suelos I*, Repositorio de la División de Gestión de Recursos Bibliográficos de la Universidad de Cauca, Facultad de Ingeniería Civil de Popayán, Colombia. Recuperado de: [http://cort.as/-De\\_X](http://cort.as/-De_X)
- Diego, J. P. (2008). *Tema 6. Materiales metálicos, cerámicos y polímeros* de Biblioteca de la comunidad de Madrid de Universidad Carlos III de Madrid, Open Course Ware de España. Recuperado de: <https://bit.ly/2kkgPas>
- Dobado, J., García, F., Portal D., y Sánchez, A. (2003). *Identificación de grupos funcionales*, de Universidad de Granada, Facultad de Ciencia, Dpto. de Química Orgánica de España. DIGIBUG: Repositorio Institucional de la Universidad de Granada. Recuperado de: <https://bit.ly/2LXoA14>
- Ebene159. (2017). *Hierro colado carbono otras características usos* de Instituto tecnológico Santo Domingo INTEC, Dpto. de Ingeniería de República Dominicana. Repositorio Institucional de la Biblioteca “EMILIO RODRÍGUEZ DEMORIZI”. Recuperado de: <https://goo.gl/q4hPia>
- EcuRed. (s.f). *Fundición Gris*. EcuRed conocimiento con todos y para todos de Cuba Recuperado de: <https://goo.gl/vKrX4n>
- Enciclopedia de Clasificaciones (2017). *"Tipos de imanes"*. De ciencias naturales en [www.Tiposde.org](http://www.Tiposde.org) Recuperado de: <https://bit.ly/2DtFW5v>

*Ensayos de aceros* (2008). De textos científicos, Minería, Materiales ferrosos Recuperado de: <https://bit.ly/2kiwUMO>

Escobar, D. (s.f). *Marco regulatorio en materia ambiental en El Salvador* de Corte Suprema de Justicia. CSJ. Recuperado de: <https://goo.gl/wH5vaX>

FBQC (2010). *El proceso de medida química, proceso analítico total (pat)*. De Química Analítica I, Nivel III, Trabajo practico N° 11 de Universidad Nacional del Litoral, Argentina. Recuperado de: <https://bit.ly/2I9HNdu>

Flores, C., Michue, N., y Navarro, M. (2017). *Análisis granulométrico por tamizado ASTM D422* de Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, de Lima, Perú. Repositorio Institucional–UNI. Recuperado de: <https://bit.ly/2SjjXG8>

Gómez, P. (s,f). *Análisis de ácido salicílico en agua destinada al consumo humano*. De Facultad de Bioquímicas y Ciencias Biológicas de Argentina. Repositorio de la Biblioteca virtual de la Universidad Nacional del Litoral. Recuperado de: <https://bit.ly/2I9HNdu>

González, H. (2017). *Aspectos ambientales en ISO 14001:2015*, de wordpress de Argentina. Recuperado de: <https://bit.ly/2Qq9aYT>

Gutiérrez, J., Espinoza, D., Mata, C., Matta, J., y Gaytán, M. (1995). *Magnetismo*. En Física Modulo VIII (pp. 145-153). de Secretaria Académica de Universidad Autónoma de Nuevo León de México.

Hernández, A. (2007). *Sólidos suspendidos totales en agua secado a 103 -105 °C* de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial–Republica de Colombia. Recuperado de: <https://bit.ly/2B0e9pm>

*La turbidez en las aguas residuales*, (2017) de Nihon Kasetzu, España. Recuperado de: <https://bit.ly/2RLSXOu>

Leiva, C. (2000). *Consideraciones generales sobre la gestión de residuos sólidos en el salvador*. Vol. 04. Universidad Francisco Gavidia de El Salvador Recuperado de: <https://goo.gl/br7eVu>

Marín, C. (2011). *Determinación de la dosis optima de lodos aluminosos para ser utilizada en el proceso de coagulación en aguas residuales provenientes del sector sur de la comuna del café-Parque industrial*. Facultad de Tecnologías, Escuela de Química de Universidad Tecnológica de Pereira de Colombia. Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de: <https://bit.ly/2CMJaye>

MARN (2016a). *Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), de Gobierno de El Salvador*. Recuperado de: <https://bit.ly/2P8lx7i>

MARN (2017). *El Salvador busca reducir la contaminación por vertido a aguas residuales*. de IAGUA de El Salvador. Recuperado de: <https://goo.gl/gBr7Ft>

MARN (s.f) *Reglamento especial aguas residuales*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Recuperado de: <https://goo.gl/vWAe7d>

MARN. (2000). *Reglamento General de la Ley de Medio Ambiente* de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. Recuperados de: <https://bit.ly/2JC6jWP>

MARN. (2000a). *Reglamento especial sobre el manejo integral de los desechos sólidos y sus anexos*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Recuperado de: <https://goo.gl/3VQGrV>

- MARN. (2010). *Residuos Sólidos*. Programa Nacional para el Manejo Integral de los Desechos Sólidos. Recuperado de: <http://www.marn.gob.sv/residuossolidos/>
- MARN. (2012). *Ley del Medio Ambiente* de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Recuperado de: <https://goo.gl/s5vXT9>
- MARN. (2013). *Aguas residuales* del plan Nacional de Saneamiento Ambiental de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://goo.gl/SDKriH>
- MARN. (2016). *Consulta a sectores el borrador de la Ley de Gestión de Residuos de El Salvador*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Recuperado de: <https://goo.gl/yntWP9>
- MARN. (2016b). *Propuesta de Ley General de Gestión Integral de Residuos de El Salvador*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Recuperado de: <https://goo.gl/uMvaZP>
- Martin, M. (s.f). *Tipos de medidas para minimizar impactos en la Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) de Escuela de Ingeniería y Medio Ambiente de Madrid, España*. Recuperado de: <https://bit.ly/2AYRGZM>
- Martínez, L. (2014). *Identificación de aspectos e impactos ambientales de Prezi*, Recuperado de: <https://bit.ly/2AD5vNF>



Mijangos-Ricardez, O.F. López Luna, J. (2013). *Metodologías para la Identificación y valoración de impactos ambientales*. Octubre 18, 2018. De Universidad de la Sierra Juárez, Instituto de Estudios Ambientales. Repositorio de la Universidad de la Republica. Recuperado de: <https://bit.ly/2NueBIB>

MINAN (s.f). *Contaminación ambiental causada por los residuos sólidos*. Ministerio de Medio Ambiente, Perú. Recuperado de: <https://goo.gl/RKWUr9>

MINSAL (s.f). *Norma para el manejo de desechos bioinfecciosos NSO 13.25.01:05* de Ministerio de Salud Pública y Asistencia Sociable Recuperado de: <https://goo.gl/bBZ845>

Morocho, M. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de una curtiembre en el cantón cuenca mediante la aplicación dosificada de Microorganismos Eficientes Autóctonos (EMAs)*. De la Universidad de Cuenca de Ecuador, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Repositorio digital de la Universidad de Cuenca. Recuperado de: <https://goo.gl/uk5RY1>

Ordoñez R. (2011). *Metodología de identificación de impactos ambientales en Pequeñas centrales hidroeléctricas de pasada en cauces naturales, estudio de caso*. Octubre 26,2018, de Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. Recuperado de: <https://bit.ly/2CI0RQQ>

OXY (s.f) *Manual cloruro férrico (FeCl3)*. de occidental Chemical Chile Limitada de Chile.

PNUMA (2016). *Convenio de Basilea sobre el control de los Movimientos Transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación adoptado por la Conferencia de Plenipotenciarios del 22 de marzo 1989* de Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: <https://bit.ly/2P9kkBt>

*Reacciones de oxidación reducción (s.f)*. Del repositorio Universitario de la División de Educación Química del Departamento de Química. Universidad de Purdue de Estados Unidos. Recuperado de: <https://bit.ly/2TXpXoJ>

Recemsa (2017). *Descarga del material ferroso*. De static el chatarrero de Madrid, España. Recuperado de: <https://bit.ly/2Bkpa5W>

Rinne, t. (s.f) *potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro* de biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental de Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS)–Capítulo Honduras. Recuperado de: <https://goo.gl/upb5ua>

Rodríguez, J. (s.f) *Tratamiento Anaerobio de aguas residuales*. De Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Valle, Cali, Colombia. Repositorio de la biblioteca digital UniValle. Recuperado de: <https://goo.gl/GYyzhA>

Rosario, S., Villacorta, H., Falconi, V. y Rengifo W. (2012) Mejora de la resistencia al desgaste por abrasión moderado del hierro fundido gris aleado al cobre 3,5% austemperado a 300 °C de Revista del instituto de investigación 15 (30). 73-84 de Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima, Perú. Repositorio Institucional: Cybertesis UNMSM. Recuperado de: <https://bit.ly/2tdjw0D>

Salas, R. (2017) *Magnetismo y Electromagnetismo*. De Didáctica Multimedia, área de física de Funcionamiento e Instalación de máquinas Eléctricas rotativas. De Costa Rica. Recuperado de: <https://goo.gl/z75tFv>

Sánchez, F., Hinojosa, M., y Gonzales V. (2001). *Hojuelas de grafito en hierro fundición gris, análisis fractal y estadístico*, Vol. IV, de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingenierías de México. Repositorio Académico Digital UANL. Recuperado de: <https://bit.ly/2tdjw0D>

SEDAPAL. *Estudio de impacto ambiental detallado del proyecto de optimización de Sistemas de agua potable y alcantarillado, sectorización, rehabilitación de redes y actualización de catastro-área de influencia planta huachipa área de drenaje Comas-Chillón-Lima*. Agosto 3, 2018, de Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento de Perú. Recuperado de <https://bit.ly/2AzVCTU>

Solá, J., Hernández, J y Fernández, R. (s,f). *Ácido Clorhídrico y Fe* de Heureka de Madrid, España. Recuperado de: <https://bit.ly/2FPTbhJ>

Stella, Q. (2007). *Contaminación en agua*. De Ingeniero ambiental de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://goo.gl/mVW8yJ>

*Sulfato de Aluminio: Usos y Aplicaciones* (s.f). de Wordpress. Recuperado de: [http://sulfato dealuminio.com](http://sulfatodealuminio.com)

UMA (2004). *Tema 4. Aleaciones Hierro-Carbono. Aceros y Fundiciones* de Ciencia de Materiales 4to Curso de Universidad de Málaga de España. Recuperado de: <https://bit.ly/2DY8OBK>

Unidad Ejecutora de Programas Hídricos (2016). *Recomendaciones para la selección de tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas en la República de El Salvador*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://goo.gl/gxVRsE>

UPV. (s.f). *Fundiciones*. Universidad politécnica de valencia Recuperado de: <https://goo.gl/A58yxS>

UVa. (2013). 6. *Diagramas de fases en aleaciones metálicas*, de Alojamiento de la Universidad Valladolid de España. Recuperado de: <https://goo.gl/rxdpLn>

Zárate, M., Rojas, C., y Porst, J. (1993) *Guía técnica para la minimización de residuos en curtiembres* de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente. Recuperado de: <https://goo.gl/L2Kib5>

# ANEXOS

Anexo A. Diagrama de fase hierro-carburo

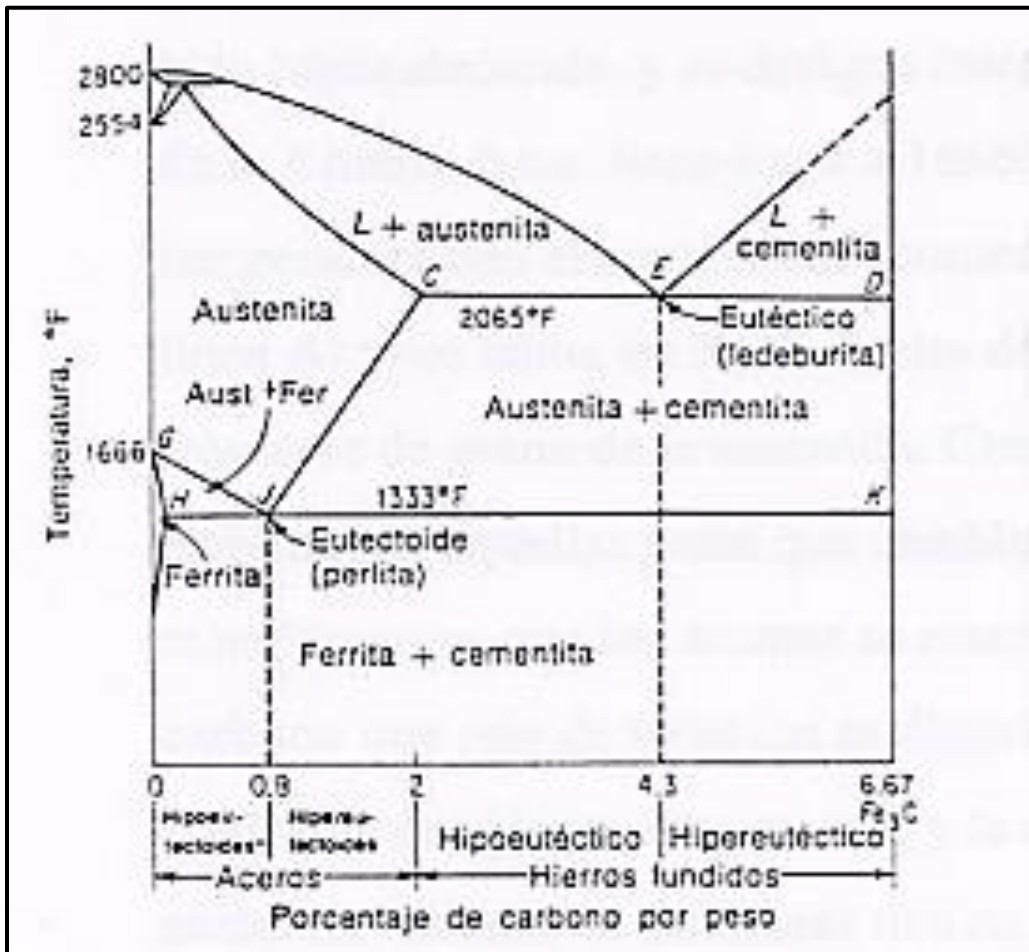


Figura A-1. Diagrama de fase hierro carburo (UMA, 2004).

## Anexo B. Parámetros y valores permisibles para aguas residuales

**Tabla B-1.** Parámetros y valores permisibles para aguas residuales.

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)</b>	<b>Sólidos sedimenta bles (ml/l)</b>	<b>Sólidos suspendi dos totales (mg/l)</b>	<b>Aceites y grasas (mg/l)</b>
<b>I. ANIMALES VIVOS Y PRODUCTOS DEL REINO ANIMAL</b>					
1. Producción agropecuaria	800	300	15	150	50
2. Matanza de ganado y preparación y conservación de carnes	400	200	15	125	50
3. Procesamiento de camarón, mariscos en forma congelada	750	250	15	350	130
4. Enlatados de mariscos y fabricación de sus harinas	300	150	15	100	50
5. Productos avícolas	800	300	15	150	50
6. Porcicultura	1800	300	15	150	50
7. Procesamiento del atún y sus derivados	1800	600	15	350	50
<b>II. PRODUCTOS DEL REINO VEGETAL</b>					
1. Productos de molinería	400	200	15	200	50
2. Beneficiado de café	2500	2000	40	1000	30
3. Fabricación de productos de panaderías	250	200	15	70	100

Fuente: CONACYT, (2009)

Continúa...

**Tabla B-1.** Parámetros y valores permisibles para aguas residuales. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)</b>	<b>Sólidos sedimenta bles (ml/l)</b>	<b>Sólidos suspendi dos totales (mg/l)</b>	<b>Aceites y grasas (mg/l)</b>
4. Fábricas y refinерías de azúcar	600	400	30	150	30
5. Fabricación de chocolate y artículos de confitería, procesamiento de cacao	400	250	15	150	100
6. Elaboración de alimentos preparados para animales	250	60	15	100	50
7. Industria del tabaco	100	60	15	60	20
<b>III. GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES</b>					
1. Extractoras de aceites y grasas	700	400	15	150	200
2. Refinadora de aceites y grasas	300	150	15	100	200
<b>IV. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, BEBIDAS, LÍQUIDOS ALCOHÓLICOS, TABACO Y SUCEDÁNEOS</b>					
1. Fabricación de productos lácteos	900	600	75	300	75
2. Envasado y conservación de frutas y legumbres, incluyendo la elaboración de jugos	400	150	15	150	60

Fuente: CONACYT, (2009)

Continúa...



**Tabla B-1.** Parámetros y valores permisibles para aguas residuales. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)</b>	<b>Sólidos sedimenta bles (ml/l)</b>	<b>Sólidos suspendi dos totales (mg/l)</b>	<b>Aceites y grasas (mg/l)</b>
3. Elaboración de productos alimenticios diversos	400	150	15	150	45
4. Destilación, rectificación y mezclas de bebidas espirituosas	3500	3000	15	1000	20
5. Bebidas malteadas y de malta	800	260	30	100	30
6. Industrias de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas	400	200	30	100	30
<b>V. PRODUCTOS MINERALES</b>					
1. Extracción de minerales no ferrosos	100	60	15	100	20
2. Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	300	100	15	100	20
3. Fabricación de vidrio y productos de vidrio	100	60	15	40	30
4. Fabricación de productos minerales no metálicos	100	60	15	100	20
5. Industrias básicas de hierro y acero	200	60	10	30	30

Fuente: CONACYT, (2009)

Continúa...

**Tabla B-1.** Parámetros y valores permisibles para aguas residuales. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)</b>	<b>Sólidos sedimenta bles (ml/l)</b>	<b>Sólidos suspendi dos totales (mg/l)</b>	<b>Aceites y grasas (mg/l)</b>
6. Industrias básicas de metales no ferrosos	200	60	10	30	30
<b>VI. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS</b>					
1. Fabricación de abonos	180	60	10	50	30
2 fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras artificiales, excepto el vidrio	500	250	15	100	20
3. Fabricación de pinturas, barnices y Lacas	300	100	15	100	30
4. Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos	300	100	15	100	30
5. Fabricación de jabones y preparados de limpieza, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador	450	300	15	200	40
6. Refinación y/o fabricación de Productos diversos derivados del petróleo y del carbón	600	200	30	200	30

**Fuente:** CONACYT, (2009)

Continúa...

**Tabla B-1.** Parámetros y valores permisibles para aguas residuales. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)</b>	<b>Sólidos sedimenta bles (ml/l)</b>	<b>Sólidos suspendi dos totales (mg/l)</b>	<b>Aceites y grasas (mg/l)</b>
7. Industrias de llantas y cámaras	100	60	15	60	20
8. Expendios de combustibles	100	60	15	70	20
9. Lavado de vehículos	100	40	15	60	30
10. Lavanderías, tintorerías	300	100	15	100	30
11. Rellenos sanitarios y otras instalaciones de manejo de desechos	1500	500	15	200	20
12. Fabricación de baterías	400	200	15	800	20
<b>VII. MATERIAS PLÁSTICAS, CAUCHO Y SUS MANUFACTURAS</b>					
1. Fabricación de productos plásticos	100	50	15	60	30
<b>VIII. PIELES, CUEROS, TALABARTERÍA Y PELETERÍA</b>					
1. Curtidurías y talleres de acabado	1500	850	15	150	50
<b>IX. PASTAS DE MADERA, PAPEL Y CARTÓN, MANUFACTURAS Y APLICACIONES</b>					
1. Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón	350	200	15	300	20

Fuente: CONACYT, (2009)

Continúa...

**Tabla B-1.** Parámetros y valores permisibles para aguas residuales. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)</b>	<b>Sólidos sedimenta bles (ml/l)</b>	<b>Sólidos suspendi dos totales (mg/l)</b>	<b>Aceites y grasas (mg/l)</b>
2. Fabricación de envases y cajas de Cartón	400	150	15	100	30
3. Fabricación de envases y cajas de papel y de cartón	400	150	15	100	30
<b>X. MATERIAS TEXTILES Y SUS MANUFACTURAS</b>					
1. Hilados, tejidos y acabados textiles	400	200	15	150	35
<b>XI. CALZADO Y ARTÍCULOS ANÁLOGOS</b>					
1. Fabricación de productos de cuero y artículos sucedáneos de cuero	180	60	15	60	30
<b>XII. PERLA, PIEDRAS Y METALES PRECIOSOS</b>					
1. Fabricación de conexos de joyas y artículos	300	100	15	100	30
<b>XIII. METALES COMUNES Y SUS MANUFACTURAS</b>					
1. Fabricación de cuchillería, herramientas manuales y artículos generales de ferretería	300	100	15	100	30

Fuente: CONACYT, (2009)

Continúa...

**Tabla B-1.** Parámetros y valores permisibles para aguas residuales. (Continuación)

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)</b>	<b>Sólidos sedimenta bles (ml/l)</b>	<b>Sólidos suspendi dos totales (mg/l)</b>	<b>Aceites y grasas (mg/l)</b>
2. Fabricación de muebles y accesorios principalmente metálicos	300	100	15	100	30
3. Fabricación de productos metálicos y estructurales	300	100	15	100	30
4. Fabricación de productos metálicos exceptuando maquinaria y equipo	300	100	15	100	30

**Fuente:** CONACYT, (2009).

## Anexo C. Recomendaciones de mezclado para Chevron Soluble Oil B

El primer número indica partes de agua.

El segundo número indica partes de Chevron Soluble Oil B.

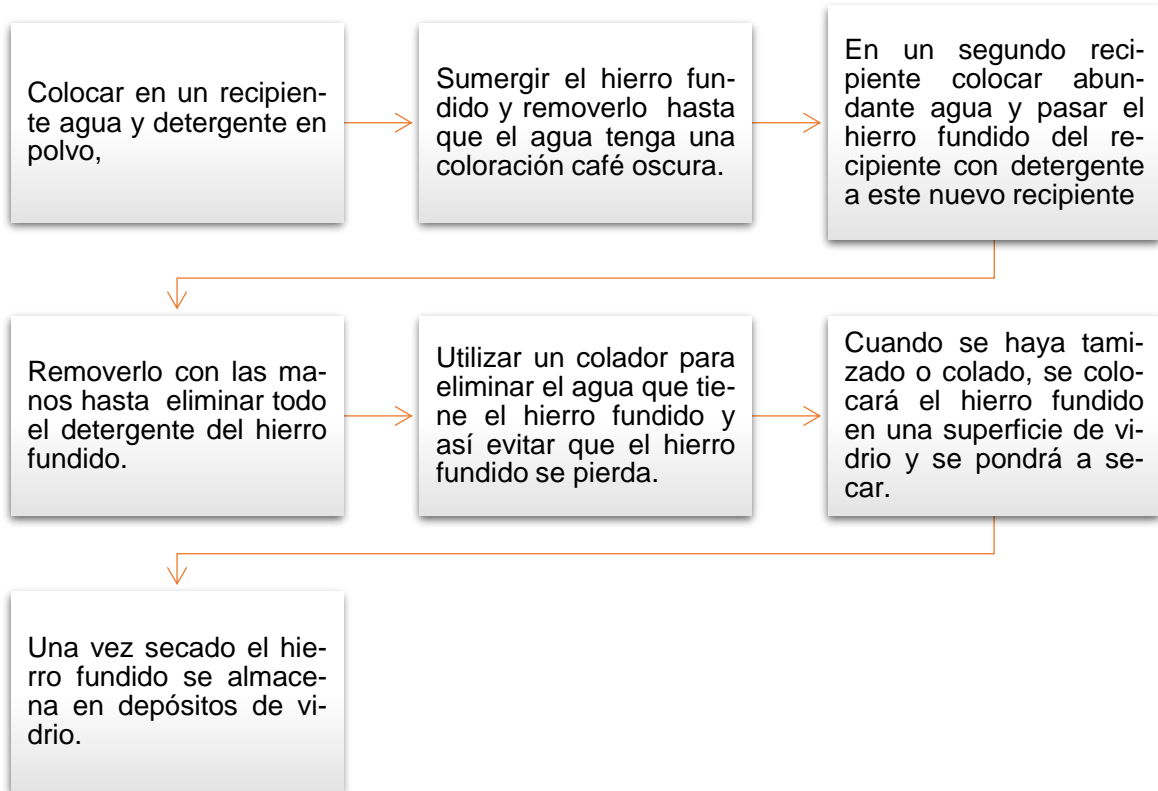
<b>Material</b>	<b>Tomeado, Formación, Aplanado, Perforación</b>	<b>Molienda</b>	<b>Enrosque simple y de tubs</b>	<b>Máquinas Automáticas de Atornillado</b>	<b>Molino</b>	<b>Molino de Rosca</b>	<b>Perforación Profunda</b>	<b>Afeitado o corte de engranajes</b>
Aceros simples o de carbón medio o alto	20:1	20:1	→	20:1	50:1	20:1	→	20:1
Aleaciones de acero	15:1	15:1	→	15:1	50:1	15:1	→	15:1
Lingotes de hierro, hierro forjado, aceros con bajo contenido de carbón	15:1	15:1	→	15:1	50:1	15:1	→	15:1
Aceros inoxidable, herramientas y troqueles de acero	10:1	10:1	→	10:1	50:1	10:1	→	10:1
Aluminio y aleaciones de aluminio	25:1	25:1	30:1	30:1	50:1	30:1	20:1	30:1
Cobre y latón	25:1	25:1	30:1	30:1	→	→	20:1	30:1
Zinc y aleaciones de zinc	25:1	30:1	30:1	30:1	→	→	20:1	→
Bronce y aleaciones de cobre de alta fuerza	10:1	10:1	10:1	10:1	50:1	10:1	→	10:1
Magnesio y aleaciones de magnesio	<b>PELIGRO DE INCENDIO</b>							
Titanio y aleaciones de titanio	10:1	10:1	→	→	→	→	→	→
Níquel y aleaciones de níquel	10:1	10:1	→	10:1	50:1	10:1	→	10:1
Hierro fundido	Seco	Seco	Seco	→	Seco	Seco	Seco	Seco

→ Rara vez utilizado.

**Figura C-1.** Proporciones de mezclado de Chevron Soluble Oil B (Chevron, 2016)

## Anexo D. Descripción del proceso de limpieza del hierro residual.

### LIMPIEZA DE HIERRO RESIDUAL



Anexo E. Descripción del procedimiento para la elaboración del FeCl<sub>3</sub>.



**Limpeza de Hierro residual**



**Tamizado**



**Selección Imanes**



**Pesaje de Hierro**



**Reacción**



**Filtrado**



**Almacenamiento**



## **Anexo F. Marcha de laboratorio para obtener tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ )**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
DOCENTE: INGA. EUGENIA GAMERO  
TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**MARCHA DE LABORATORIO  
OBTENCIÓN DE COAGULANTE TRICLORURO DE HIERRO A PARTIR DE  
HIERRO RESIDUAL OBTENIDO DE TALLERES DE RECTIFICADO DE  
MOTORES.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Obtener tricloruro de hierro ( $\text{FeCl}_3$ ) en solución a partir del hierro residual de talleres de rectificado de motores y evaluar su efectividad como coagulante en el tratamiento de aguas residuales de tenería.

### **PARTE I: Selección y acondicionamiento de material ferroso.**

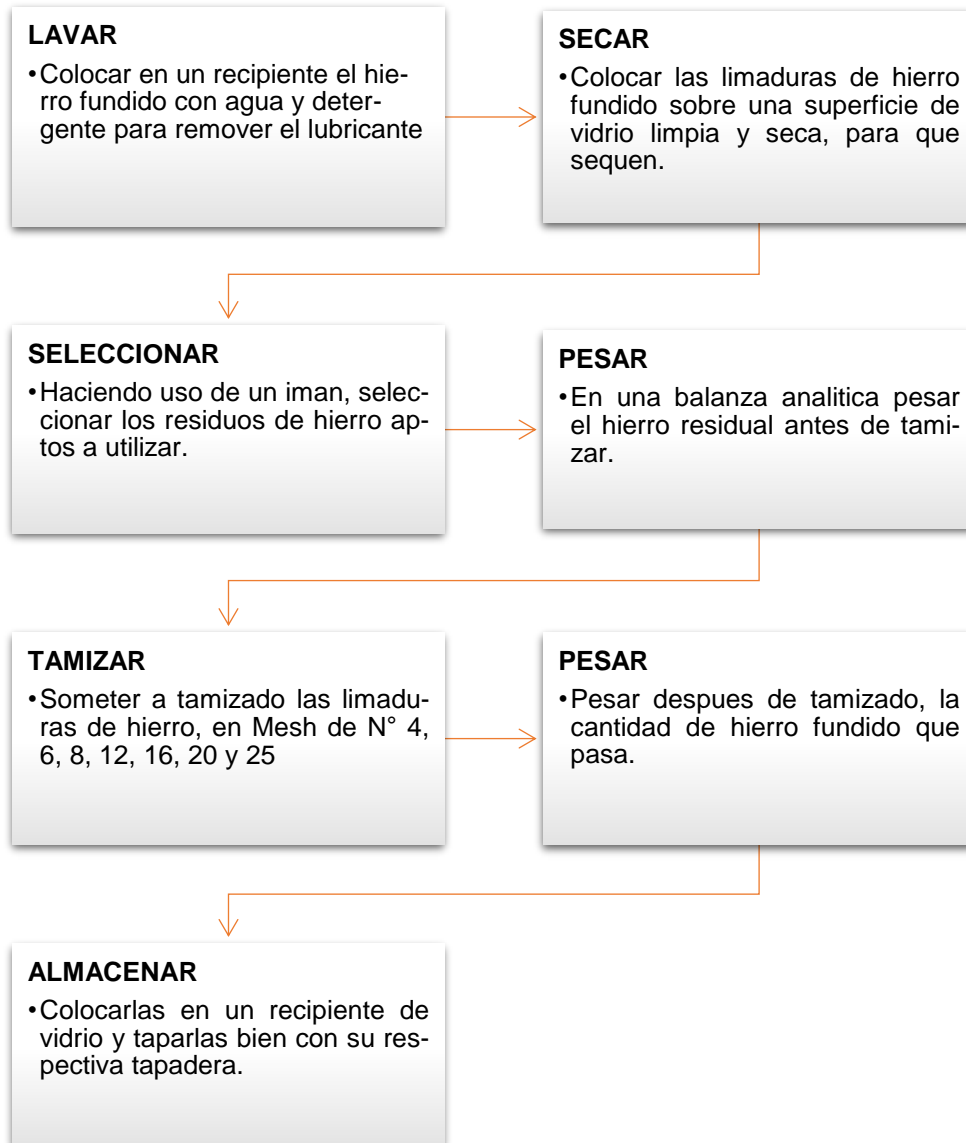
#### **MATERIAL Y EQUIPO**

- 1 imán.
- Detergente.
- Tamices N° 4, 6, 8, 12, 16, 20 y 25
- 1 espátula
- 2 vidrios de reloj
- Balanza analítica
- Limadura de hierro fundido
- Viruta de acero VCN 150

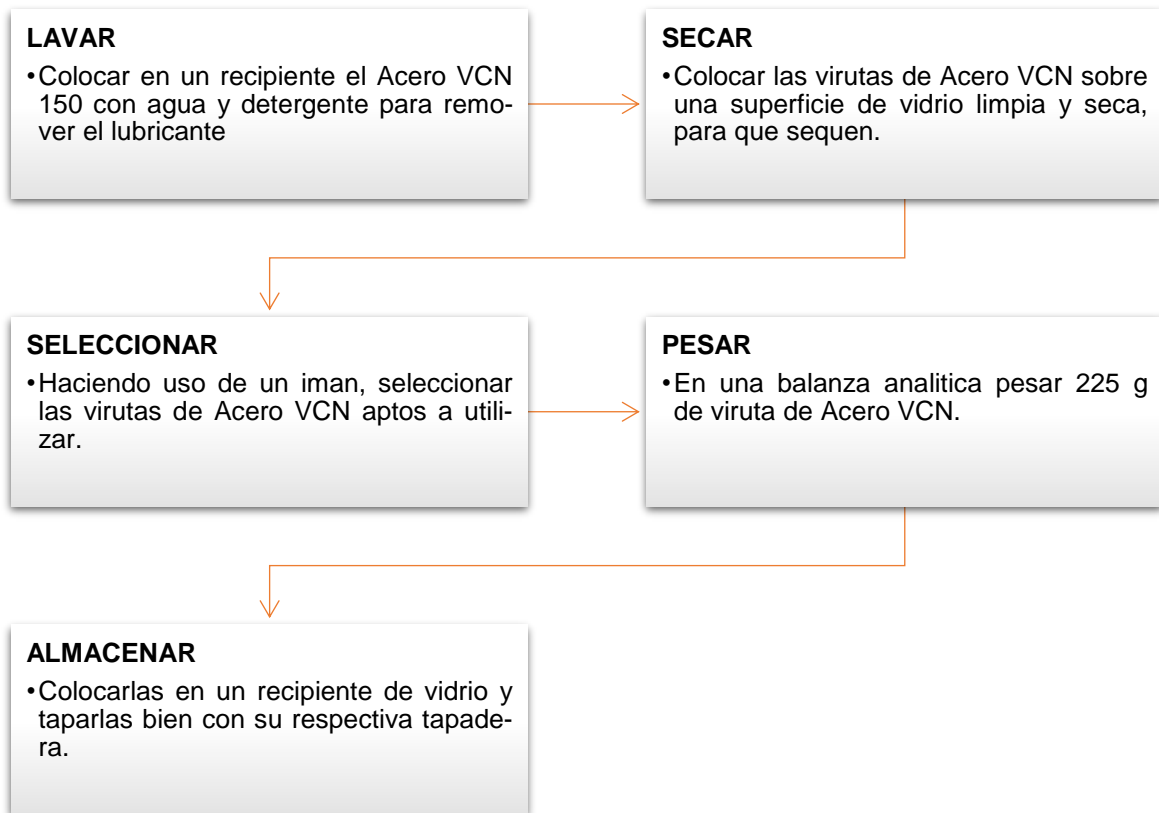
- Alicate
- Guantes para metales
- 2 envases de vidrio de 200 ml

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### A. Procedimiento experimental para Hierro fundido



## B. Procedimiento experimental para Acero VCN 150



## PARTE II

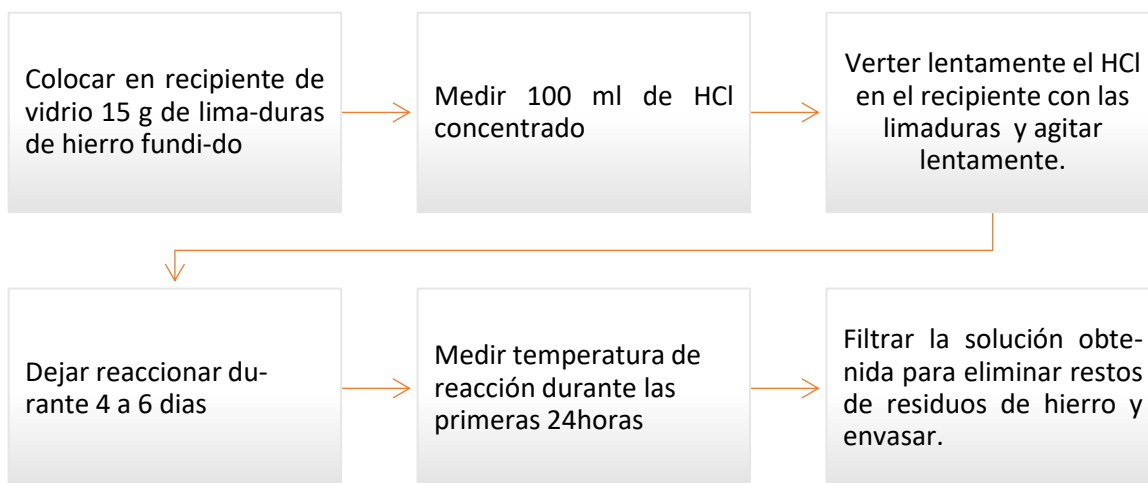
Realizar al aire libre por la emisión de gases y usar mascarilla y gafas de protección.

### MATERIAL Y EQUIPO

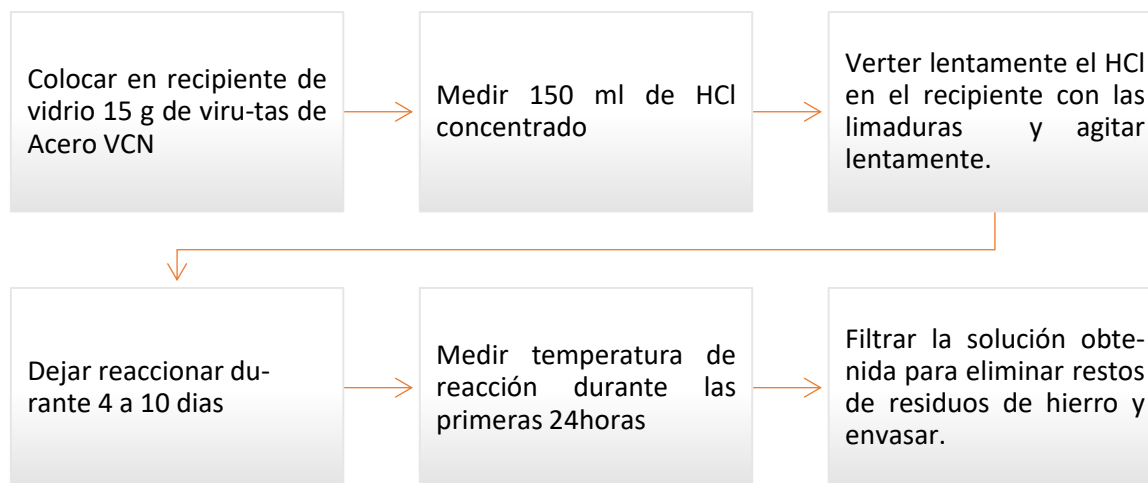
- 4 recipientes de vidrio de 750 ml aproximadamente.
- Probeta de 100 ml
- Probeta de 50 ml
- 1 agitador de vidrio
- 1 frasco lavador
- 1 espátula
- 1 termómetro
- 1 cronómetro digital
- Papel filtro

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### A. Para Hierro Fundido



### B. Para Acero VCN 150



**NOTA:** *Tener mucha precaución ya que inmediatamente inicia la reacción y la emisión de gases tóxicos.*

### PARTE III: PRUEBA DE FENOLES.

#### MATERIAL Y EQUIPO.

- 1 frasco lavador
- Balanza analítica.
- 3 tubos de ensayo
- Gradilla para tubos de ensayo
- 1 agitador de vidrio
- 2 vidrio de reloj
- 1 espátula
- Probeta de 100 ml y 50 ml
- 2 beakers 250 ml

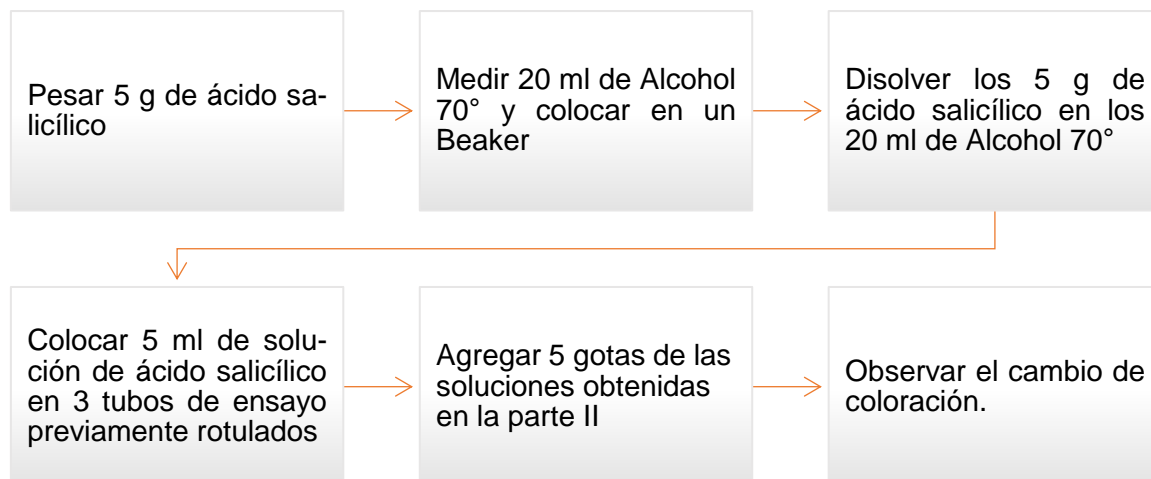
#### REACTIVOS

Ácido salicílico

Alcohol 70°

Agua destilada

#### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



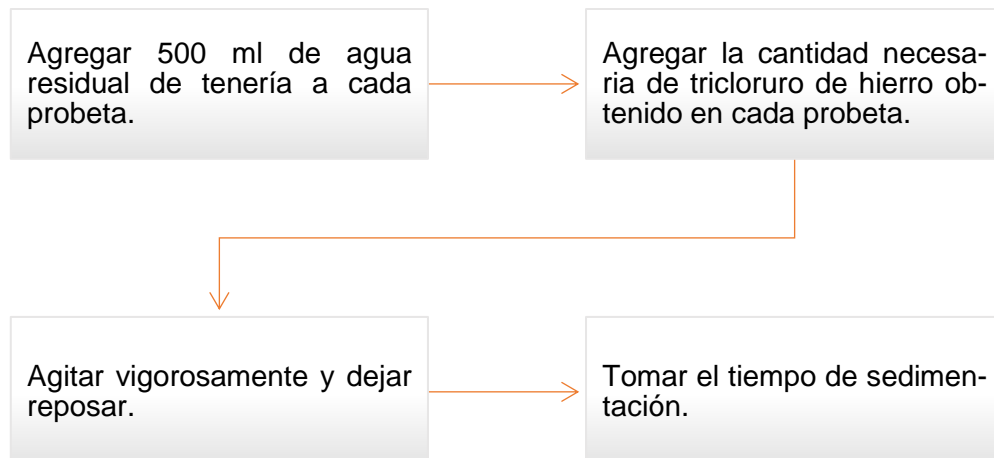
El cambio de coloración a observarse debe ser de transparente a violeta oscuro. De esta manera se determina la presencia de tricloruro de hierro en la solución obtenida en la parte II.

## PARTE IV: PRUEBA DE JARRAS

### MATERIAL Y EQUIPO.

- 2 probetas 1000 ml
- 1 hotplate
- 1 agitador magnético
- 2 agitadores de vidrio
- 2 probetas 10 ml
- 1 cronómetro digital

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



### Parte V: comparación con coagulantes comerciales

Repetir el procedimiento experimental de la parte IV con el coagulante comercial

## Anexos G. Cálculos

Se detallan los cálculos realizados para la caracterización del proceso de obtención del coagulante tricloruro de hierro a partir de hierro residual.

### Anexo G-1. Cálculo para $D_p$ y $S_p$ .

$$D_p = \frac{T_{n,min} + T_{n,max}}{2}$$

**Ecuación 12.**

Donde:

$D_p$  = diámetro o tamaño de las partículas retenidas en el tamiz  $n$

$T_{n,min}$  = Apertura de la malla de tamiz “ $n$ ”

$T_{n,max}$  =Apertura de la malla de tamiz “ $n-1$ ”

Si se retiene en malla 16, entonces el cálculo es:

$$D_{16} = \frac{1.18 + 0.841}{2} = 1.0105 \text{ mm}$$

De la misma forma se calcula para cada malla, con el fin de determinar los diámetros de las partículas retenidos en esa malla.

### Cálculo de la Superficie de contacto

Para calcular la superficie de Contacto, se hace uso de la ecuación 13 tomada de la unidad I, de Características y propiedades de sólidos y de masas de partículas.

$$S_p = \pi * D_p^2$$

**Ecuación 13.**

Haciendo uso de los  $D_p$  de la tabla 5-1, se toma como ejemplo el dato de la malla 12:

$$S_p = \pi * 1.43^2 = 6.4242$$

### **Anexo G-2. Cálculo para % acumulativo, Cc y Cu.**

DATOS:

Peso de la muestra total ( $W_T$ ) = 218.17 g

Peso de bandeja = 2.78 g

Peso retenido total en malla ( $W$ ): 215.39 g

$$\% \text{ Retenido Parcial} = \frac{W_T}{W} * 100$$

**Ecuación 14.**

% Acumulado retenido 1 = % Parcial retenido Mx + % Parcial retenido My

% Acumulado retenido 2 = % Parcial retenido My + % Parcial retenido Mz

Y así sucesivamente se va obteniendo para cada uno.

Teóricamente se debe de cumplir que  $B = C + R$  donde  $B$  = total de la muestra,  $C$  = total de partículas que atraviesan el tamiz y  $R$  la suma de todos los rechazados.

El porcentaje de error es importante determinarlo para conocer las pérdidas totales, en este caso se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Error} = \frac{W_0 - W_F}{W_F} * 100$$

**Ecuación 15.**

Donde:

$W_0$  = Peso total inicial de la muestra después de tamizar = 218.17 g



$W_F$  = Peso final utilizado para la elaboración del coagulante = 215.39 g

Entonces; % Error es:

$$\% Error = \frac{W_0 - W_F}{W_F} * 100 = \frac{218.17 - 215.39}{215.39} * 100 = 1.2906 \%$$

Es decir que el % de error máximo debe de ser menor o igual al 2% por lo tanto 1.29 % es aceptado.

### **Cálculo de coeficiente uniforme y coeficiente de curvatura**

Coeficiente uniforme se calcula usando la siguiente formula:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

**Ecuación 16.**

Coeficiente de curvatura se calcula así:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

**Ecuación 17.**

Los valores de Diámetros se pueden calcular de 2 formas:

1. Haciendo una interpolación logarítmica
2. Extrayendo los datos de la gráfica de granulometría.

En este caso se emplea la gráfica granulométrica para leer los valores de  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  representan el diámetro en 10% de las partículas acumuladas que pasan, 30 indica el 30% y así respectivamente.

El valor leído de la gráfica para cada uno es:  $D_{10} = 1.0$ ,  $D_{30} = 1.5$  y  $D_{60} = 2.0$

Conociendo los valores anteriores, se procede a calcular  $Cu$  y  $Cc$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2.0}{1.0} = 2.0$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} = \frac{1.5^2}{1.0 \times 2.0} = \frac{2.25}{2.0} = 1.125$$

### Anexo G-3. Cálculo de Concentración de Coagulante.

Cálculo del %Fe puro de hierro fundido;

Del capítulo I se tiene:

Para hierro fundición gris: 2.5 % - 4.0% C y 1.0 % - 3.0 % Si.

A partir de esa información se determina la pureza del Fe:

Primero se trabaja con el Carbono, teniendo que su composición es de 2.5 a 4% entonces para tener un dato exacto se saca la media y así se conoce cuál es la composición de Carbono presente en el hierro fundido y de igual forma se determina para el silicio.

$$\%C = \frac{2.5+4.0}{2} = 3.25 \qquad \%Si = \frac{1.0+3.0}{2} = 2$$

Entonces:

$$\% Fe = 100 - \%C - \%Si$$

$$\%Fe = 100 - 3.25\% - 2\% = 94.75\%$$

Conociendo el % Fe que tiene el hierro fundido utilizado para crear el coagulante, se determina la masa de hierro puro que hay en el hierro fundido:

$$m_{\text{hierro puro a rxn}} = (m_{\text{Fe fundido Pesado en Lab}})(\%Fe)$$

**Ecuación 18**

Posteriormente se necesita conocer la masa del HCl que se usó para la reacción, para eso, se utiliza el valor de la densidad, determinada en laboratorio usando densímetros; el valor determinado fue: 1.171 g/ml.

Teniendo el dato de la densidad, la masa del HCl se calcula así:

$$m_{HCl} = 1.171 \frac{g}{ml} \times V_{HCl \text{ usado}}$$

**Ecuación 19**

La concentración del coagulante entonces se determinará como se muestra en la ecuación:

$$\text{Concentración} = \% \frac{m}{m} = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solución}}} = \frac{m_{\text{Fe puro a Rxn}}}{m_{HCl}} \times 100$$

**Ecuación 20**

Ahora calculando la concentración para la prueba con código P01, usando las ecuaciones 18, 19 y 20

$$m_{\text{hierro puro a rxn}} = (15.0)(0.9475) = 14.2125 \text{ g}$$

$$m_{HCl} = 1.171 \frac{g}{ml} \times 100 \text{ ml} = 117.1 \text{ g}$$

$$\text{Concentración} = \% \frac{m}{m} = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solución}}} = \frac{14.2125}{117.1} \times 100 = 12.13706 \%$$

#### Anexo G-4. Cálculos para Sólidos Suspendidos Totales.

Para determinar los sólidos suspendidos totales se aplica la siguiente ecuación (Hernández, 2007):

$$SST = \frac{(A - B) \times 1000}{V}$$

**Ecuación 21**

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales

A: Peso del papel filtro + peso de residuo seco en mg

B: Peso del papel filtro en mg

V: Volumen de muestra en ml o L

#### Anexo G-5. Valores Máximos Permitidos de pH

**Tabla G5-1.** Valores permisibles para aguas residuales.

Parámetros		Valores máximos permisibles
Aluminio (Al)	mg/l	5
Arsénico (As)	mg/l	0,1
Bario total (Ba)	mg/l	5
Berilio (Be)	mg/l	0,5
Boro (B)	mg/l	1,5
Cadmio (Cd)	mg/l	0,1
Cianuro total (CN <sup>-</sup> )	mg/l	0,5
Cinc (Zn)	mg/l	5
Cobalto (Co)	mg/l	0,05
Cobre (Cu)	mg/l	1
Coliformes fecales	NMP/100ml	2 000

Fuente: CONACYT, (2009)

Continúa...

**Tabla G5-1.** Valores permisibles para aguas residuales (Continuación)

Parámetros		Valores máximos permisibles
Coliformes totales	NMP/100ml	10 000
Compuestos fenólicos sintéticos	mg/l	0.5
Cromo hexavalente (Cr <sup>+6</sup> )	mg/l	0,1
Cromo total (Cr)	mg/l	1
Detergentes (SAAM)	mg/l	10
Fluoruros (F <sup>-</sup> )	mg/l	5
Fósforo total (P)	mg/l	15
Organofluorina	mg/l	0,1
Fosfatina	mg/l	0,1
Benzimidazol	mg/l	0,1
Piretroides	mg/l	0,1
Bipiridilos	mg/l	0,1
Fenoxi	mg/l	0,1
Triazina	mg/l	0,1
Fosfónico	mg/l	0,1
Hierro total (Fe)	mg/l	10
Litio (Li)	mg/l	2
Manganeso total (Mn)	mg/l	2
Materiales flotantes	mg/l	Ausentes
Mercurio (Hg)	mg/l	0,01
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,1
Níquel (Ni)	mg/l	0,2
Nitrógeno total (N)	mg/l	50
Organoclorados	mg/l	0,05
Organofosforados y Carbamatos	mg/l	0,1
pH	Unidades	5,5 – 9,0 <sup>2)</sup>
Plata (Ag)	mg/l	0,2
Plomo (Pb)	mg/l	0,4
Selenio (Se)	mg/l	0,05
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/l	1000
Sustancias radiactivas	-	0
Temperatura	C	20-35 °C
Vanadio (V)	mg/l	1

Fuente: CONACYT, (2009)

## Anexos H. Resultados de Análisis para DQO y Cr<sup>+6</sup>



**Figura H-1.** Muestra MA02 Agua residual con coagulante P00



**Figura H-2.** Muestra MA06 Agua residual con coagulante P04

## Anexo H-1. Muestra MA01: Agua Residual Cruda



F - 09



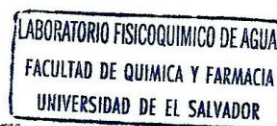
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

<b>CODIGO N° 14-18</b>		<b>INFORME DE RESULTADOS</b>			
Nombre y dirección del cliente: MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA COLONIA LAYCO, PASAJE LAYCO. # 1245. SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL					N° DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: TENERIA LA SIRENITA. SONSONATE					
Fecha de elaboración del informe: MARTES, 23 DE OCTUBRE DE 2018					
Fecha de recepción de muestra: 15 DE OCTUBRE DE 2018			Fecha de Análisis: DEL 15 AL 22 DE OCTUBRE DE 2018		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09*
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cromo Hexavalente	Fotométrico	14-18-02	AGUA RESIDUAL TRATADA	3.0 mg/L	0.1 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			5200 mg/L	1500 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Aguas residuales de tipo: Pieles cueros, talabartería y peletería (curtidurías y talleres de acabado).					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

FECHA DE ENTREGA: 23 OCT 2018



*Henry Alfredo Hernández Contreras*  
Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Jefe del Laboratorio y Analista

*Rosa Mirian Rivas de Lara*  
Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
Analista

*María del Carmen Polfo Martínez*  
Lic. María del Carmen Polfo Martínez  
Analista

FIN DEL REPORTE

ael\*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa\_ues@yahoo.com

## Anexo H-2. Muestra MA02: Coagulante comercial-Sulfato de aluminio



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 17-18		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA COLONIA LAYCO, PASAJE LAYCO. # 1245. SAN SALVADOR.					Pág. 3 de 3
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL					N° DE MUESTRAS: 3
Lugar de toma de muestra: TENERIA LA SIRENITA. SONSONATE					
Fecha de elaboración del informe: MARTES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2018					
Fecha de recepción de muestra: 19 DE NOVIEMBRE DE 2018			Fecha de Análisis: DEL 19 AL 26 DE NOVIEMBRE DE 2018		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09*
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cromo Hexavalente	Fotométrico	17-18-03	MUESTRA 3	0.56 mg/L	0.1 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			11800 mg/L	1500 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Aguas residuales de tipo: Pieles cueros, talabartería y peletería (curtidurías y talleres de acabado).					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

FECHA DE ENTREGA: 29 NOV 2018

  
Lic. Henry Alfredo Fernández Contreras  
Jefe del Laboratorio y Analista

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

  
Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
Analista

  
Lic. María del Carmen Polio Martínez  
Analista

FIN DEL REPORTE

ael\*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa\_ues@yahoo.com



## Anexo H-3 Muestra MA03: Cogulante P03-Base Acero VCN 150



F - 09



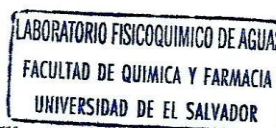
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**  
**LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

<b>CODIGO N° 14-18</b>		<b>INFORME DE RESULTADOS</b>			
<b>Nombre y dirección del cliente:</b> MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA COLONIA LAYCO, PASAJE LAYCO. # 1245. SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 2
<b>Descripción de muestra:</b> AGUA RESIDUAL					N° DE MUESTRAS: 2
<b>Lugar de toma de muestra:</b> TENERIA LA SIRENITA. SONSONATE					
<b>Fecha de elaboración del informe:</b> MARTES, 23 DE OCTUBRE DE 2018					
<b>Fecha de recepción de muestra:</b> 15 DE OCTUBRE DE 2018			<b>Fecha de Análisis:</b> DEL 15 AL 22 DE OCTUBRE DE 2018		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09*
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cromo Hexavalente	Fotométrico	14-18-02	AGUA RESIDUAL TRATADA	3.0 mg/L	0.1 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			5200 mg/L	1500 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Aguas residuales de tipo: Pieles cueros, talabartería y peletería (curtidurías y talleres de acabado).					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

**FECHA DE ENTREGA:** 23 OCT 2018



Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
 Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
 Analista

Lic. María del Carmen Pofío Martínez  
 Analista

FIN DEL REPORTE

acl\*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa\_ues@yahoo.com

## Anexo H-4. Muestra MA04: Coagulante P01–Base Hierro Fundido



F – 09



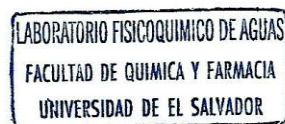
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 16-18		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA COLONIA LAYCO, PASAJE LAYCO. # 1245. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL					N° DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: TENERIA LA SIRENITA. SONSONATE					
Fecha de elaboración del informe: MIERCOLES, 13 DE NOVIEMBRE DE 2018					
Fecha de recepción de muestra: 06 DE NOVIEMBRE DE 2018			Fecha de Análisis: DEL 06 AL 12 DE NOVIEMBRE DE 2018		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09*
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cromo Hexavalente	Fotométrico	16-18-01	AGUA RESIDUAL	3.62 mg/L	0.1 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			5200 mg/L	1500 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
– La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Aguas residuales de tipo: Pieles cueros, talabartería y peletería (curtidurías y talleres de acabado).					

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

FECHA DE ENTREGA: 19 NOV 2018



Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
Analista

Lic. María del Carmen Pofio Martínez  
Analista

FIN DEL REPORTE

ael\*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa\_ues@yahoo.com

## Anexo H-5. Muestra MA05: Coagulante P04-Base Hierro Fundido



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 16-18		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA COLONIA LAYCO, PASAJE LAYCO. # 1245. SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL				N° DE MUESTRAS: 2	
Lugar de toma de muestra: TENERIA LA SIRENITA. SONSONATE					
Fecha de elaboración del informe: MIERCOLES, 13 DE NOVIEMBRE DE 2018					
Fecha de recepción de muestra: 06 DE NOVIEMBRE DE 2018			Fecha de Análisis: DEL 06 AL 12 DE NOVIEMBRE DE 2018		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09*
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cromo Hexavalente	Fotométrico	16-18-02	AGUA RESIDUAL	2.82 mg/L	0.1 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			4900 mg/L	1500 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Aguas residuales de tipo: Pieles cueros, talabartería y peletería (curtidurías y talleres de acabado).					

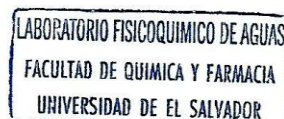
**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

19 NOV 2018

**FECHA DE ENTREGA:** \_\_\_\_\_

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Jefe del Laboratorio y Analista



Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
Analista

Lic. María del Carmen Polfo Martínez  
Analista

FIN DEL REPORTE

ael\*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa\_ues@yahoo.com

## Anexo H-6. Muestra MA06: Coagulante P04-Base Hierro Fundido



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA  
LABORATORIO FISCOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO Nº 17-18		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: MERCEDES ALICIA ALVARADO BONILLA COLONIA LAYCO, PASAJE LAYCO. # 1245. SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 3
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL					Nº DE MUESTRAS: 3
Lugar de toma de muestra: TENERIA LA SIRENITA. SONSONATE					
Fecha de elaboración del informe: MARTES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2018					
Fecha de recepción de muestra: 19 DE NOVIEMBRE DE 2018			Fecha de Análisis: DEL 19 AL 26 DE NOVIEMBRE DE 2018		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma Salvadoreña Agua. Agua Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09*
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cromo Hexavalente	Fotométrico	17-18-02	MUESTRA 2	0.49 mg/L	0.1 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico			8150 mg/L	1500 mg/L
<b>Observaciones:</b>					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Aguas residuales de tipo: Pieles cueros, talabartería y peletería (curtidurías y talleres de acabado).					

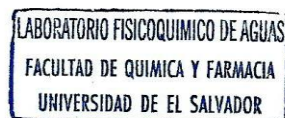
**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.  
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.  
- El Laboratorio Fiscoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com.

29 NOV 2018

FECHA DE ENTREGA: \_\_\_\_\_

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Jefe del Laboratorio y Analista



Lic. Rosa Mirian Rivas de Lara  
Analista

Lic. María del Carmen Polio Martínez  
Analista

FIN DEL REPORTE

adl\*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa\_ues@yahoo.com