

PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE GALVANIZADO POR
INMERSIÓN EN CALIENTE PARA GARCÍA VEGA S.A.S

JUAN SEBASTIÁN TRIVIÑO GARRIDO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2020

PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PROVENIENTES DEL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN
CALIENTE PARA GARCÍA VEGA S.A.S

JUAN SEBASTIÁN TRIVIÑO GARRIDO

Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
FABIO JOSÉ GARCÍA VEGA
Ingeniero Mecánico
Gerente General

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2020

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Ing. Felipe Correa Mahecha
Firma del jurado

Ing. Claudio Alberto Moreno Arias
Firma del jurado

Bogotá, D.C Julio, 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZALES

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. IVAN RAMIREZ MARIN

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento.

Estos corresponden únicamente al autor.

DEDICATORIA

A mi madre Karen a mi tía María del Pilar y a mi abuela Esperanza, su constante lucha y esfuerzo incondicional hicieron posible llegar a esta etapa de la vida, pese a las adversidades, han sido un gran ejemplo de que todo se puede lograr siempre actuando con respeto, humildad y dedicación; admiración total y para ellas todos mis logros venideros. A Simón mi perro, quien me acompañó gran parte de la carrera y que ahora lo hace en espíritu, para el mi agradecimiento profundo, para ello, te eternizare en este proyecto. Al lector, que le sirva como hoja de ruta para mejorar la industria Colombiana que tanto potencial tiene; debemos cambiar más vidas y crear más sonrisas porque somos el futuro de nuestra nación. Por la Paz estable y duradera en Colombia.

Juan Sebastián Triviño Garrido

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Fabio José García Vega por permitirme realizar el proyecto en la planta de Galvanizado en la ciudad de Bucaramanga, por su apoyo incondicional y acompañamiento en cada una de las etapas.

A todo el personal de García Vega S.AS los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de cada objetivo. Su interés y pasión por ser mejores cada día denota el amor por la compañía.

Al ingeniero Sergio Velandia Ingeniero ambiental de LIPESA S.A por proporcionar todos los insumos necesarios para poder desarrollar la fase experimental, acompañamiento total en el laboratorio, por la asesoría y sus respectivas recomendaciones para obtener los mejores resultados con los productos seleccionados.

Al ingeniero Metalúrgico Mario Valero Alvarado asesor de plantas de tratamiento de superficies metálicas de la empresa BYCSA S.A por brindarme su conocimiento y total disposición para obtener la mejor relación costo beneficio en el proceso de galvanizado, su vocación y entendimiento de la necesidad de la empresa logro brindarle una propuesta adecuada a la compañía.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	pág. 29
OBJETIVOS	30
1. GENERALIDADES DEL SECTOR DE GALVANOTÉCNIA	31
1.1 CONTEXTO DEL SECTOR	31
1.1.1 Industria del acero en Colombia.	32
1.2 EL MERCADO DE GALVANIZADO EN COLOMBIA	32
1.3 CORROSIÓN EN COLOMBIA	34
1.3.1. Costos y Gastos de la Corrosión.	35
1.3.1.1 El Costo de No Galvanizar.	35
1.4 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE	36
1.4.1 Beneficios del galvanizado.	36
1.4.2 Diseño de Galvanización.	38
1.4.2.1 Material Libre de Pintura y Etiquetas.	38
1.4.2.2 Perforaciones.	39
1.4.2.3 Deformaciones.	39
1.4.3 El zinc fundamento de la galvanización	40
1.4.3.1 Características del zinc.	40
1.4.3.2 Propiedades del zinc.	42
1.4.3.2.1 Físicas.	42
1.4.3.2.2 Químicas.	43
1.5 GALVANIZADO Y MEDIO AMBIENTE	44
1.5.1 Mejoras en el sector de galvanizado.	45
1.5.1.1 Sustentabilidad y mejora tecnológica.	45
1.5.1.2 Mantenimiento preventivo.	45
1.5.1.3 Uso eficiente del agua.	46
1.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	46
1.6.1 Análisis Físico.	46
1.6.2 Análisis Químico.	46

1.6.3 Análisis Biológico.	46
1.7 METODOS DE TRATAMIENTO	46
1.7.1 Tratamiento Primario.	47
1.7.2 Tratamiento secundario.	47
1.7.3 Tratamiento Terciario.	47
1.8 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES TRATAMIENTO DE AGUAS EN GALVANIZADO	49
1.8.1 Macro Algas Pardas Para el Tratamiento de Aguas del Proceso de Galvanizado	49
1.8.2 Eliminación de Níquel de Aguas Residuales Galvánicas por Electrodeposición.	49
1.8.3 Eliminación de Cromo Hexavalente de Aguas Residuales Galvanoplastia Utilizando Macroalga Marina Pelvetia Canaliculata.	50
1.8.4 Electrocoagulación como Tratamiento de Aguas Residuales Galvanicas.	50
1.9 MARCO NORMATIVO PARA GALVANIZADO	51
1.9.1 Parámetros de evaluación.	51
2. DIAGNOSTICO	55
2.1 PROCESO PRODUCTIVO	55
2.1.1 Descripción del Proceso Productivo.	56
2.1.1.1 Recepción de Material y enganche.	56
2.1.1.2 Desengrase.	57
2.1.1.3 Decapado.	58
2.1.1.4 Enjuague.	59
2.1.1.5 Fluxado.	60
2.1.1.6 Zona de Calentamiento.	61
2.1.1.7 Galvanizado	61
2.1.1.8 Enfriamiento	63
2.1.1.9 Inspección y Pesaje	64
2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN	65
2.2.1 Residuos Sólidos	65
2.2.2 Residuos Líquidos	66
2.3 FUENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS	68
2.3.1 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Desengrase	69

2.3.2 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Decapado	72
2.3.3 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Enjuague	78
2.3.4 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Fluxado	80
2.3.5 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Enfriamiento	82
2.3.6 Balance Hídrico	82
2.3.6.1 Consumo de Agua	83
2.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS	84
2.4.1 Discusión de Resultados	85
2.5 MUESTREO	86
2.5.1 Muestreo Simple	87
2.5.2 Muestreo Compuesto	87
2.5.3 Factores que Afectan el Muestreo	87
2.5.4 Discusión de Resultados	89
2.6 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	89
2.6.1 Caracterización Cuba Decapado	89
2.6.2 Caracterización Cuba Enjuague	90
2.6.3 Caracterización Cuba Enfriamiento	91
2.6.4 Discusión de Resultados	91
3. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y MEJORAMIENTO EN EL PROCESO PRODUCTIVO	92
3.1 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	92
3.1.1 Reducción en Origen	93
3.1.1.1 Buenas prácticas	94
3.1.1.2 Gestión de proveedores	94
3.1.1.3 Almacenamiento	94
3.1.1.4 Política	94
3.1.1.5 Operación	94
3.2 MEJORAMIENTO DE PROCESOS	94
3.2.1 Montaje Piezas y Cubas a Nivel Laboratorio	97
3.2.1.1 Montaje Cubas Desengrase y Decapado	97
3.2.1.2 Montaje Cubas Enjuague, Fluxado y Enfriamiento	97
3.2.1.3 Montaje Piezas	98

3.3 PRUEBA REDUCCIÓN EN ORIGEN	100
3.3.1 Cuba de Desengrase a Nivel Laboratorio	101
3.3.2 Cuba de Decapado a Nivel Laboratorio	102
3.3.2.1 Determinación de Acidez	103
3.3.3 Cuba de Enjuague Nivel a Nivel Laboratorio	104
3.3.4 Cuba de Fluxado Nivel a Nivel Laboratorio	106
3.3.5 Inspección	107
3.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	109
3.5 VALORIZACION DE LOS EFLEUNTES	109
3.5.1 Tratamiento Enjuague	109
3.5.1.1 Neutralización con Soda Caustica	110
3.5.1.1.1 Caracterización Neutralización de Enjuague Hidróxido de Sodio	112
3.5.1.2 Neutralización con ALKA PI PROVINAS	112
3.5.1.2.1 Caracterización Neutralización de Enjuague con ALKA PI PROVINAS	113
3.5.1.3 Discusión de Resultados	114
3.5.1.4 Descripción del tratamiento	117
3.5.2 Tratamiento agua de enfriamiento	117
3.5.2.1 Precipitación de metales	118
3.5.2.2 Sedimentación	119
3.5.2.3 Floculación	120
3.5.2.4 Prueba de Jarras	122
3.5.2.4.1 Selección Floculante	125
3.5.2.4.2 Selección Coagulante	127
3.5.2.4.3 Dosis Óptima	129
3.5.2.4.4 Discusión de resultados	131
3.5.2.5 Caracterización Prueba de Jarras Agua de Enfriamiento	131
3.5.2.6 Descripción del tratamiento	132
3.5.2.7 Análisis de Resultados	132
3.6 TRATAMIENTO CUBA DE DECAPADO Y KLEANEX DECK	133
3.6.1 Decapado HCL 16%	133
3.6.1.1 Caracterización Prueba de Jarras Etapa de Decapado	134
3.6.1.2 Análisis de resultados	135
3.6.2 Kleanex Deck	136

3.6.2.1 Caracterización Prueba de Jarras Etapa de Decapado Kleanex Dec	137
3.6.2.2 Análisis de Resultados	138
3.6.2.3 Descripción del tratamiento	138
3.6.2.4 Ácido Clorhídrico Vs Kleanex Deck	139
3.6.3 Discusión de Resultados	140
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	141
4.1 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	141
4.1.1 Trampa de grasas	141
4.1.2 Tanque de Homogenización	145
4.1.3 Tanque Precipitador	150
4.1.4 Tanque Floculador	150
4.1.5. Tanque Clarificador	151
4.1.6 Tanque de Filtrado	155
4.2 DOSIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS	159
4.2.1 Acondicionador de pH	159
4.2.1 Dosificación coagulante	160
4.2.3 Dosificación floculante	161
5. ANALISIS DE COSTOS	165
5.1 COSTOS DE INVERSIÓN	165
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN	167
5.2.1 Materias primas e insumos	167
5.2.2 Costo Colaborador	169
5.2.3 Costo de Caracterización	169
5.2.4 Costos Totales	170
5.3 ANALISIS DEL PROYECTO	170
5.3.1 Valor Presente Neto (VPN)	170
5.4 FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	172
6. CONCLUSIONES	173

7. RECOMENDACIONES	174
BIBLIOGRAFIA	175
ANEXOS	180

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Indicadores de Consumos de Acero y Galvanizado	32
Cuadro 2. Categoría de Corrosividad según su Ambiente	34
Cuadro 3. Corrosión en Colombia, Perdida de Recubrimiento y Categoría Según su Región	35
Cuadro 4. Protección por Barrera y Catódica al Acero	38
Cuadro 5. Operaciones Tratamiento Primario	47
Cuadro 6. Operaciones Tratamiento Terciario	48
Cuadro 7. Parámetros de Evaluación Para el Tratamiento y Revestimiento de Metales Según la Resolución 631 del 2015	52
Cuadro 8. Matriz de Evaluación de Criterios García Vega S.A.S	85
Cuadro 9. Ponderación Criterios de Evaluación García Vega	85
Cuadro 10. Condiciones Iniciales de Operación Cubas a Nivel Laboratorio	100
Cuadro 11. Descripción y Características de Los Insumos Utilizados.	120
Cuadro 12. Características de Los Polímeros Estudiados	121

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tamaño de las Cubas Existentes en Colombia	33
Tabla 2. Estimación de la Producción de Galvanizado en Colombia (Ton. Mes. Estimadas por Ciudad)	33
Tabla 3. Comparación Otros Recubrimientos Frente al Galvanizado	37
Tabla 4. Velocidad de Corrosión Atmosférica del Zinc	42
Tabla 5. Propiedades Físicas del Zinc	42
Tabla 6. Marco Normativo General para Vertimiento y Sustancias Químicas controladas	53
Tabla 7. Desengrase Hydronet	58
Tabla 8. Decapado HCL	59
Tabla 9. Etapa de Enjuague	60
Tabla 10. Fluxado	61
Tabla 11. Etapa de Galvanizado	63
Tabla 12. Etapa de Enfriamiento	64
Tabla 13. Composición Escoria	65
Tabla 14. Descripción Materias Primas	68
Tabla 15. Comparación de Las Propiedades del Ácido Clorhídrico y Ácido Sulfúrico	72
Tabla 16. Análisis de Resultados Cuba Decapado	90
Tabla 17. Análisis de Resultados Cuba Enjuague	90
Tabla 18. Análisis de Resultados Cuba Enfriamiento	91
Tabla 19. Jerarquía de Opciones de Gestión Ambiental	92
Tabla 20. Características del Ácido Clorhídrico y Kleaner Dec	96
Tabla 21. Puntuación Acida para Diferentes Preparaciones	104
Tabla 22. Valores de Densidades para la Solución de Hidróxido de Sodio al 50% a Diferentes Temperaturas	111
Tabla 23. Análisis de Resultados Enjuague Hidróxido de Sodio	112
Tabla 24. Propiedades Físicas y Químicas Alka PI PROVINAS	113
Tabla 25. Análisis de Resultados Enjuague ALKA PI Concentrado	114
Tabla 26. Eficiencia de remoción Cuba de Enjuague	116
Tabla 27. Técnica de tratamiento unitario del agua de enfriamiento	118
Tabla 28. Índice de Willcomb	124
Tabla 29. Prueba de Jarras Selección Floculante Cuba de Enfriamiento	124
Tabla 30. Prueba de Jarras Selección Coagulante Cuba de Enfriamiento	128
Tabla 31. Dosis Optima Coagulantes y Floculantes Agua de Enfriamiento	130
Tabla 32. Resultados Dosis Optimas Prueba de Jarras Agua de Enfriamiento	130
Tabla 33. Análisis de Resultados Tratamiento Agua de Enfriamiento	131

Tabla 34. Eficiencia de Remoción Etapa de Enfriamiento	133
Tabla 35. Prueba de Jarras Etapa de Decapado	133
Tabla 36. Análisis de Resultados Tratamiento Cuba de Decapado	134
Tabla 37. Porcentaje de Remoción Prueba de Jarras Etapa de Decapado	135
Tabla 38. Eficiencia de Remoción Etapa de Decapado	135
Tabla 39. Comparativo Concentraciones Ácido Clorhídrico Frente al Kleanex dec	137
Tabla 40. Análisis de Resultados Decapado Kleanex Dec	138
Tabla 41. Porcentaje de Remoción Prueba de Jarras Etapa de Decapado	138
Tabla 42. Insumos Cuba de Decapado García Vega	139
Tabla 43. Insumos Prueba Cuba a Nivel Laboratorio	140
Tabla 44. Tiempos de Retención Hidráulicos	141
Tabla 45. Dimensiones Reactor Floculador	151
Tabla 46. Características Típicas de Diseño para Filtros Mono Medio	156
Tabla 47. Cantidades Reactivos Químicos	162
Tabla 48. Especificaciones Sistema de Tratamiento	164
Tabla 49. Costos de Equipos.	165
Tabla 50. Costo Anual Compuestos Químicos.	168
Tabla 51. Costo Colaborador	169
Tabla 52. Costo Caracterización.	169
Tabla 53. Costos Totales	170

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Acidez y Nivel en La Cuba de Desengrase	70
Grafica 2. Acidez Frente a Los Kilogramos Procesados Cuba de Desengrase	71
Grafica 3. Acidez y Kilogramos Cuba Decapado	75
Grafica 4. Concentración de Hierro Frente a Los Kilogramos Procesados	76
Grafica 5. Comportamiento del Hierro y el Ácido Clorhídrico en el Tiempo	76
Grafica 6. Comportamiento Acidez en la Cuba de Enjuague	79
Grafica 7. Acidez y Densidad en la Cuba de Fluxado	81
Grafica 8. Producción Primer Semestre 2019	88
Grafica 9. Acidez Cleaner Fa y Nivel Cuba de Desengrase Piloto.	101
Grafica 10. Acidez Frente a Los Kilogramos Procesados Cuba Desengrase Piloto.	102
Grafica 11. Acidez y Kg Procesados Cuba Decapado a Nivel Laboratorio	103
Grafica 12. Comportamiento Acidez Cuba de Enjuague a Nivel Laboratorio.	105
Grafica 13. Acidez y Nivel Cuba de Fluxado a Nivel Laboratorio.	106
Grafica 14. Resultados Prueba Reducción de Origen	107
Grafica 15. Comportamiento Acidez Cuba de Enjuague Hidróxido de Sodio al 50%.	111
Grafica 16. Comportamiento Acidez Cuba de Enjuague ALKA PI PROVINAS.	113
Grafica 17. Ajuste de pH Lipesa L-313.	119
Grafica 18. Velocidades de Sedimentación con Diferentes Coagulantes.	129
Grafica 19. Dosis Optima del Coagulante L-1627.	130
Grafica 20. Ajuste de pH Kleaner Deck.	137

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Volumen Total Muestreo Compuesto.	87
Ecuación 2. Escala de un Objeto	97
Ecuación 3. Calculo Cantidad de Gramos de Soda en Escamas a Utilizar	110
Ecuación 4. Dilución de Soluciones	122
Ecuación 5. Porcentaje de Remoción de La Turbidez.	123
Ecuación 6. Velocidad de Sedimentación	127
Ecuación 7. Caudal de Entrada	144
Ecuación 8. Calculo del Área	144
Ecuación 9. Relación ancho/longitud Trampa de grasas	144
Ecuación 10. Profundidad Útil	145
Ecuación 11. Volumen del Tanque	146
Ecuación 12. Volumen de Un Cilindro	146
Ecuación 13. Diámetro Tanque de Homogenización	146
Ecuación 14. Altura Tanque de Homogenización	147
Ecuación 15. Área del tanque de homogenización	147
Ecuación 16. Diámetro del Agitador	148
Ecuación 17. Determinación Altura Agitador	148
Ecuación 18. Longitud de La Paleta de Agitación del Tanque Homogeneizador	148
Ecuación 19. Diámetro del Tanque Homogeneizador	149
Ecuación 20. Potencia Requerida del Tanque Homogeneizador	149
Ecuación 21. Calculo Tangente Sección Cónica del Tanque Clarificador	153
Ecuación 22. Calculo Cateto Opuesto Sección Cónica Tanque Clarificador	153
Ecuación 23. Volumen de Un Cono	153
Ecuación 24. Volumen sección cilíndrica del tanque clarificador	154
Ecuación 25. Área Sección Cilíndrica del Tanque Clarificador	154
Ecuación 26. Altura Total del Tanque Clarificador	155
Ecuación 27. Profundidad de Lecho	157
Ecuación 28. Tamaño Efectivo Zeolita	157
Ecuación 29. Área de Filtración	157
Ecuación 30. Volumen Filtro	158
Ecuación 31. Valor Presente Neto.	171

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cadena del Sector de Galvanotecnia	31
Figura 2. Flujo de Proceso en García Vega S.A.S	67
Figura 3. Mezcla de Óxidos de Hierro	73
Figura 4. Dependencia del Tiempo de Decapado en la Composición	78
Figura 5. Sistema Binario $ZnCl_2/NH_4Cl$	80
Figura 6. Balance Hídrico	83
Figura 7. Montaje Piezas Nivel Laboratorio	98
Figura 8. Solubilidad de Varios Hidróxidos y Sulfuros Metálicos en Diferentes Condiciones de pH.	115
Figura 9. Diagrama de Flujo Tratamiento Agua de Enjuague	117
Figura 10. Diagrama de Decisión Selección de Coagulante y Floculante	126
Figura 11. Diagrama de Flujo Agua de Enfriamiento	132
Figura 12. Diagrama de Flujo Etapa de Decapado	136
Figura 13. Diagrama de Flujo Etapa de Decapado Kleanex Dec	139
Figura 14. Tanque Homogeneizador	150

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. El costo de No Galvanizar	36
Ilustración 2. Defensas Viales Av Boyaca Cll 66	36
Ilustración 3. Material con Etiqueta de Metal Grabada en Relevé	38
Ilustración 4. Material Libre de Pintura	38
Ilustración 5. Perforaciones del Material a Galvanizar.	39
Ilustración 6. Material Deformado	39
Ilustración 7. Potencia ZN-CO ₂ -H ₂ O.	41
Ilustración 8. Potencial Estándar de Reducción a 25°C.	43
Ilustración 9. Proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente en García Vega S.A.S	55
Ilustración 10. Etapa de Enganche.	57
Ilustración 11. Etapa de Desengrase.	57
Ilustración 12. Etapa Decapado.	58
Ilustración 13. Etapa de Enjuague.	59
Ilustración 14. Etapa de Fluxado.	60
Ilustración 15. Etapa de Pre calentamiento.	61
Ilustración 16. Etapa de Galvanizado.	62
Ilustración 17. Pieza Galvanizada.	62
Ilustración 18. Etapa de Enfriamiento.	63
Ilustración 19. Desenganche y Pesaje.	64
Ilustración 20. Dross de Zinc García Vega	66
Ilustración 21. Cenizas de Zinc García Vega	66
Ilustración 22. Isotankue García Vega.	78
Ilustración 23. Montaje Cubas Zona Húmeda.	98
Ilustración 24. Montaje Proceso de Galvanizado a Nivel Laboratorio.	98
Ilustración 25. Piezas que No Cumplen con Las Especificaciones.	99
Ilustración 26. Piezas Colgadas en El Montaje a Nivel Laboratorio.	99
Ilustración 27. Piezas Sumergidas en La Cuba de Desengrase Piloto.	102
Ilustración 28. Solución Kleanex Fa Nueva / Agotada.	102
Ilustración 29. Piezas Sumergidas Cuba Decapado a Nivel Laboratorio	104
Ilustración 30. Piezas Sumergidas Cuba de Enjuague a Nivel Laboratorio	105
Ilustración 31. Piezas Sumergidas Cuba de Fluxado a Nivel Laboratorio	106
Ilustración 32. Piezas Luego de Ingresar a la Zona Húmeda	108
Ilustración 33. Piezas Antes de Ingresar a la Zona Húmeda	108
Ilustración 34. Resultados Prueba de Jarras	127
Ilustración 35. Selección de Coagulantes	129

Ilustración 36. Resultados Prueba de Jarras para La Determinación de La Dosis Optima	131
Ilustración 37. Prueba de Jarras Etapa Decapado	134
Ilustración 38. Layout Sistema de Tratamiento	143
Ilustración 39. Sección Cónica del Tanque Clarificador	152
Ilustración 40. Tanque Clarificador	155
Ilustración 41. Sistema de Filtración.	158
Ilustración 42. Propuesta Sistema de Tratamiento	164

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Caracterización Estado Actual Cubas de Decapado, Enjuague y Enfriamiento	181
Anexo B. Caracterización Prueba de Jarras Cubas de Decapado Enjuague (ALKA PI) y Enfriamiento	184
Anexo C. Neutralización Enjuague Hidróxido de Sodio / Kleanex Dec	186
Anexo D. Ficha Técnica y Seguridad Acondicionador de pH Lipesa 313	188
Anexo E. Ficha Técnica y Seguridad Precipitador de Metales P8006L	189
Anexo F. Ficha Técnica Coagulante 1627	191
Anexo G. Ficha Técnica Floculante Lipesa 1538	193
Anexo H. Ficha Técnica Floculante Lipesa 1569A	195
Anexo I. Ficha Técnica Neutralizante ALKA PI Provinas	197
Anexo J. Ficha Técnica Cleaner FA	198
Anexo K. Ficha Técnica Kleanex DEC	200
Anexo L. Ficha Técnica FLUX HM	202
Anexo M. Oferta Comercial Planta de Tratamiento Aguas Residuales SANIAGUAS	204

NOMENCLATURA

<i>A.R.I</i>	Agua residual industrial
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
<i>Cm</i>	Centímetros
<i>cm/min</i>	Centímetros sobre minuto
<i>Kg</i>	Kilogramos
<i>Kg/m³</i>	Kilogramo sobre metro cubico
<i>Ton</i>	Toneladas
<i>G</i>	Gramo
<i>g/l</i>	Gramo sobre litro
<i>g/ml</i>	Gramo sobre mililitro
<i>l</i>	Largo
<i>H</i>	Alto
<i>W</i>	Ancho
<i>L</i>	Litro
<i>L/s</i>	Litro sobre segundo
<i>Cm</i>	Centímetro
<i>Cc</i>	Centímetro cubico
<i>M</i>	Metro
<i>m²</i>	Metro cuadrado
<i>m³</i>	Metro cubico
<i>m³/día</i>	Metro cubico día
<i>min</i>	Minuto
<i>S</i>	Segundo
<i>NTU</i>	Unidades Nefelometría de Turbidez
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>ppm</i>	Partes por millón
<i>Rps</i>	Revoluciones por segundo
<i>W</i>	Watts

GLOSARIO

ATRIBUTOS: Características de calidad que se expresan de forma aceptable o no aceptable.

CALAMINA: La calamina es un metal, fruto de juntar zinc, plomo y estaño, en distintas proporciones, es un material metálico, poco noble, barato y quebradizo dependiendo de las aplicaciones. Con el tiempo, se degrada y hasta a veces se descompone.

CONTAMINACIÓN: Es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía en el agua, de modo directo o indirecto que implique una alteración perjudicial de su calidad¹.

CONTROL DE NIVEL: Dispositivos o estructuras hidráulicas cuya finalidad es la de garantizar el nivel del agua en un rango de variación preestablecido.

CORROSIÓN: Proceso de destrucción o deterioro de los metales y sus aleaciones, provocado por la acción química o electroquímica.

CUBAS DE GALVANIZADO: Estructura rectangular o cuadrada donde se deposita una solución de trabajo con la finalidad de sumergir una pieza a galvanizar.

DESENGRASE: Solución alcalina la cual elimina sustancias corrosivas, grasas y aceites que posea la pieza.

DROSS: El Dross es una masa de impurezas sólidas que flotan sobre un metal fundido o se dispersan en el metal. Se forma en la superficie de metales de bajo punto de fusión como el estaño, plomo, zinc o aluminio o aleaciones por oxidación del metal. Para metales con un punto de fusión más alto, como el acero, las impurezas oxidadas se derriten y flotan, lo que facilita su vertido.

ECOEficiencia: Consiste en un desarrollo más eficiente y sostenible de los procesos productivos, abarca actividades vinculadas a la optimización de los recursos de la mano con una producción más limpia.

ELECTRODEPOSICIÓN: Proceso por el cual un recubrimiento metálico es aplicado sobre la superficie de un material mediante una corriente continua².

¹ CALVO FLOREZ, F. G. Contaminación del agua. 2018. 7-11

² PORTO, Mariana Borges; COSTA, Josiel Martins; DE ALMEIDA NETO, Ambrósio Florêncio. Ni-W alloys and their anticorrosive properties: Ni removal efficiency from galvanic wastewater by electrodeposition. Journal of Water Process Engineering, 2020, vol. 36, p. 1-107.

ELECTROLITO: Solución que contiene los iones del metal que se desea depositar³

ENJUAGUE: Contiene agua para la limpieza de las piezas y evita la contaminación en los tanques.

ESCORIA O CENIZAS DE ZINC: Son los residuos producidos en el baño galvanizado después de la galvanización por inmersión en caliente del acero. Las cenizas de zinc aparecen en forma de fina capa en la superficie del baño galvanizado y se eliminan después de cada ciclo.

FLÓCULOS O FLOCS: Aglomeración o masa coagulada de partículas en un líquido que se generan al adicionar una sustancia química floculante⁴.

FLUXADO: Esta solución es una mezcla de sales acidas, su propósito es acondicionar la pieza para el otro baño.

GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE: Sistema de recubrimiento por inmersión en un baño de zinc fundido, su principal función es proteger las estructuras de acero contra la corrosión.

INHIBIDORES: Sustancia que detiene, evita o controla una reacción química.

ISOTANQUE: Es un contenedor especialmente diseñado para el transporte y almacenamiento de líquidos, fabricado bajo normas ISO (International Standard Organization) haciéndolo apto para diversos modos de transporte. Con este contenedor se eliminan los riesgos que pueden surgir al transferir líquidos de un lugar a otro y se ofrece un medio de transporte extremadamente seguro, rentable y viable.

METALES PESADOS: Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm³ tales como: Plomo, Plata, Mercurio, Cadmio, Cobalto, Cobre, Hierro, Molibdeno, Níquel y Zinc.

pH: Medida de acidez o alcalinidad de una sustancia. El potencial hidrógeno es el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones de hidrógeno⁵.

PLANTA DE TRATAMIENTO: Instalación construida para reducir los contaminantes presentes en el agua residual antes de su descarga⁶.

³ Ibíd., p.1-30

⁴ SOLER URIBE, Emily Andre; PRIETO BERNAL, Winny Jimena. Evaluación de una propuesta de un Sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizantes. P.1-20

⁵ Ibíd., p.20

⁶ Ibíd., p.20

REBABA: Porción de materia que sobresale en los bordes o en la superficie de un objeto cualquiera.

SISTEMA DE TRATAMIENTO: Conjunto de operaciones físico- químicas y /o biológicas, cuyo objetivo es modificar las características del agua residual a tratar.

VERTIMIENTO: Descarga residual a un cuerpo de agua o alcantarillado público.

VIDA ÚTIL: Periodo de tiempo entre la realización de una pieza hasta que se alcance un cierto y nivel de deterioro de la misma.

RESUMEN

Se plantea una propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente en la empresa García Vega S.A.S, para ello, se evalúan cada una de las etapas del proceso determinando que las etapas de decapado, enjuague y enfriamiento son las etapas que generan mayor vertimiento al efluente e incumplen con la resolución 0631 del 2015 del Ministerio de Ambiente en cuanto al contenido de acidez, Zinc, Hierro, Cobre, Níquel y Plomo. A través de la técnica de reducción en origen sustitución de materias primas se realiza el montaje del proceso a nivel laboratorio para observar las características decapantes de los productos Cleaner FA y Kleanex Dec logrando decapar el 57% del material cuando se trabaja a una concentración del 25% V/V y con piezas no aptas para ser galvanizadas. De los resultados obtenidos, se realiza la tratabilidad de las etapas mencionadas en donde se da cumplimiento a los parámetros para las etapas de enjuague y enfriamiento. Para la etapa de decapado, se obtiene que con la sustitución de materias primas se logra el óptimo tratamiento y remoción de metales siendo una excelente opción para el reemplazo del ácido clorhídrico al 16% como solución decapante. Se establece que las operaciones unitarias involucradas en el sistema de tratamiento son filtración inicial en trampa de grasas, precipitación, coagulación, sedimentación y filtración teniendo un costo total involucrando mano de obra e insumos de \$179 492 027 (Ciento setenta y nueve millones cuatrocientos noventa y dos mil veintisiete COP).

Palabras Claves: Galvanizado por inmersión en caliente, Sistema de tratamiento de aguas residuales, Reducción en origen, Galvanotecnia.

ABSTRACT

A proposal is made for a wastewater treatment system from the hot-dip galvanizing process in the García Vega SAS company, for this, each of the stages of the process are evaluated, determining that the pickling, rinsing and cooling stages. These are the stages that generate the greatest discharge to the effluent and fail to comply with resolution 0631 of 2015 of the Ministry of the Environment regarding the content of acidity, Zinc, Iron, Copper, Nickel and Lead. Through the technique of reduction in origin substitution of raw materials, the assembly of the process is carried out at the laboratory level to observe the stripping characteristics of Cleaner FA and Kleanex Dec products, achieving stripping 57% of the material when working at a concentration of 25 % V / V and with parts not suitable for being galvanized. From the results obtained, the treatability of the mentioned stages is carried out, where the parameters for the rinsing and cooling stages are met. For the pickling stage, it is obtained that with the substitution of raw materials the optimal treatment and removal of metals is achieved, being an excellent option for the replacement of 16% hydrochloric acid as a pickling solution. It is established that the unit operations involved in the treatment system are initial grease trap filtration, precipitation, coagulation, sedimentation and filtration, having a total cost involving labor and inputs of \$ 179 492 027 (One hundred and seventy nine million, four hundred and ninety-two thousand and twenty seven COP).

Keywords: Hot-dip galvanized, Wastewater treatment system, Source reduction, Galvanotechnics.

INTRODUCCIÓN

La implementación de políticas de control de la contaminación ambiental a nivel industrial en Colombia ha evolucionado paulatinamente a lo largo de los años, migrando hacia nuevas tendencias y maneras de controlar la contaminación antes del final de tubo. Estas nuevas inclinaciones, surgen de la necesidad de generar un producto más respetuoso con el medio ambiente, involucrando en cada una de las etapas mejores prácticas ambientales que contribuyan a incentivar la prevención de la contaminación en su origen y cuestionar las posibles maneras de tratar y generar la menor cantidad de residuos en su cadena de producción. En este contexto y como una contribución al desarrollo del sector de galvanotecnia se han venido desarrollando diferentes actividades para la planeación y gestión de las aguas residuales provenientes del proceso galvanizado cuya finalidad conlleve a la sostenibilidad ambiental y al mejoramiento de la competitividad empresarial.

La industria de galvanizado por inmersión en caliente al involucrar volúmenes de agua utilizados en el proceso, genera una carga contaminante considerada de carácter corrosivo y de peligro potencial debido a la naturaleza de los compuestos químicos involucrados los cuales son elementos base de la industria, las descargas continuas al efluente pueden presentar características básicas o ácidas ocasionando un deterioro en los sistemas de recolección de aguas servidas y posibles afectaciones a la salud causada por la exposición del mismo. La prevención de la contaminación está ligada a costos de implementación la cual resulta compleja para las empresas de galvanizado por inmersión en caliente, la implementación adecuada de un tratamiento de aguas residuales puede llegar a ser beneficiosa tanto en el ámbito ambiental como en el marco económico propio de la compañía.

Como parte de su estrategia empresarial García Vega S.A.S requiere implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente con una capacidad de producción de 30000kg/mes y volúmenes de agua de 17m³seccionados en las etapas de desengrase, decapado, enjuague, fluxado y enfriamiento, las cuales se caracterizan por tener valores de pH entre 2 y 5.5 y concentraciones de metales para la cuba de decapado de 1.38 mg/L para Cobre (Cu), Hierro (Fe) 110 850 mg/L y Niquel (Ni) 87.36; para la cuba de enjuague Hierro (Fe) 4 425 mg/L y para la etapa de enfriamiento Zinc (Zn) 156.08 mg/L, con el propósito de disminuir los costos de producción, cumplimiento de las políticas medio ambientales vigentes y un efecto positivo en la imagen corporativa de la compañía, generando un diferenciador ante la competencia y posicionándose como una de las plantas más modernas de Latinoamérica⁷.

⁷ GARCÍA VEGA S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. [Sitio Web]. Bucaramanga. [07, enero,2020]. Disponible en: <https://garciavega.co/galvanizado/>.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual proveniente del proceso de galvanizado por inmersión en caliente para la empresa García Vega S.A.S.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

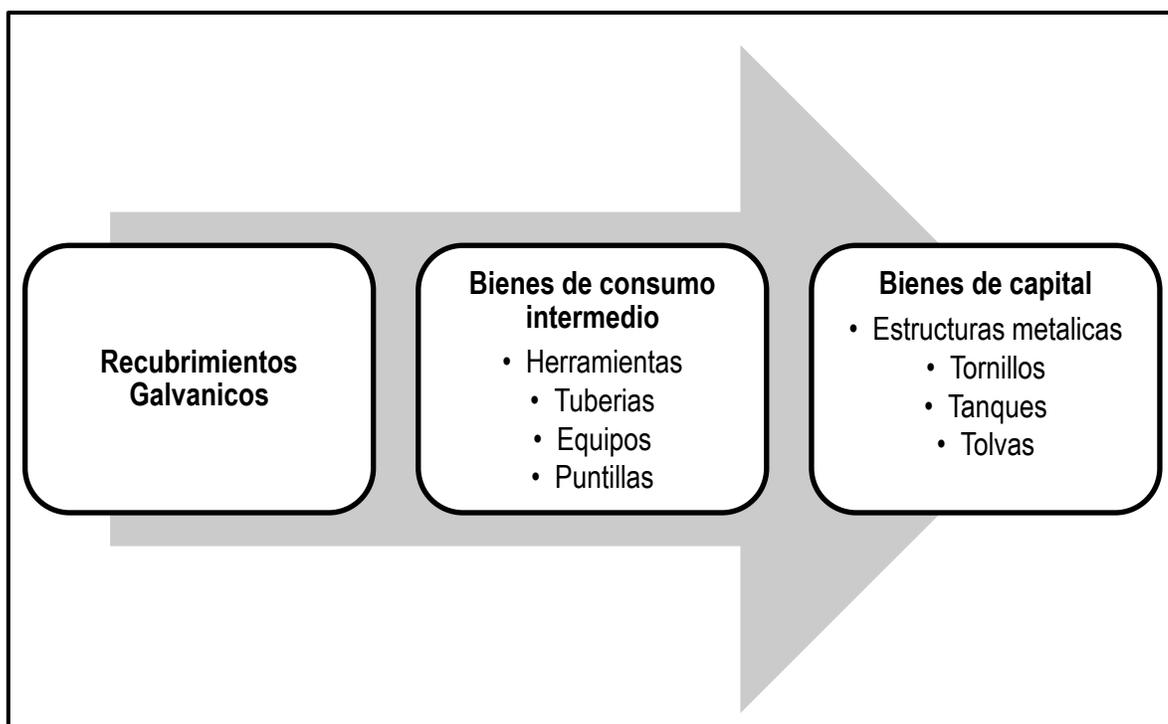
- Diagnosticar el estado actual de la planta en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente.
- Seleccionar el tratamiento para reducir el contenido de Zinc, Hierro, Cobre, Níquel y Plomo en el agua del proceso a nivel laboratorio.
- Establecer las especificaciones técnicas de la alternativa seleccionada.
- Realizar el análisis financiero del proyecto.

1. GENERALIDADES DEL SECTOR DE GALVANOTÉCNIA

1.1 CONTEXTO DEL SECTOR

A nivel industrial el sector galvánico hace parte de la cadena productiva metalmeccánica aportando bienes de consumo intermedio y bienes de capital, entendidos como artículos utilizados inmediatamente por el usuario final o para ser incorporados en la fabricación de otros bienes y en artículos que directa o indirectamente contribuyen a la producción de maquinaria y equipos respectivamente.⁸

Figura 1. Cadena del Sector de Galvanotecnia



Fuente: Elaboración propia basada en: Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnica, MINISTERIO DE AMBIENTE Y FUNDES COLOMBIA. Bogotá D.C. 2014.5P

Esta industria se encuentra relacionada con el desarrollo económico de un país, encontrándose en sectores tales como: Minería, Infraestructura pública e

⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE Y FUNDES COLOMBIA. Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnica. [Sitio Web]. Bogotá D.C. La entidad. [03, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.mvotma.gub.uy/ambiente/produccion-sostenible/guias-tecnicas/item/>.

Interurbana, Puertos, Estadios y Proyectos de construcción en general. En los próximos años América latina realizara proyectos por un valor aproximado de US\$200.000 millones, de los cuales US3600 millones son proyectos que se ejecutaran en Colombia.⁹

1.1.1 Industria del acero en Colombia. En 2017, la industria siderúrgica con la cadena metalmecánica represento el 10.56% del PIB industrial.¹⁰ La renovación urbana en las principales ciudades y proyectos del sector portuario han encontrado en el acero colombiano y la cadena metalmecánica un valioso aliado, permitiendo, no solo la industria y el empleo nacional, sino también garantía de calidad y seguridad.

Cuadro 1. Indicadores de Consumos de Acero y Galvanizado

País	Consumo de Acero (Ton)	Producción Galvanizado General (Ton)	Consumo per Cápita de Galvanizado	% de Acero Galvanizado Sobre el Total de Acero Consumido
Brasil	25 300 000	200 000	1.3	0.8
Chile	2 500 000	160 000	7.7	6.4
Colombia	3 200 000	55 000	1.2	1.7
Perú	2 400 000	40 000	1.1	1.7

Fuente: Elaboración propia basada en: Asociación Latinoamericana del Zinc-LATIZA, CONGRESO LATINGALVA. CHILE 2012

Como parte de su estrategia de crecimiento, las empresas siderúrgicas han realizado inversiones en el territorio colombiano que permitan poner en marcha iniciativas ambientales que disminuyan los impactos generados y se comprometan con el cuidado de los recursos naturales en cada una de las etapas productivas.

1.2 EL MERCADO DE GALVANIZADO EN COLOMBIA

“En Colombia, las pérdidas de corrosión representan entre el 1% y el 5% de nuestro PIB (Producto Interno Bruto) alcanzando una cifra aproximada en el 2012 de US\$ 13 000 Millones al año. Actualmente, el consumo per cápita de

⁹ CONGRESO LATINGALVA. (3: 25-28, mayo, 2012: Chile). LATIZA (Asociación Latinoamericana de Zinc). Disponible en: http://www.latiza.com/archivos_publicar/presentacionesconferencia_2011/galvanizadomayo2012.pdf

¹⁰ ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA. Comité Colombiano de Productores de Acero: [Sitio Web]. Bogotá D.C. [03, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/home/camara/6-comite-colombiano-de-productores-de-acero>

Galvanizado en Colombia es de 1.2 Kg por habitante”.¹¹ Para mitigar el impacto económico causado por la corrosión, surge la necesidad de desarrollar procesos productivos que permitan prolongar la vida útil del material a partir de un proceso de recubrimiento metálico. Si bien es cierto, la industria de galvanizado ha crecido en los últimos once años, se han construido una serie de plantas con gran capacidad de galvanizar, las cuales, contribuyen a impulsar la cultura de galvanizado en toda la región posesionándose en ciudades principales tales como: Bogotá, Cali, Medellín, Bucaramanga y Barranquilla.

Tabla 1. Tamaño de las Cubas Existentes en Colombia

Ciudad	Dimensión Mínima (m)			Dimensión Máxima (m)		
	LARGO	ANCHO	PROFUNDO	LARGO	ANCHO	PROFUNDO
Bogotá	2.5	0.5	0.5	8	1.1	1.7
Cali						
Medellín	3	1.2	0.8	8	1.2	0.8
Barranquilla	1.2	0.6	1	9	1.5	2.5
Bucaramanga	6.3	1	1	6.5	0.6	1

Fuente: Elaboración propia con base en: Comité Nacional de Galvanizadores, FEDEMETAL. Bogotá D.C 2012

El proceso productivo en estas plantas utiliza tecnologías propias o importadas de América del norte y Europa con la finalidad ser más competitiva a nivel nacional e internacional y satisfacer las demandas.

Tabla 2. Estimación de la Producción de Galvanizado en Colombia (Ton. Mes. Estimadas por Ciudad)

Año	Bogotá	Cali	Medellín	Barranquilla	Bucaramanga	Ton. Estimada Mes	Ton. Estimada año
2010	3092	9	570	314	141	4 170	50 040
2011	2608	11	665	366	165	4 866	58 397
2012	4211	12	776	428	192	5 679	68 149
2013	4.570	18	1 000	713	190	6 579	78 948

Fuente: Elaboración propia con base en: Comité Nacional de Galvanizadores. Fedemetal. Bogotá D.C 2012

¹¹ ALVARADO RENGIFO, Gina; CUERVO, Andrés Julián. Plan de Mercadeo para la Línea de Galvanizado en Caliente de la Compañía Polyuprotec S.A en la Ciudad de Bogotá. [en línea]. Monografía. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá D.C: 2014. [Consultado 05, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.polux.unipiloto.edu.co>

Según el comité de galvanizadores de Colombia, para el año 2019 se prevé que la cifra ascenderá a aproximadamente 140 000 (Ciento cuarenta mil) toneladas/año galvanizada. Este crecimiento estará ligado de la economía del país como un todo y sectores consumidores de galvanizado, inversiones de infraestructura por parte del gobierno y sectores Mineros y Petroleros.

1.3 CORROSIÓN EN COLOMBIA

La corrosión la podemos definir como la destrucción o deterioro químico de un material por la reacción con el medio que lo rodea. “En el caso colombiano, la preocupación por el fenómeno es mucho más reciente y se le han dedicado esfuerzos relativamente menores. Se conoce poco sobre los problemas de corrosión y mucho menos sobre la forma de prevenirlos y controlarlos, aunque se sospecha que son de una magnitud considerable y que su efecto económico”.¹² Un factor importante para determinar los efectos de la corrosión en las diferentes regiones es la clasificación climatológica del país, se tuvieron en cuenta las siguientes regiones basándonos en su clima y en su productividad: Barranquilla, Bogotá, Medellín, Pasto y Yumbo.

Cuadro 2. Categoría de Corrosividad según su Ambiente

Categoría de Corrosividad	Ambiente Típico	Perdida de Recubrimiento ($\mu\text{m Zn/año}$)
C1. Muy baja	Interior: Seco	< 0.1
C2. Baja	Interior: Condensación Ocasional	0.1 – 0.7
C3. Media	Interior: Humedad Elevada y alguna Contaminación en el aire Exterior: Urbano No Marítimo de Baja Salinidad.	0.7 - 2
C4. Alta	Interior: Piscinas, Plantas Químicas. Exterior: Industrial No Marítimo y Urbano Marítimo	2 - 4
C5. Muy Alta	Interior: Zonas de Alta Frecuencia de Condensación y Contaminación Industrial. Exterior: Industrial Muy Húmedo o con Elevado Grado de Salinidad (Zona Costera)	4 - 8
CX. Extrema	Exterior: Áreas Industriales Externas y Zonas Costeras	>8

Fuente: García Vega S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. Bucaramanga 2019. Disponible en: <https://garciavega.co/galvanizado/>

¹² TAFUR CUERVO, Joaquín; LASTRA DELGADO, Juan; HERRERA BUILES, Francisco; ARROYAVE POSADA, Carlos Enrique. Indicadores de los costos de la corrosión en Colombia. [En línea]. Medellín 1998. [Consultado 08, Febrero, 2020]. Disponible en <http://hdl.handle.net/10495/5327>.

Cuadro 3. Corrosión en Colombia, Perdida de Recubrimiento y Categoría Según su Región

Corrosión en Colombia		
Lugar	Perdida de Recubrimiento (μm Zn/año)	Categoría de Corrosividad
Pasto	0.57	c2. Baja
Yumbo	0.63	c2. Baja
Medellín	1.31	c3. Media
Bogotá	1.48	c3. Media
Barranquilla	5.54	c5. Muy alta

Fuente: García Vega S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. Bucaramanga 2019. Disponible en: <https://garciavega.co/galvanizado/>

Según Joaquín Cuervo Tafur¹³, la región que más invierte en labores de mantenimiento o labores de reparación en relación con sus ingresos, es la de Bucaramanga, aunque tiene un 7.39% de sus activos expuestos a la corrosión y, además, es la región con mayor índice de nivel de control. los mayores índices de activos expuestos (Puentes, Iluminación, Canecas, Portales de Transporte), se encuentran en Cali con un 5.12%, Barranquilla y Cartagena con un 42.85%, Tunja y Bogotá con un 31.08%. Por lo tanto, se puede inferir que los factores climáticos o industriales que más afectan son: Cali, Costa Atlántica y el Centro del país. De los cuadros anteriores, es importante resaltar que, en ciudades como Bogotá Medellín e incluso Bucaramanga, las pérdidas de recubrimiento son de categoría media por lo que el galvanizado por inmersión en caliente es una excelente opción.

1.3.1. Costos y Gastos de la Corrosión. Son todos sacrificios reales cuantificados en un periodo determinado, que la organización realiza con el propósito de entender los daños producidos por la corrosión. La empresa tomara determinaciones para darle solución a dicha problemática.

Algunos de ellos son:

- Reemplazo de equipos y estructuras
- Perdidas y sobrecostos de producción e insumos
- Apoyo técnico
- Disminución del proceso productivo

1.3.1.1 El Costo de No Galvanizar. Mientras se está escribiendo este párrafo, 760kg de hierro han empezado y terminado de corroerse. Las ilustraciones dos y tres muestran el deterioro de una defensa vial que no fue debidamente galvanizada, su consecuencia, aumento en la velocidad de oxidación del material y posibles fallas de operación.

¹³ Ibíd., p.110

Ilustración 2. Defensas Viales Av Boyaca Cll 66



Ilustración 1. El costo de No Galvanizar



Fuente: Asociación Nacional de Industrias de Colombia. Cámara de Fedemetal Bogotá 2016. Disponible en: [http://proyectos.andi.com.co/cf/Documents/Documentos%20de%20Interes/EL%20COSTO%20DE%20NO%20GALVANIZAR%20\(BUCARAMANGA\)%20.pdf](http://proyectos.andi.com.co/cf/Documents/Documentos%20de%20Interes/EL%20COSTO%20DE%20NO%20GALVANIZAR%20(BUCARAMANGA)%20.pdf)

Los factores que aumentan la velocidad de corrosión son: Humedad relativa (alta humedad), contaminantes (CO_2 , SO_2), temperatura y viento. No recubrir el material adecuadamente hace que el material deba someterse periódicamente a mantenimiento, corta vida útil y posibles fallas de este; por lo tanto, el galvanizado por inmersión en caliente es una de las opciones más utilizadas para controlar la corrosión en los materiales.

1.4 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE

“Es un procedimiento donde se protege contra la corrosión una variedad de productos de hierro y acero. Esto se logra con la inmersión de los productos en un baño de Zinc a una temperatura de $450^{\circ}C$, a esta temperatura, se logra que se produzca la aleación del Zinc con el acero”.¹⁴

1.4.1 Beneficios del galvanizado. Existen varias razones por la cuales el galvanizado por inmersión en caliente es el proceso más rentable y beneficioso para el recubrimiento del acero; destacamos los siguientes aspectos:

- 1. Competitividad en Costos:** El galvanizado por inmersión en caliente, al ser un proceso industrial mecanizado, posee un costo inicial más bajo que otros recubrimientos para la protección de la corrosión. El bajo costo inicial y su durabilidad hacen que el galvanizado sea el proceso más rentable y económico para proteger el acero y el hierro fundido

¹⁴ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. [Sitio Web]. Bogotá: IDU, Guía Práctica de Galvanizado por Inmersión en Caliente. [04-01-2020]. Disponible en: [https://www.idu.gov.co/web/content/7423/guia.galvanizado_24nov14+\(1\).pdf](https://www.idu.gov.co/web/content/7423/guia.galvanizado_24nov14+(1).pdf)

- 2. Durabilidad:** la durabilidad de los productos es directamente proporcional al zinc e inversamente proporcional a la agresividad del medio ambiente. Esta suele llegar a la agresividad del medio ambiente. “suele llegar a 10 años en atmosferas industriales, 20 años en la costa marítima y, frecuentemente, más de 25 años en áreas rurales”.¹⁵

Tabla 3. Comparación Otros Recubrimientos Frente al Galvanizado

Acción	Pintura 1	Pintura 2	Galvanizado en caliente
Preparación	Manual	Chorro arena	Ninguna
Imprimación	Una	Ninguna	Ninguna
Capas de pintura	Dos	Tres	Zinc μm
Duración	8 años	11 años	25 años
Mantenimiento	Cada 8 años	Cada 11 años	Ninguna
Coste inicial + gastos de mantenimiento (VLA)	198	169	100

Fuente: Asociación Técnica de Galvanización. Notas Informativas Galvanización en Caliente. España 2019

- 3. Compatibilidad con otros Recubrimientos:** El acero previamente galvanizado, perfectamente se le puede aplicar una capa de pintura cuya combinación es conocida como sistema dúplex. La pintura sobre el acero galvanizado, además de brindarle color al material (ya sea por estética, seguridad o señalización), aumenta aproximadamente el doble de la vida útil.
- 4. Confiabilidad:** El proceso de galvanizado es sencillo, directo y controlado. El espesor del recubrimiento es uniforme y de fácil especificación.
- 5. Rapidez del Proceso:** Mediante el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, es posible revestir la pieza en pocos minutos. Otros procesos demandan horas o hasta días. Culminado el proceso de galvanizado la pieza podrá ser utilizada, sin la necesidad de preparación de la superficie, retoques o pintura.
- 6. Resistencia Mecánica al Recubrimiento:** El proceso de inmersión en zinc fundido, produce un recubrimiento metalúrgico al acero por formación de capas de aleaciones Fe-Zn y Zn, ningún proceso de recubrimiento presea esta característica que le confiere el galvanizado: una gran resistencia a averías mecánicas durante el manejo, almacenaje, transporte e instalación.
- 7. Recubrimiento Completo:** la inmersión de la pieza en el zinc recubre toda la superficie, ya sean internas, externas, esquinas y ranuras; donde la protección para otros recubrimientos sería imposible.
- 8. Doble Protección:** El proceso de galvanizado a diferencia de otros procesos le confiere protección al acero de dos formas: protección por barrera y protección catódica.

¹⁵ GARCÍA VEGA S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. [Sitio Web]. Bucaramanga. [07, enero,2020]. Disponible en: <https://garciavega.co/galvanizado/>.

Cuadro 4. Protección por Barrera y Catódica al Acero

Protección por barrera	Protección Catódica
El recubrimiento de zinc, aísla todas las superficies internas y externas del contacto con los agentes oxidantes presentes en el medio ambiente	Por ser más electronegativo que el acero, sufre corrosión preferencial al acero y se sacrifica para protegerlo. En caso de que el recubrimiento se dañe provocando fisuras en la capa de zinc, los productos de corrosión del zinc, por ser adherentes e insolubles se depositan sobre la superficie expuesta del acero aislándolo nuevamente del medio ambiente

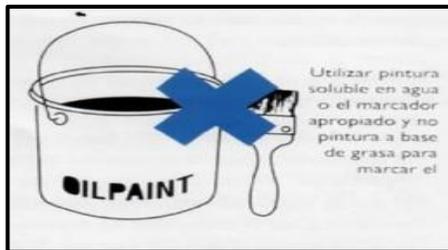
Fuente: Elaboración propia basada en. García Vega S.A.S. Galvanizado. Bucaramanga 2019.

9. Facilidad de inspección: fácil inspección del producto galvanizado. Por la naturaleza del proceso, se puede identificar fácilmente la correcta deposición del zinc en el acero, además, su espesor se puede verificar fácilmente en cualquier momento, por medio de equipos magnéticos o ensayos no destructivos.

1.4.2 Diseño de Galvanización. Para lograr una correcta deposición del zinc sobre la superficie del material, es necesario que este cumpla con ciertas especificaciones antes de pasar por cada uno de las etapas; para ello, García Vega antes de galvanizar se cerciora que el material cuente con las siguientes características: libre de pinturas y etiquetas, perforaciones al material si este no los tiene y revisar que las piezas no tengan ninguna deformación.

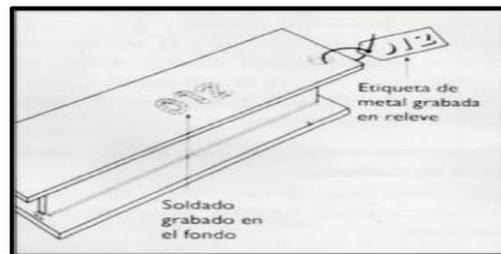
1.4.2.1 Material Libre de Pintura y Etiquetas. Se debe evitar a toda costa el uso de adhesivos o pinturas para la identificación de material antes de ser galvanizado. En caso de no ser posible, se debe remover toda pintura o recubrimiento sintético, ya que este no permite la adhesión del zinc. Para eliminarlo puede usar removedor y/o “Sand Blasting”.

Ilustración 4. Material Libre de Pintura



Fuente: García Vega S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. Bucaramanga 2019. Disponible en: <https://garciavega.co/galvanizado/>

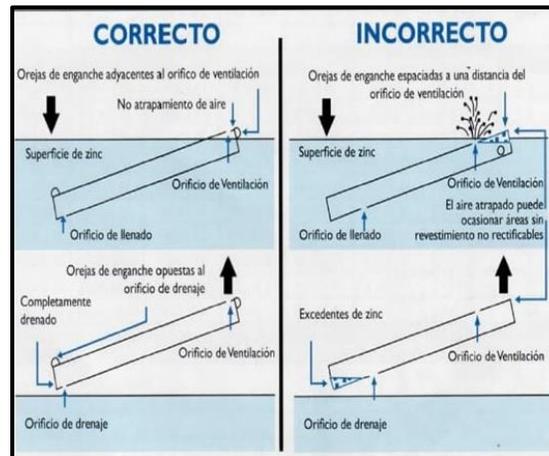
Ilustración 3. Material con Etiqueta de Metal Grabada en Relieve



Fuente: García Vega S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. Bucaramanga 2019. Disponible en: <https://garciavega.co/galvanizado/>

1.4.2.2 Perforaciones. Permite el escape de gases calientes (El Zinc se encuentra aproximadamente a 445 °C) y Facilita el escurrido de Zinc fundido al salir de la inmersión.

Ilustración 5. Perforaciones del Material a Galvanizar.



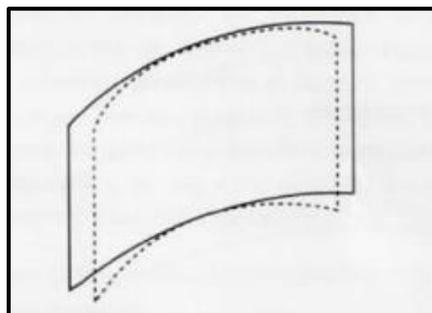
Fuente: García Vega S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. Bucaramanga 2019.

Disponible en:

<https://garciavega.co/galvanizado/>

1.4.2.3 Deformaciones. Algunos materiales pueden tener deformaciones, debido al diseño, al tipo de material y calibre. Para evitar esto se recomienda: Utilización de diseños simétricos, empleo de espesores de material uniformes utilización de técnicas de soldadura adecuadas para evitar la introducción de tensiones.

Ilustración 6. Material Deformado



Fuente: García Vega S.A.S.

Galvanizado por Inmersión en Caliente. Bucaramanga 2019. Disponible en:

<https://garciavega.co/galvanizado/>

1.4.3 El zinc fundamento de la galvanización. “Cada año la industria mundial de zinc produce unos 7 millones de toneladas de este metal. La mitad de esta cantidad se destina a la protección del acero frente a la corrosión”.¹⁶ La vida moderna tendría dificultades sin el uso del zinc, el cual es clave para el proceso de galvanizado. Proporciona un método rentable y eficiente de protección del acero frente a la corrosión.

El zinc tiene otros usos en que se pueden observar en la vida cotidiana, entre los cuales tenemos:

- Automóviles y electrodomésticos
- En el latón y demás aleaciones
- Edificaciones y construcción
- Productos farmacéuticos, cosméticos y productos alimenticios caninos

De esta manera, el zinc contribuye al ahorro de recursos al extender la vida útil y la durabilidad del acero, por otra parte, prolonga las inversiones de capital como es el caso de las infraestructuras públicas. Lo anterior, incide de manera positiva sobre el bolsillo del contribuyente.

1.4.3.1 Características del zinc. Este metal posee una alta resistencia a la corrosión en ambientes naturales, por ende, es utilizado en diferentes aplicaciones. “La corrosión atmosférica del zinc viene determinada principalmente por el tiempo de humectación y por la presencia de impurezas del aire tales como dióxido de carbono, óxidos de azufre y cloruros”.¹⁷ Los diferentes mecanismos de reacción entre el zinc y la atmosfera con sus distintos componentes puede evidenciarse a través del diagrama potencial pH (ver ilustración 7).

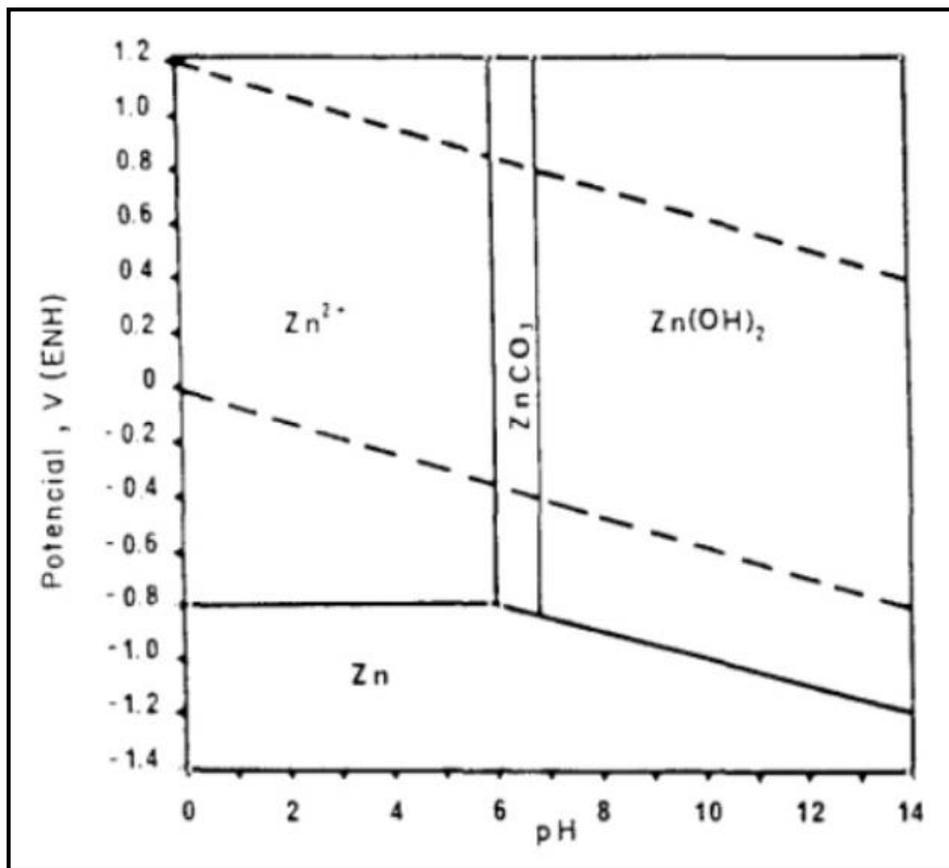
Frente al diagrama de potencial, Kevin Armas; Martin Blanco¹⁸ mencionan que es válido para un contenido total de 10^{-5} moles por litro de H_2CO_3 en la capa de humedad; esto es, una solución de equilibrio con el contenido de CO_2 (alrededor de 0.03%) existente en atmósfera libre. Como puede observarse en el diagrama, existe una región de estabilidad para el $ZnCO_3$ en el intervalo de pH 6-7.

¹⁶ ASOCIACIÓN TÉCNICA ESPAÑOLA DE GALVANIZACIÓN. [Sitio web]. España: ATEG, Galvanización en Caliente Notas Informativas. [04-01-2020]. Disponible en: <https://www.ateg.es/la-galvanización/notas-informativas>

¹⁷ ARMAS ARRAIZ, Kevin Eduardo; BLANCO ABREU, Martin José. Corrosión en el ZINC. [en línea]. Monografía. Universidad José Antonio Páez, República Bolivariana de Venezuela: 2016. [Consultado 10, enero, 2020]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/juanperez653/corrosion-en-el-zinc>

¹⁸ Ibíd., p.5

Ilustración 7. Potencia ZN-CO₂-H₂O.



ARMAS ARRAIZ, Kevin Eduardo; BLANCO ABREU, Martin José. Corrosión en el Zinc. República Bolivariana de Venezuela. 2016. P. 5

El tiempo requerido para la formación de una película de productos de corrosión disminuye a medida que aumenta la humedad relativa. Este tiempo varía desde 98 días en atmosferas relativamente secas, a 14 días en air con 35% de humedad relativa y 1 a 6 días en aire con 75% de humedad relativa. En las zonas próximas a la orilla del mar las velocidades de corrosión pueden aumentar debido a la pulverización del agua conteniendo cloruros solubles; de cualquier manera, las velocidades de corrosión son inferiores a aquellas obtenidas en atmósferas industriales altamente contaminantes.¹⁹

¹⁹ Ibíd., p.

Tabla 4. Velocidad de Corrosión Atmosférica del Zinc

Atmosfera	Corrosión (µm/año)
Industrial	6.4
Costera	1.5
Rural	1.1
Acida	0.18

Fuente: ARMAS ARRAIZ, Kevin Eduardo; BLANCO ABREU, Martin José. Corrosión en el Zinc. República Bolivariana de Venezuela. 2016. P. 5

La tabla anterior demuestra la influencia en la velocidad de corrosión del zinc, resultando seis veces mayor en zonas rurales que en zonas áridas. También, confirma el desgaste que el material experimenta en zonas industriales, lo que corrobora que el factor controlante de la corrosión atmosférica del zinc es el grado de contaminación atmosférica de dióxido de azufre.

1.4.3.2 Propiedades del zinc. El zinc es un metal de color blanco azulado y gris plateado. Es duro y frágil a la mayoría de las temperaturas, pero puede ser maleable por calentamiento por encima de 100°C. Tiene bajos puntos de fusión (420°C) y de ebullición (970°C). Sin alear su resistencia y dureza es mucho mayor que las del estaño y la del plomo e inferiores a las del aluminio y el cobre.

1.4.3.2.1 Físicas. La siguiente tabla muestra las propiedades del zinc.

Tabla 5. Propiedades Físicas del Zinc

Propiedad	Unidad	Valor
Numero atómico		30
Peso atómico		65.37
Valencia		2
Estructura cristalina		Hexagonal completa
Punto de fusión	°C	419.5
Punto de ebullición (1 atm)	°C	907
Densidad (419,5°C, solido)	$g \cdot cm^{-3}$	6.83
Densidad (419,5°C, líquido)	$g \cdot cm^{-3}$	6.62
Conductividad térmica (419,5°C, solido)	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	96
Conductividad térmica (419,5°C, líquido)	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	61
Capacidad calorífica (solido)	$J \cdot mol^{-1}$	$C_p - 22,4 + 10,05 \cdot 10^3 T$
Capacidad calorífica (liquida)	$J \cdot mol^{-1}$	$C_p - 31.40$

Fuente: Elaboración propia basada en: ARMAS ARRAIZ, Kevin Eduardo; BLANCO ABREU, Martin José. Corrosión en el Zinc. República Bolivariana de Venezuela. 2016. P. 6

1.4.3.2.2 Químicas. “El zinc puede perder fácilmente sus dos electrones de valencia para dar lugar a compuestos del tipo del $ZnCO_3$. También forma compuestos iónico- covalente como el $ZnCl_2$ ”.²⁰ Dentro de sus características esta: facilidad de disolución en ácidos, en soluciones acuosas de bases fuertes o en sus sales fundidas.

El zinc a pesar de su baja nobleza tiene muy buena resistencia a la corrosión atmosférica utilizándose en la protección del acero (galvanizado). Las posiciones relativas del hierro y el zinc en la tabla electroquímica de potenciales colocan a éste como un material menos noble que el primero; esto hace que, en medio acuoso salino, cuando se establece una pila, el zinc actué de ánodo de sacrificio protegiendo al acero, a quien recubre en el galvanizado, en aquellos puntos en los que se produzca una capa protectora.²¹

Por lo tanto, su carácter electronegativo hace que el zinc se utilice como ánodo de sacrificio en estructuras de acero o en aleaciones, creando zonas anódicas y catódicas de dimensiones variables susceptibles de originar celdas galvánicas

Ilustración 8. Potencial Estándar de Reducción a 25°C.

Tabla 19.1 Potenciales estándares de reducción a 25°C

Semirreacción	E°(V)
$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(ac)$	+2.87
$O_3(g) + 2H^+(ac) + 2e^- \rightarrow O_2(g) + H_2O$	+2.07
$Co^{3+}(ac) + e^- \rightarrow Co^{2+}(ac)$	+1.82
$H_2O_2(ac) + 2H^+(ac) + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.77
$PbO_2(s) + 4H^+(ac) + SO_4^{2-}(ac) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O$	+1.70
$Ce^{4+}(ac) + e^- \rightarrow Ce^{3+}(ac)$	+1.61
$MnO_4^-(ac) + 8H^+(ac) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(ac) + 4H_2O$	+1.51
$Au^{3+}(ac) + 3e^- \rightarrow Au(s)$	+1.50
$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(ac)$	+1.36
$Cr_2O_7^{2-}(ac) + 14H^+(ac) + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}(ac) + 7H_2O$	+1.33
$MnO_2(s) + 4H^+(ac) + 2e^- \rightarrow Mn^{2+}(ac) + 2H_2O$	+1.23
$O_2(g) + 4H^+(ac) + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.23
$Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(ac)$	+1.07
$NO_3^-(ac) + 4H^+(ac) + 3e^- \rightarrow NO(g) + 2H_2O$	+0.96
$2Hg_2^{2+}(ac) + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}(ac)$	+0.92
$Hg_2^{2+}(ac) + 2e^- \rightarrow 2Hg(l)$	+0.85
$Ag^+(ac) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+0.80
$Fe^{3+}(ac) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(ac)$	+0.77
$O_2(g) + 2H^+(ac) + 2e^- \rightarrow H_2O_2(ac)$	+0.68
$MnO_4^-(ac) + 2H_2O + 3e^- \rightarrow MnO_2(s) + 4OH^-(ac)$	+0.59
$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(ac)$	+0.53
$O_2(g) + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-(ac)$	+0.40
$Cu^{2+}(ac) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+0.34
$AgCl(s) + e^- \rightarrow Ag(s) + Cl^-(ac)$	+0.22
$SO_4^{2-}(ac) + 4H^+(ac) + 2e^- \rightarrow SO_2(g) + 2H_2O$	+0.20
$Cu^{2+}(ac) + e^- \rightarrow Cu^+(ac)$	+0.15
$Sn^{4+}(ac) + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}(ac)$	+0.13
$2H^+(ac) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0.00
$Pb^{2+}(ac) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$	-0.13
$Sn^{2+}(ac) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	-0.14
$Ni^{2+}(ac) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$	-0.25
$Co^{2+}(ac) + 2e^- \rightarrow Co(s)$	-0.28

Fuerza oxidante creciente ↓ ↑ Fuerza reductora creciente

²⁰ Ibíd., p. 8

²¹ Ibíd., p.8

Ilustración 8 (Continuación)

$\text{Co}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Co}(\text{s})$	-0.28
$\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Pb}(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{ac})$	-0.31
$\text{Cd}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Cd}(\text{s})$	-0.40
$\text{Fe}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0.44
$\text{Cr}^{3+}(\text{ac}) + 3\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Cr}(\text{s})$	-0.74
$\text{Zn}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0.76
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^{-}(\text{ac})$	-0.83
$\text{Mn}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Mn}(\text{s})$	-1.18
$\text{Al}^{3+}(\text{ac}) + 3\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Al}(\text{s})$	-1.66
$\text{Be}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Be}(\text{s})$	-1.85
$\text{Mg}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-2.37
$\text{Na}^{+}(\text{ac}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2.71
$\text{Ca}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Ca}(\text{s})$	-2.87
$\text{Sr}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Sr}(\text{s})$	-2.89
$\text{Ba}^{2+}(\text{ac}) + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Ba}(\text{s})$	-2.90
$\text{K}^{+}(\text{ac}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{K}(\text{s})$	-2.93
$\text{Li}^{+}(\text{ac}) + \text{e}^{-} \longrightarrow \text{Li}(\text{s})$	-3.05

Fuente: Raymond Chang. Principios esenciales de química general, Raymond Chang. Mc- Graw Hill. Madrid 2006.

1.5 GALVANIZADO Y MEDIO AMBIENTE

Los procesos de galvanizado se realizan en talleres o plantas de producción cuyas condiciones no son perfectamente controladas en su totalidad. La informalidad en el sector provoca un impacto negativo al medio ambiente ya que no existe un plan de gestión ambiental, un debido control de las emisiones en las instalaciones de galvanizado y una correcta disposición de los residuos sólidos y líquidos generados. “dependiendo del tamaño de la planta, el volumen de efluentes para estos talleres oscila entre 0.05 m³/hora y 0.2 m³/hora. Algunas de estas plantas procesan sus líquidos residuales neutralizando con cal y filtrándolo, lo cual genera residuos sólidos que deben ser dispuestos de la mejor manera”.²² Frente a la cantidad de volumen generado por la industria de galvanizado Olga Bautista²³ afirma que el volumen estimado es igual o mayor a 3000 m³/mes.

²² MINISTERIO DE AMBIENTE Y FUNDES COLOMBIA. Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnica. [Sitio Web]. Bogotá D.C. La entidad. [15, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.mvotma.gub.uy/ambiente/produccion-sostenible/guias-tecnicas/item/>.

²³ *Ibíd.*, p.16

1.5.1 Mejoras en el sector de galvanizado. “La fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea posible, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas”.²⁴ Para ello, se implementan una serie de pasos o aspectos a tener en cuenta de acuerdo a las actividades que se realicen el proceso de galvanizado entre las cuales estas: sustentabilidad y mejora tecnológica, mantenimiento preventivo y uso eficiente del agua.

1.5.1.1 Sustentabilidad y mejora tecnológica. El sector de galvanizado apuesta a la sustentabilidad para alcanzar un desarrollo competitivo y posesionarse en el mercado, además, servir como instrumento de gestión para alcanzar la eficiencia productiva y desarrollar un conjunto de indicadores para el sector que considere los siguientes aspectos:

- Técnicas que produzcan pocos residuos.
- Uso de sustancias menos peligrosas.
- Desarrollo de las técnicas de recuperación de sustancias generadas y utilizadas cuando proceda.
- Consumo y naturaleza de las materias primas (incluida el agua) utilizadas en el proceso.
- Prevención y disminución del impacto de las emisiones y de los riesgos en el medio ambiente.
- Procesos, instalaciones o método de funcionamiento de la producción.
- Avances técnicos y evolución de los conocimientos científicos.

1.5.1.2 Mantenimiento preventivo. La técnica se basa en buenas prácticas orientadas al desarrollo de acciones de mantención preventiva en contraposición a la mantención correctiva (reparaciones), lo cual permite reducir fallas y tiempos muertos, aumentando la eficiencia del proceso, además de disminuir la generación de productos no conformes, reducir contaminación ambiental por eventuales derrames y además mejorar las condiciones de salud y seguridad laboral, entre otros.²⁵ El mantenimiento consiste en la inspección y limpieza periódica de los equipos e instalaciones como: comprobación y sustitución de piezas desgastadas o en mal estado.

²⁴ ESPAÑA, COMUNIDAD EUROPEA. Ley 16. (1, Julio, 2002). Prevención y Control Integrados de la Contaminación. En: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. España 2002. 833p.

²⁵ Asociación de Industriales Metalúrgicas y Metalmecánicas. IDENTIFICACIÓN DE LAS MEJORAS TÉCNICAS DISPONIBLES (MTD) SECTOR GALVANIZADO. En: ASIMET. [sitio web]. Chile: la entidad. [25-01-2020], archivo pdf. Disponible en: http://www2.asimet.cl/pdf/APL_galvanizadores/información

1.5.1.3 Uso eficiente del agua. Sin importar el sistema de enjuague que disponga la empresa, es posible mejorar la eficiencia de lavado y así, reducir el consumo de agua. Las acciones que se proponen son:

- Controlar el tiempo de contacto entre la superficie a lavar y el agua en la cuba.
- Disponer la entrada y salida de los conductos del agua en los estanques de manera tal que la renovación de la misma sea máxima
- Disponer de suficiente agua durante el tiempo de contacto entre la superficie y el sistema de enjuague; además del tiempo, es importante un volumen de agua adecuado para un enjuague eficaz.

1.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

“Para conocer las características de las aguas residuales es necesario realizar un conjunto de análisis, esto permite determinar los parámetros que formen su tratamiento más conveniente. La necesidad de un conocimiento completo de estas características obliga a realizar a las aguas residuales una variada gama de análisis, los cuales se clasifican en tres grupos principales.”²⁶

1.6.1 Análisis Físico. Aquellos que dependen de las propiedades físicas del contaminante como lo son, viscosidad, tamaño de partícula y peso específico. Se emplean durante todo el proceso de las aguas residuales principalmente en tratamientos primarios.

1.6.2 Análisis Químico. Aquellos que van ligados a las propiedades químicas de los contaminantes o de las características químicas de los reactivos incorporados.

1.6.3 Análisis Biológico. Utilizan reacciones bioquímicas para la eliminación de la contaminación soluble o coloidal. Pueden ser anaeróbicos o aeróbicos como: lodos activados, lagunas aireadas, biodiscos, reactores secuenciales discontinuos.

1.7 METODOS DE TRATAMIENTO

“Para lograr reducir los contaminantes del agua residual se lleva a cabo el tratamiento de aguas residuales a través de operaciones y procesos unitarios. Las operaciones unitarias, son aquellas donde predominan los fenómenos físicos, mientras que los procesos unitarios, lo conforman los métodos químicos y

²⁶ BAEZ, Jorge. Tratamiento Básico de Aguas residuales. Área Metropolitana de Barranquilla: Edición Uninorte, 1995. 45 p. ISBN 9789589105399

procesos biológicos de tratamiento.”²⁷ Esto a su vez se agrupa para conformar los tipos de tratamiento, primario, secundario y terciario.

1.7.1 Tratamiento Primario. Permite la separación de gran parte de los sólidos suspendidos mediante procesos físicos, ajustes de pH, temperatura y elementos que puedan afectar las etapas posteriores. Las operaciones que se utilizan en esta etapa se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 5. Operaciones Tratamiento Primario

Operación	Características
Neutralización	Operación que permite ajustar el pH de un cuerpo de agua ácido o básico en cercanías de la neutralidad
Coagulación y Floculación	Desestabilización de los coloides por acción de reactivos químicos, obligándolas a aglomerarse, aumentar de tamaño generando flocs.
Sedimentación	Consiste en la separación por acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.
Filtración	Operación que permite separar un sólido suspendido del líquido a través de un manto poroso por el cual el líquido puede penetrar fácilmente, dicho manto está conformado por partículas no consolidadas o compactas.
Flotación	Operación unitaria empleada para separar partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se logra adicionando finas burbujas de gas, normalmente aire

Fuente: Elaboración propia

1.7.2 Tratamiento secundario. Su objetivo reducir los niveles de contaminación química y biológica del agua (DBO, DBQ) a través de procesos químicos y/o biológicos. “se realiza cuando las aguas negras contienen sólidos orgánicos suspendidos y en solución, fácilmente degradados por los organismos acuáticos, lo que implica un proceso biológico aerobio o anaerobio dependiendo de factores como la cantidad del agua, el nivel de oxígeno disuelto, el grado de biodegradabilidad de los sólidos y la disponibilidad del terreno.”²⁸

1.7.3 Tratamiento Terciario. Utiliza métodos y tecnologías avanzadas que permiten remover contaminantes muy particulares que no pudieron ser eliminados

²⁷ AXISIMA. Tratamientos primario, secundario y terciario en la depuración de agua residual. [Sitio Web]. Bogotá D.C. Ingeniería y medio ambiente. [consultado 27-Enero, 2020]. Disponible en <http://axisima.com/tratamientos-primario-secundario-y-terciario-en-la-depuracion-de-agua-residual/>.

²⁸ ALVAREZ SOLANO, Mónica. Diseño de un sistema para el tratamiento de aguas residuales industriales provenientes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente. [en físico]. Monografía. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C: 2000. [Consultado 07, febrero, 2020].

en los procesos anteriores. Este tratamiento busca reducir los niveles patógenos para desinfectar el fluente, remoción de sólidos en suspensión, compuestos tóxicos y la eliminación de sustancias inorgánicas disueltas. Las operaciones que se utilizan en esta etapa se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 6. Operaciones Tratamiento Terciario

Operación	Características
Oxidación química	Empleo de agentes oxidantes generando un cambio estructural en el cuerpo de agua permitiendo precipitar cationes metálicos reduciendo su toxicidad.
Precipitación química	Empleo de productos químicos con el propósito de transformar un contaminante en sólido insoluble facilitando su eliminación, dicha operación implica un ajuste de pH para modificar el equilibrio químico.
Osmosis inversa	Método avanzado utilizado para separar las impurezas del agua usando una membrana semipermeable produciendo un cambio en el agua de una solución de mayor concentración de soluto a otra de menor concentración.
Intercambio iónico	Proceso de intercambio iónico en donde el agua residual pasa por un recipiente con partículas aniónicas o catiónicas de resina. A medida que la solución pasa por el lecho de resina, se realiza un intercambio de los iones del mismo por los iones que se desean intercambiar presentes en el cuerpo de agua contaminada.
Ultrafiltración	Proceso de remoción de partículas coloidales y dispersas de un líquido, el cual consiste en hacer pasar el mismo, a través de una membrana aplicando alta presión.

Fuente: Elaboración propia

Los tratamientos mencionados tienen como propósito: “reducir la carga contaminante (materia orgánica, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales entre otros contaminantes) presente en las aguas residuales industriales o

domésticas, obteniendo así aguas con los estándares requeridos para ser descargadas al alcantarillado sin transgredir la normatividad”.²⁹

1.8 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES TRATAMIENTO DE AGUAS EN GALVANIZADO

En la actualidad existen diferentes equipos, estrategias y metodologías que permiten tratar las aguas residuales de galvanizado de una manera innovadora obteniendo porcentajes de remoción satisfactorios, algunas requieren un costo de inversión inicial elevada y de difícil acceso mientras que otras son presentadas como alternativas que pueden ser implementadas dependiendo de las características que presente el agua residual a tratar. Se presentan una serie de tecnologías implementadas para tratar aguas residuales del sector galvánico.

1.8.1 Macro Algas Pardas Para el Tratamiento de Aguas del Proceso de Galvanizado. Se utilizan macroalgas marrones recolectadas de la costa norte de Portugal, *Laminaria hyperborea*, *Fucus spiralis*, *Pelvetia caniculata* y *Ascophyllum nodosum* como intercambiadores de cationes naturales para la tratamiento de aguas de enjuague que contienen zinc generadas en el proceso de galvanizado. “Las aguas residuales de zinc son caracterizado por una alta conductividad (1,5 mS / cm), un bajo contenido orgánico y una concentración de zinc de 10 mg / L, siendo aproximadamente 80% y 20% en forma de $ZnSO_4$ (acuoso), respectivamente”.³⁰ Las macroalgas marrones se caracterizan por presentar ácidos débilmente (grupos carboxílicos) y fuertemente ácidos (grupos sulfúricos) y grupos funcionales en la superficie de la biomasa. El intercambio de cationes naturales se presenta a través de un modelo de transferencia de masa teniendo en cuenta un modelo de fuerza impulsora por difusión de la partícula. “La capacidad máxima de intercambio catiónico estuvo entre 2.2 y 2.4 mEq / g. La biomasa de *L. hyperborea* mostró una mayor selectividad hacia el zinc iones presentes en el efluente, lo que resulta en una mayor capacidad de absorción de zinc en un menor tiempo de contacto.”³¹

1.8.2 Eliminación de Níquel de Aguas Residuales Galvánicas por Electrodeposición. Esta técnica consiste en el aprovechamiento del agua residual proveniente del proceso de bisutería actuando como electrolito facilitando la deposición del metal en el material. Las principales ventajas de utilizar la tecnología de electrodeposición, radican en la eliminación del metal de la solución

²⁹ AGUASISTEC. Planta de Tratamiento de Agua. [Sitio web]. Bogotá D.C. [Consultado febrero 03, 2020]. Planta de tratamiento de aguas. Disponible en: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua.php>.

³⁰ POZDNIAKOVA, Tatiana A., et al. Brown macro-algae as natural cation exchangers for the treatment of zinc containing wastewaters generated in the galvanizing process. *Journal of Cleaner Production*, 2016, vol. 119, p. 38-49.

³¹ *Ibíd* p.12

y la transferencia de este a una fase sólida, reutilización del metal y de optimización a partir de un control variable en el proceso. La activación del electrolito es un factor importante para establecer la calidad de la deposición en la aleación metálica, por otra parte, la temperatura la velocidad y la corriente eléctrica aplicada permiten mantener la homogeneidad y permitir la liberación de gas hidrogeno. La concentración de Níquel terminado el proceso de electrodeposición se puede cuantificar mediante espectroscopia ultravioleta-visible (UV/vis) presentando según Mariana Borges³² la composición de la fue 76% en peso de Níquel y 24% en peso de tungsteno, los resultados de la corrosión mostraron que la homogeneidad del revestimiento mejora con la presencia de tungsteno contra la corrosión.

1.8.3 Eliminación de Cromo Hexavalente de Aguas Residuales Galvanoplastia Utilizando Macroalga Marina *Pelvetia Canaliculata*. Se utiliza la estrategia de tratamiento de agua residual a partir de la macroalga marina *Pelvetia Canaliculata* como donante de electrones natural para la reducción de Cr (VI) A Cr (III) a pH y como un intercambiador de cationes para secuestrar el zinc, hierro y cromo trivalente. Este tratamiento implica la reducción de Cr (V) a Cr (III) utilizando la macroalga como electrón, posteriormente se realiza una precipitación trivalente de cromo, zinc y hierro a pH 8.5 utilizando grupos funcionales cargados negativamente presentes en la superficie. La reducción de estos metales presentes en el agua residual se evalúa en función de la biomasa donde ocurren una serie de reacciones en la superficie de esta. Para obtener la mayor remoción de contaminantes, se debe contar con una columna para la oxidación/reducción, un tanque precipitado para ajustar el pH y una columna de intercambio catiónico. “La oxidación de la biomasa durante la reducción de Cr (VI) genera nuevos sitios de unión para el secuestro de cationes, lo que resulta, por ejemplo, en una captación de Cr (III) capacidad de 1.9 mol / g a pH 2.2, que es más de 10 veces más alto que el encontrado usando la misma macroalga para Cr (III) eliminación de soluciones puras a pH 2,2”.³³

1.8.4 Electrocoagulación como Tratamiento de Aguas Residuales Galvanicas. “La electrocoagulación, se define como la desestabilización de especies químicas suspendidas, disueltas o emulsionadas presentes en una solución, producto de la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico, a través de un sistema cátodo- ánodo inmerso en la solución”.³⁴ En este proceso

³² PORTO, Mariana Borges; COSTA, Josiel Martins; DE ALMEIDA NETO, Ambrósio Florêncio. Ni-W alloys and their anticorrosive properties: Ni removal efficiency from galvanic wastewater by electrodeposition. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 36, p. 1-7.

³³ HACKBARTH, Fabíola V., et al. Removal of hexavalent chromium from electroplating wastewaters using marine macroalga *Pelvetia canaliculata* as natural electron donor. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 290, p. 477-489.

³⁴ CAZCO SÁNCHEZ, Ana Janeth; JARRÍN FLORES, Santiago Alberto. Diseño, construcción y análisis de los parámetros de operación de un sistema de electrocoagulación. 2011. Tesis de Licenciatura. QUITO/EPN/2011.

ocurren una serie de reacciones generando iones tanto positivos como negativos, los iones generados tienen la función de desestabilizar las cargas que poseen partículas contaminantes en el agua, una vez las cargas se han neutralizado las partículas en suspensión desaparecen permitiendo la formación de agregados de los contaminantes e iniciando el proceso de coagulación. Es la técnica más eficiente para el tratamiento en el sector galvanizado debido a la versatilidad y combinación de dos técnicas en un solo proceso.

1.9 MARCO NORMATIVO PARA GALVANIZADO

“El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible es el ente encargado de fomentar la protección y conservación de los recursos naturales del territorio colombiano, en busca de mejorar la calidad de los cuerpos hídricos se expidió una norma que controla los vertimientos industriales”.³⁵ La resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 establece los límites máximos permitidos en los vertimientos tanto para las aguas residuales industriales como para las aguas residuales no domésticas dependiendo de la actividad realizada; ya sea industrial, comercial o de servicios. En el caso del sector de galvanizado por inmersión en caliente, los valores máximos permisibles se establecen de acuerdo al artículo 13.

1.9.1 Parámetros de evaluación. A continuación, se presenta la normatividad que rige al sector de galvanizado en cuanto a la disposición de aguas residuales al alcantarillado y el buen uso y control de sustancias químicas que puedan ser utilizados en la fabricación ilegal de drogas.

³⁵ SOLER URIBE, Emily Andre; PRIETO BERNAL, Winny Jimena. Evaluación de una propuesta de un Sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizantes. [En línea]. Monografía. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C 2019. [Consultado 11, febrero, 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7407>

Cuadro 7. Parámetros de Evaluación Para el Tratamiento y Revestimiento de Metales Según la Resolución 631 del 2015

PARAMETRO	UNIDADES	RESOLUCIÓN 631 DE 2015 (ARTICULO 13)
Ph	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	250.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mgO ₂ /L	100.00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50.00
Grasas y Aceites	mg/L	10.00
Aluminio (Al)	mg/L	3.00
Arsénico (As)	mg/L	0.10
Bario (Ba)	mg/L	1.00
Cadmio (Cd)	mg/L	0.05
Cinc (Zn)	mg/L	3.00
Cobre (Cu)	mg/L	1.00
Cromo (Cr)	mg/L	0.50
Estaño (Sn)	mg/L	2.00
Hierro (Fe)	mg/L	3.00
Mercurio (Hg)	mg/L	0.01
Níquel (Ni)	mg/L	0.50
Plata (Ag)	mg/L	0.20
Plomo (Pb)	mg/L	0.20

Fuente: Elaboración propia basada en: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 del 2015.

Tabla 6. Marco Normativo General para Vertimiento y Sustancias Químicas controladas

MARCO NORMATIVO			
Ley/Decreto/Resolución	Titulo	Artículos	Contenido
Decreto 1594 del 1984	Uso del agua y residuos líquidos	Capítulo VI artículos 60, Capítulo VII artículo 98	Expone el mínimo cumplimiento para verter líquidos a las zonas de alcantarillado, el ordenamiento de los recursos y los permisos que se deben poseer para el vertimiento de efluentes
Decreto 3930 del 2010	"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"	Capítulo V Artículo 19, Capítulo VI artículo 24 y Capítulo 7 artículo 41	Establece la obtención de permiso y planes de cumplimiento como las prohibiciones de los vertimientos, define las disposiciones en diferentes fuentes hídricas
Decreto 3990 de 2010	"Por el cual el Ministerio de Comercio Industria y Turismo clasifica los productos y sustancias químicas controladas por el Consejo Nacional de Estupefacientes bajo el régimen de licencia previa"	Artículo 1 Artículo 2 Artículo 3 Artículo 4	Facilita el control de importaciones de sustancias químicas controladas bajo licencia previa. Clasifica los productos de importación de acuerdo a su número serial
Decreto ley 19 de 2012	"Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública"	Capítulo I Artículo 1 Artículo 6 Artículo 35	Establece los requerimientos para la expedición del Certificado de Carencia para el manejo de sustancias químicas, el formato electrónico y el manejo del mismo en el sistema

Tabla 6 (Continuación)

Resolución 0631 del 2015	"Por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones".	Sector: Actividades de fabricación y manufactura de bienes Artículo 13	Expone los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas; específicamente para el sector de tratamiento y revestimiento de metales
Resolución 0001 de 2015-CNE	"Por la cual el Consejo Nacional de Estupefacientes unifica y actualiza la normatividad sobre el control de treinta y tres (33) sustancias y productos químicos que pueden ser utilizados en la producción ilegal de drogas"	Capítulo I Artículo 1, Artículo 3. Capítulo II Artículo 4, Artículo 7, Artículo 11. Capítulo III Artículo 12, Artículo 17. Capítulo IV Artículo 27, Artículo 30. Capítulo V Artículo 32. Capítulo VI Artículo 36. Capítulo VII Artículo 42.	Expone el modelo de control de sustancias y productos químicos controlados en Colombia

Fuente: Elaboración propia

2. DIAGNOSTICO

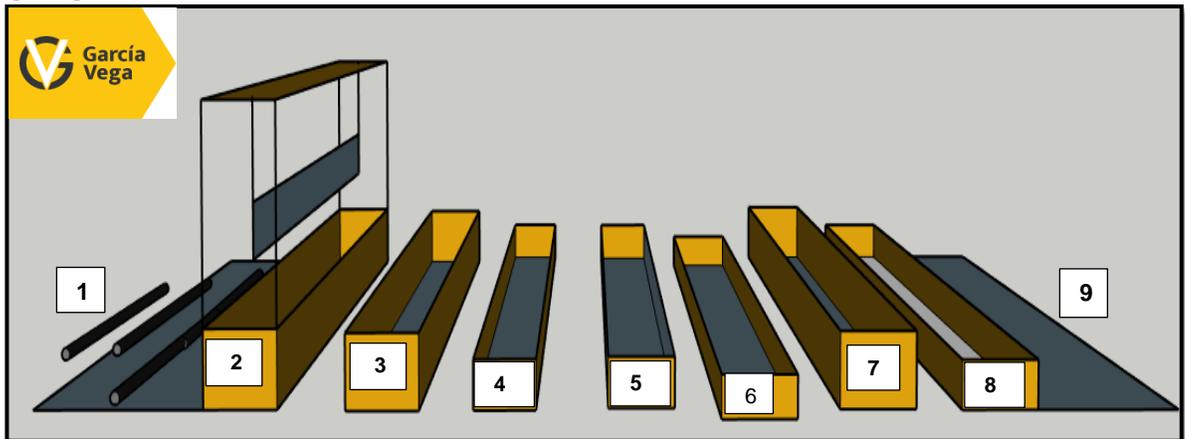
2.1 PROCESO PRODUCTIVO

El Galvanizado por Inmersión en Caliente es un proceso realizado mediante la utilización de baños de zinc recubriendo la totalidad de las superficies metálicas protegiéndolas frente a la corrosión. El Acero Galvanizado por inmersión en caliente es un producto que combina las características de resistencia mecánica del Acero y la resistencia a la corrosión generada por el Zinc (Zn). Tiene como principales ventajas los siguientes puntos:

- Duración excepcional
- Resistencia mecánica elevada
- Protección integral de las piezas (interior y exteriormente)
- Triple protección: barrera física, protección electroquímica y auto curado
- Ausencia de mantenimiento
- Fácil de pintar

La planta de galvanizado por inmersión en caliente de García Vega ubicada en la ciudad de Bucaramanga-Santander consta de nueve etapas las cuales proporcionan ciertos atributos al material que se va a galvanizar y garantizan la correcta deposición del zinc sobre el acero.

Ilustración 9. Proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente en García Vega S.A.S



Fuente: Elaboración propia

Basados en la ilustración anterior las etapas del proceso de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S son:

1. **Recepción del material y Enganche:** Etapa en la cual se cuelga el material indiferente de la geometría que se tenga, garantizando la mayor inclinación

posible, con el fin de maximizar el escurrimiento de los diferentes líquidos que intervienen en el proceso.

2. **Desengrase:** Solución acida de Hydronet y agua.
3. **Decapado:** Solución de Ácido Clorhídrico al 16%, Antivapor, Iron Save y agua.
4. **Enjuague:** Agua de tercer nivel
5. **Fluxado:** sales de cloruro de zinc ($ZnCl_2$), cloruro de amonio (NH_4Cl) y aditivos de baño de fluxado (Fluxzinc y Filmflux).
6. **Horno de Pre calentamiento:** Etapa en la cual se realiza un aprovechamiento calórico de los gases de combustión para generar un recinto caliente, el cual ayudará a eliminar la humedad resultante en las piezas metálicas a galvanizar y aumentar su temperatura superficial.
7. **Galvanizado:** Etapa en la cual se lleva a cabo la reacción entre el acero y el zinc fundido dando origen a la nueva aleación que protegerá de los ataques atmosféricos (Corrosión) y mecánicos (Rayones Superficiales) al acero. Compuesta por Zinc, Níquel, Aluminio, Estaño y Plomo.
8. **Enfriamiento:** Etapa en la cual se realiza un enfriamiento rápido de las piezas con el fin de bajar su temperatura superficial, que se encuentra a 450 °C, a una temperatura de los 50 °C.
9. **Inspección y Pesaje:** Etapa en la cual se verifica el peso del material al finalizar el proceso, el cual corresponde a un aumento entre el 5% y el 15% con base al peso de inicial. Dicho pesaje final es el correspondiente al peso a facturar.

2.1.1 Descripción del Proceso Productivo. Con una de las plantas más modernas de Colombia, el proceso de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S utiliza etapas y sustancias que son factor diferenciador con su competencia, brindando así un galvanizado único para todo tipo de material.

2.1.1.1 Recepción de Material y enganche. En la primera etapa se recibe el material a recubrir considerando la clase de material, tamaño, peso, forma, que el material esté libre de escorias, rebabas, soldaduras mal aplicadas, pinturas o requisitos del cliente, una vez se revisan estas especificaciones se procede a colgar el material.

El material se cuelga en unas gancheras que son movidas por un puente grúas y ayudan a transportar el material de cuba en cuba. Se debe colgar el material de tal manera que al pasar por las cubas queden totalmente sumergidas. Colgado el material se dirige a la etapa de desengrase.

Ilustración 10. Etapa de Enganche.



Fuente: Elaboración propia

2.1.1.2 Desengrase. La operación de desengrase consta de una solución de limpieza denominada Hydronet la cual es un desengrasante químico que opera a pH ácido y agua de tercer nivel en donde se deja el material totalmente libre de óxidos, grasas y elementos ajenos.

Ilustración 11. Etapa de Desengrase.



Fuente: Elaboración propia

La cuba de desengrase opera a las siguientes condiciones:

Tabla 7. Desengrase Hydronet

Condiciones de Operación Cuba de Desengrase	
Dimensiones (m)	7 l x 1.50 h x 0.7 w
Nivel (cm)	130
Volumen de la Solución (m ³)	6
pH optimo	1.3-1.6
Temperatura (°C)	(20-30)
Tiempo (min)	> 10

Fuente: Elaboración Propia

Terminado el tiempo, el material se dirige a la cuba de decapado.

2.1.1.3 Decapado. Esta cuba contiene una solución de ácido clorhídrico al 16%, inhibidores de emanaciones acidas e inhibidores de corrosión que permiten controlar la acción decapante del ácido sobre el material y agua de tercer nivel. La finalidad de esta cuba es eliminar el óxido y la calamina, que son los contaminantes superficiales más comunes de los productos féreos y obtener así una superficie de acero químicamente limpia. El tiempo de decapado depende del grado de oxidación superficial de los productos y de la concentración de la solución de ácido.

Ilustración 12. Etapa Decapado.



Fuente: Elaboración propia

La cuba de decapado opera a las siguientes condiciones:

Tabla 8. Decapado HCL

Condiciones de Operación Cuba de Decapado	
Dimensiones (m)	7.0 l x 1.50 h x 0.7 w
Nivel (cm)	130
Volumen de la solución (m ³)	6
pH óptimo de trabajo	(0 -1.5)
Temperatura °C	(20-30)
Tiempo (min)	>= 10

Fuente: Elaboración propia

La siguiente operación es someter al material previamente decapado a un enjuague.

2.1.1.4 Enjuague. Etapa en la cual se remueven todas las impurezas que se han arrastrado de la etapa del decapado y generar una superficie limpia y 100% acero en su superficie. Contiene agua de tercer nivel eliminando de la superficie de las piezas los residuos ácidos y grasas de las etapas anteriores previniendo el arrastre de contaminantes en la etapa de fluxado.

Ilustración 13. Etapa de Enjuague.



Fuente: Elaboración propia

La cuba de enjuague opera a las siguientes condiciones:

Tabla 9. Etapa de Enjuague

Condiciones de Operación Cuba de Enjuague	
Dimensiones (m)	7.0 l x 0.8 h x 0.7 w
Nivel (cm)	65
Volumen de Agua (m ³)	3
pH óptimo de trabajo	(6-9)
Temperatura (°C)	(20-30)
Tiempo (min)	< 2

Fuente: Elaboración propia

2.1.1.5 Fluxado. Esta etapa consiste en someter el material en la cuba de fluxado, esta cuba posee sales de cloruro de zinc ($ZnCl_2$), cloruro de amonio (NH_4Cl) y aditivos de baño de fluxado que permiten aumentar la eficiencia y productividad de la cuba, disminuir la generación de humos y cenizas, disminuir los tiempos de secado material y mejorar la calidad del fluxado. El tratamiento tiene como objetivo formar una superficie en el material impidiendo su oxidación y acondicionarla para la etapa de galvanizado.

Ilustración 14. Etapa de Fluxado.



Fuente: Elaboración Propia

La cuba de fluxado opera a las siguientes condiciones:

Tabla 10. Fluxado

Condiciones de Operación Cuba de Fluxado	
Dimensiones (m)	7.0 l x 0.8 h x 0.7 w
Nivel (cm)	65
Volumen de la Solución (m ³)	3
pH óptimo de trabajo	(4.0-5.0)
Temperatura (°C)	(20-30)
Tiempo (min)	< 2

Fuente: Elaboración propia

Una vez se cumplió el tiempo en la cuba de fluxado, el material ingresa a la zona de precalentamiento.

2.1.1.6 Zona de Calentamiento. Etapa en la cual se realiza un aprovechamiento calórico de los gases de combustión para generar un recinto caliente, el cual ayudará a eliminar la humedad resultante en las piezas metálicas a galvanizar y aumentar su temperatura superficial. La zona de calentamiento está compuesta por dos tubos de acero colocados en la parte superior e inferior de las paredes del horno, dentro de los tubos, ingresa gas a temperatura constante. El material se sitúa en medio de los tubos los cuales le transfieren calor por conducción secando el material de manera uniforme, el propósito del precalentamiento es minimizar el riesgo de salpicaduras y explosiones por choque térmico que puedan producirse al sumergir el material en el baño de zinc.

Ilustración 15. Etapa de Precalentamiento.



Fuente: Elaboración propia

Una vez el material quedo completamente seco se dirige a la cuba de galvanizado.

2.1.1.7 Galvanizado. La operación de galvanizado se realiza sumergiendo el material en un baño de zinc fundido a una temperatura comprendida entre 440°C y 450°C. Cuando los productos se extraen del baño de galvanizado, éstos quedan recubiertos de una capa externa del baño de zinc.

Ilustración 16. Etapa de Galvanizado.



Fuente: Elaboración propia

El tiempo que se debe someter al material para obtener un recubrimiento galvanizado correcto, depende, entre otros factores, de la composición del acero, de la temperatura del baño de zinc, y del espesor del acero de los productos, el acabado final es un recubrimiento de tipo película brillante denominado.

Ilustración 17. Pieza Galvanizada.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Etapa de Galvanizado

Condiciones de Operación Cuba de Galvanizado	
Dimensiones (m)	6.5 l x 1 h x 0.6 w
Nivel (cm)	94
Composición	Zn: 99.738%
	Ni: 0.05%
	Al:0.002%
	Sn:0.13%
	Pb:0.08
Temperatura (°C)	440-450
Tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Una vez el material se ha galvanizado, se deja escurrir en el tanque para evitar pérdidas de zinc y eliminar los excesos. Fuera del baño de galvanizado, los productos pasan por una cuba de enfriamiento.

2.1.1.8 Enfriamiento. Está compuesta de agua de tercer nivel con el propósito de acondicionar la pieza para su óptima manipulación. El tiempo en el que se sumerge la pieza en esta cuba es de tipo flash.

Ilustración 18. Etapa de Enfriamiento.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Etapa de Enfriamiento

Condiciones de Operación Cuba de Enfriamiento	
Dimensiones (m)	7.0 l x 0.8 h x 0.7 w
Nivel (cm)	65
Volumen de Agua (m ³)	3
pH óptimo de trabajo	(6-9)
Temperatura °C	(20-30)
Tiempo (min)	< 2

Fuente: Elaboración propia

Por último, el material se desengancha y procede a la etapa de inspección y pesaje.

2.1.1.9 Inspección y Pesaje. Etapa en la cual se verifica el peso del material al finalizar el proceso, el cual corresponde a un aumento entre el 5% y el 15% con base al peso de inicial. Dicho pesaje final es el correspondiente al peso a facturar, también, se verifica y garantiza que todo el material procesado cumpla con la norma internacional.

Ilustración 19. Desenganche y Pesaje.



Fuente: Elaboración propia

2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN

La planta de galvanizado de García Vega posee dos tipos de residuos: Residuos sólidos y Residuos líquidos

2.2.1 Residuos Sólidos. Estos residuos se generan en la cuba de galvanizado produciendo ceniza y Zinc de Dross, la escoria o ceniza aparece en la superficie del baño de zinc fundido contenido en la cuba de acero, como consecuencia de las reacciones químicas que ocurren entre los componentes del baño y el oxígeno de la atmósfera³⁶, esta escoria es almacenada y puesta a la venta a compañías productoras de cosméticos y de alimentos para animales por su alto contenido de zinc.



La siguiente tabla muestra la composición de la escoria de zinc en la cuba de galvanizado.

Tabla 13. Composición Escoria

	Zn	Fe	Mn	Sn	ZnO	Pb
Escoria "GV"	76.802	0.176	0.063	0.159	96.002	0.139
	± 1.986	± 0.006	± 0.005	± 0.011	± 0.000	± 0.009

Fuente: Elaboración propia basada en: Análisis de resultados cenizas de zinc Thermo Scientific

El Zinc de Dross es un residuo sólido que se produce en el fondo del tanque debido al desprendimiento de metales pesados dentro de la cuba como consecuencia de la inmersión del material y las etapas anteriores al proceso, dichos metales coexisten a una temperatura aproximada de 450°C con el zinc en el tanque favoreciendo la solidificación de dichos metales insolubles produciendo un residuo más pesado que el zinc sólido. Otra posible causa de la generación de Dross es debido a la disminución drástica de la temperatura por alguna falla en los quemadores que se ubican en los extremos de la cuba los cuales emiten calor de manera constante, cuando algún quemador presenta problemas o alguna falla en el flujo de gas, la cuba empieza a disminuir su temperatura, por lo tanto, el zinc se empieza a solidificar si se encuentra a una temperatura menor a 420°C. Este Dross de zinc es almacenado en lingotes y puesto en venta a empresas pequeñas galvanizadoras las cuales refinan dicho residuo para extraer la mayor cantidad de zinc y añadirlo a su proceso de galvanizado. La principal reacción se presenta a continuación:

³⁶ DELVASTO, P; CASAL RAMOS, J.A; GONZÁLES JORDÁN, O; DURÁN RODRÍGUEZ, N.C. Caracterización de Residuos Sólidos Procedentes de dos Procesos Distintos de Galvanizado en Caliente por Inmersión. 2012, Vol. 48, Nro 2, pp. 33-44 ISSN 0034-8570.

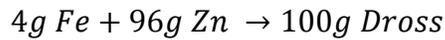


Ilustración 21. Cenizas de Zinc García Vega



Fuente: Elaboración propia

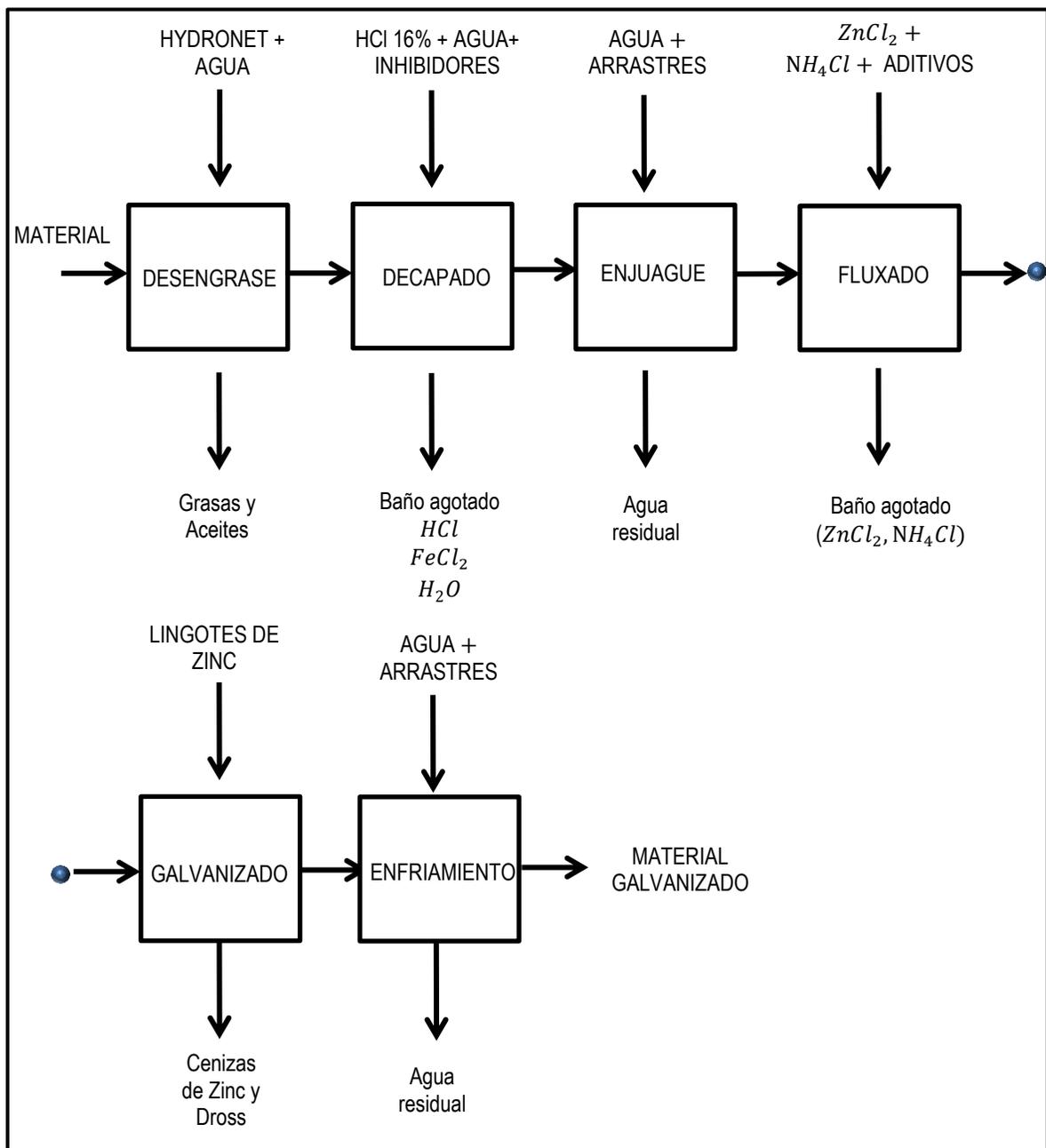
Ilustración 20. Dross de Zinc García Vega



Fuente: Elaboración Propia

2.2.2 Residuos Líquidos. El proceso de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S al poseer etapas de carácter destructivo (Desengrase y Decapado) requieren alrededor de 40m³ anuales de agua para el correcto funcionamiento de la planta, dicha agua, es suministrada por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB) y utilizada para diluir los insumos químicos en las diferentes cubas y evitar la contaminación por arrastre en las demás etapas. La línea de producción de García Vega se puede dividir en dos fases, la zona húmeda y la zona caliente, la zona húmeda es en donde el material va a presentar variaciones fisicoquímicas representadas en la apariencia del material (desengrase, decapado, enjuague y fluxado) y la zona caliente compuesta por las etapas de precalentamiento, galvanizado y enfriamiento en donde el material va a presentar variaciones térmicas. Una de las principales características de la zona húmeda es la variedad de productos que se utilizan para garantizar la correcta eliminación de óxidos, impurezas, grasas y aceites que presente el material, sumándole, los tiempos en los cuales se deben adicionar. El cambio de solución dentro de las cubas varían de acuerdo a los niveles de producción de la planta y las condiciones en las que se presente el material; dichas cubas generan a lo largo del tiempo residuos líquidos causados por el agotamiento de las soluciones que se pueden ver reflejadas en un aumento de acidez, aumento de la densidad en la solución representado en grados Baume (Be°) y una disminución en el pH generado por los diferentes niveles de acidez manejados en el proceso. Se presentan también pérdidas por trasiego del material entre cuba y cuba. La figura 2 representa en diagrama de flujo de proceso (Entradas/Salidas) del proceso de galvanizado por inmersión en caliente. De la figura se puede observar las diferentes fuentes de contaminación sólida y líquida generadas en las diferentes cubas, se hará énfasis en las etapas donde se presente mayor fuente de contaminación líquida en el proceso presentando una descripción detallada en cada una de las etapas seleccionadas.

Figura 2. Flujo de Proceso en García Vega S.A.S



Fuente: Elaboración propia

2.3 FUENTE Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS

Berradi M dice: “Los residuos galvánicos se caracterizan por valores de pH entre 6.5 y 9.5 y temperaturas inferiores a 30°C”.³⁷ No obstante Sharma menciona “el tipo de concentración de metales pesados presentes en los efluentes estará en función del proceso productivo y de la materia prima utilizada”.³⁸ Martínez expresa que “Los más comunes son Cd con concentraciones del orden de 82 000 mg /L procedente de todo el proceso y entre 48 a 240 mg/L en las cubas de enjuague”.³⁹ Por último, Silvia agrega que “El zinc ocupa valores de 33 800 mg/L en los baños de proceso y entre 70 a 350 mg/L en el enjuague, Cu con valores que fluctúan entre 107 a 535 mg/L en los procesos, y entre 2.8 a 14 mg/L en los enjuagues”.⁴⁰ Peña Hernan⁴¹ presenta una tabla en donde la composición media del Fe en los baños agotados, contiene valores inferiores a 140 g/L en los baños agotados de decapado.

La siguiente tabla refleja las materias primas que utilizan García Vega S.A.S en la planta de galvanizado por inmersión en caliente.

Tabla 14. Descripción Materias Primas

Fase	Descripción
Desengrase (HYDRONET)	<ul style="list-style-type: none"> • Desengrasante ácido que transforma aceites y grasas floculándolas para que precipiten en el fondo de la cuba. • Actúa como pre decapado aumentando la productividad del decapado. • Trabaja a temperatura ambiente (no menos de 18°C y no más de 40°C). • Es compatible con los baños de decapado por lo que no requiere enjuagar antes del decapado. • La composición del baño es 10% Hydronet y 90% agua en volumen

³⁷ Berradi, M., Chabab, Z., Arroub, H., Nounah, H., El Harfi, A. Optimization of the coagulation/flocculation process for the treatment of industrial wastewater from the hot dip galvanizing of steel. (2014). Citado por: SALAZAR BRITO, Katherine Silvana. Propuesta de Segregación de Corrientes de Agua para su Rehusó y Reciclaje dentro de una Industria de Galvanizado: Caso Novacero S.A. Quito. Escuela Politécnica Nacional. 2012, p.33. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19726>

³⁸ Sharma et. Citado por: Ibíd., p.33.

³⁹ Martínez, J., Silva, A., Orta, T. Estudio de efluentes de residuos peligrosos para recuperación. Citado por: Ibíd., p.33.

⁴⁰ Trapote, M., y Martínez, B. (2012). Regeneración y reutilización de las aguas residuales. Técnica Industrial, 298, 32-44. Citado por: Ibíd., p.33.

⁴¹ SAMANIENO PEÑA, Hernan. Valorización de Efluentes de Decapado Acido Metálico. Recuperación del Zinc. [en línea]. Sevilla Universidad de Cantabria, 2006. P.21. [consultado en 22, febrero, 2020] Disponible en: https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/10688/5de8.HSP_conclusiones.pdf?sequence=6&isAllowed=y

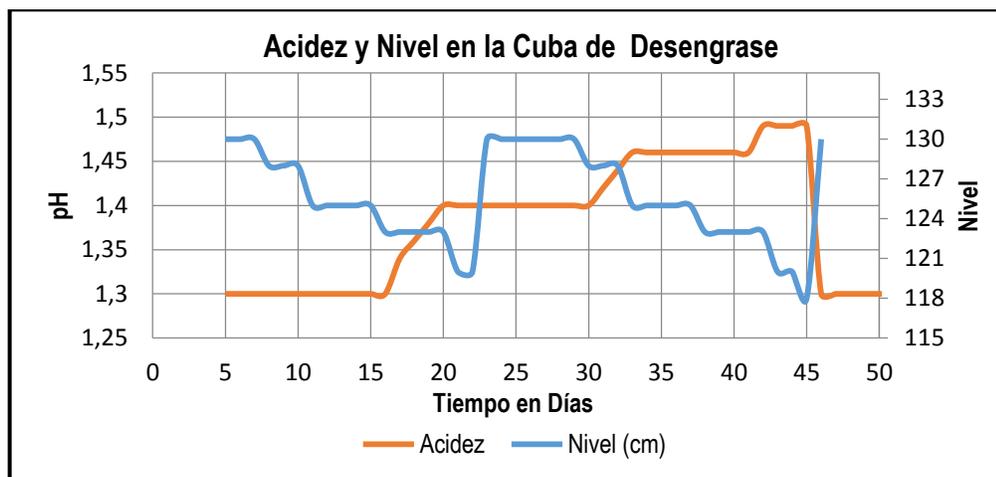
Tabla 14 (Continuación)

DECAPADO (HCL 16%)	<ul style="list-style-type: none"> • Solución acuosa, pungente, fumante, olor penetrante e irritante. • Actúa como decapante y limpieza de metales • Trabaja a temperatura ambiente. • Altamente corrosivo y fumante por lo que se adicionan Iron save y Anti-vapores • La composición del baño es 50% HCl 48% agua y 2% Iron save y Anti- vapores
Enjuague	<ul style="list-style-type: none"> • Compuesta por agua de tercer nivel. • Actúa como solución de limpieza • Trabaja a temperatura ambiente • Evita el arrastre de contaminantes. • La composición del baño es 100% agua
Fluxado	<ul style="list-style-type: none"> • Sales de zinc • Reducen el tiempo de trabajo requerido en el proceso • Trabajan a temperatura ambiente • La composición de un baño nuevo debe estar en 21°Be
Enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Compuesta por agua de tercer nivel. • Actúa como estabilizador de temperatura • Trabaja a temperatura ambiente • Elimina el zinc sobrante del material. • La composición del baño es 100% agua

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Desengrase. Esta cuba se caracteriza por poseer un desengrase de tipo ácido lo cual difiere de las demás plantas galvanizadoras por inmersión en caliente, las ventajas, además de actuar como un pre decapado, es disminuir los costos evitando la implementación de una cuba de enjuague posterior a esta, la interacción entre soluciones ácidas aumenta la eficiencia del proceso ayudando a que se acumule la mayor parte de contaminantes en el tanque y evita que se generen reacciones indeseadas al momento de ingresar en la etapa de decapado, como consecuencia, dicha solución pierde su eficiencia en un menor tiempo, para ello, se realiza periódicamente el control de la acidez de la cuba. Esta etapa representa el mayor consumo de agua en el proceso de galvanizado requiriendo 5.4m³ de agua para un baño nuevo, presenta pérdidas significativas de nivel por evaporación del agua afectando el rendimiento del producto.

Grafica 1. Acidez y Nivel en La Cuba de Desengrase



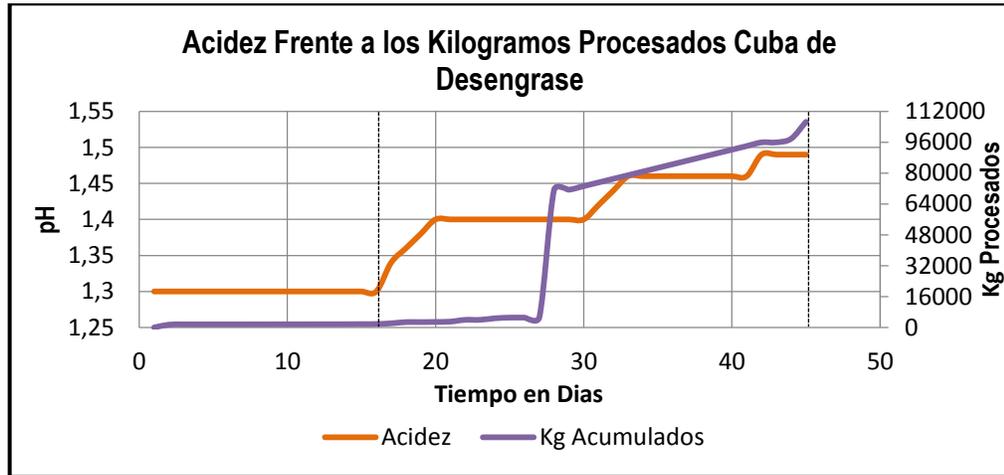
Fuente: Elaboración propia

La grafica 1 representa el comportamiento de la acidez y el nivel en la cuba de desengrase por un periodo aproximadamente de dos meses, se observa que el descenso de la acidez es significativo comparado con el decrecimiento de nivel a lo largo del tiempo, el pH a pesar de ser el indicativo de que la solución va perdiendo su eficiencia, logra mantenerse dentro de los rangos permitidos por un periodo de cuarenta y cinco días llegando a pH 1.49; una vez se llegó a dicho valor, se realiza una adición parcial a la cuba de un 1L de hydronet y se completa el nivel restante con agua, logrando así, mantener en condiciones óptimas la cuba de desengrase. Por otra parte, las pérdidas de nivel se producen en un periodo inferior a quince días con una disminución del 7.7% mensual, sus causas, principalmente por la evaporación del agua debido a las altas temperaturas de trabajo en la planta y la humedad del ambiente y la falta de mantenimiento en la cuba produciendo pequeños orificios por donde se puede escapar el agua.

Otro factor importante que se tiene en cuenta son los kilogramos procesados en la etapa de desengrase, a medida que se procesa el material se van acumulando grasas y aceites, el exceso de dichos contaminantes afecta las siguientes etapas del proceso generando productos no deseados.

La siguiente grafica representa el comportamiento de la acidez y los kilogramos procesados a lo largo del tiempo.

Grafica 2. Acidez Frente a Los Kilogramos Procesados Cuba de Desengrase



Fuente: Elaboración propia

Seccionando la gráfica 2 en periodos de 15 días, se puede observar una relación entre el descenso de la acidez con respecto a los kilogramos acumulados. Los primeros quince días con un baño nuevo, el pH se mantiene en las condiciones óptimas de trabajo procesando alrededor de 1.5 toneladas/día, pasados los 30 días de trabajo, el acumulado de piezas empieza a ascender y a su vez a disminuir la acidez proporcionalmente dando señal de acumulación de grasas y aceites dentro de la cuba. A pesar de haber procesado 66 toneladas/mes de material el pH se ha mantenido dentro de los rangos establecidos incrementando una unidad en un mes de trabajo cuando la producción es inferior a 1 toneladas /día; posteriormente; la acumulación de contaminantes se ve reflejado debido a la cantidad de material procesado en la cuba de desengrase. Las gráficas anteriores evidencian que la solución se mantuvo dentro de los parámetros permitidos dentro del periodo de análisis, las adiciones programadas evitan que la cuba pierda eficiencia, la disminución de la acidez refleja las características desengrasantes permitiendo convertir las grasas y aceites en flocs precipitándolos en el fondo del tanque facilitando la remoción de contaminantes. El nivel es un factor importante en esta etapa del proceso ya que el 90% de la solución es agua lo cual está ligado a los kilogramos procesados de material y a la cantidad de producción de la planta. Un control indebido en la cuba de desengrase puede generar un aumento en los costos fijos causados por las adiciones no programadas y en los costos variables, debido al consumo de agua en el proceso productivo. Para mitigar dichos efectos, García Vega S.A.S implementa un sistema de recirculación el cual consiste en sistema de filtrado compuesto principalmente por un bomba de tipo filtro ayudando a retener todos los sólidos suspendidos contenidos en solución, una vez filtrada, es almacenada en unos isotanques. Los operarios se encargan

de realizar la limpieza de todas las grasas y aceites que se acumularon en el fondo de la cuba y a través de un sistema de bombeo se adiciona nuevamente la solución cerrando el ciclo de disposición de efluentes al vertedero.

2.3.2 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Decapado. El objetivo del decapado es la unificación de dos etapas del proceso, limpieza/desengrase y decapado, en un solo proceso en el que se eliminan contaminantes similares y diferentes. El ácido utilizado es principalmente ácido clorhídrico o sulfúrico diluido con aditivos desengrasantes.⁴² La tabla 17 muestra un cuadro comparativo de las características del ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico. La temperatura de trabajo, el contenido máximo de hierro, el ataque al metal, la velocidad de decapado y la influencia de la solución de decapado que queda sobre el sustrato, son los aspectos que más impacto generan en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente; los cuales pueden producir: aumento en los costos fijos y variables, interferencia por contaminantes ajenos en otras etapas y baja operatividad en el proceso productivo. De lo anterior, el ácido clorhídrico es el que mejor desempeño presenta para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

Tabla 15. Comparación de Las Propiedades del Ácido Clorhídrico y Ácido Sulfúrico

Propiedades	Ácido Clorhídrico (HCL)	Ácido Sulfúrico
Wt% en conc.	30-33	94-96
Densidad (g/cm ³)	1.16	1.84
Transporte y almacenamiento	Tanques de acero con revestimiento de plástico, plástico o cerámica	Tanques de acero o de cerámica
Volatilidad	A temperatura ambiente	No volátil
Preparación %p	13-15	15-25
Temperatura de trabajo (°C)	20-25 (>25 se requiere extracción de aire)	45-80 (requiere extracción de aire)
Contenido de Fe máximo permisible en g/l Fe ⁺²	90-160	80-100
Ataque al metal	Bajo	Alto
Escala del ataque	Fuerte, disuelve todos los tres óxidos de hierro	Bajo, principalmente Fe, H efecto explosivo
Defectos	Rara vez ocurre	Frecuentemente
Solubilidad de sales de hierro	Alta	Baja
Formación de lodos	Medio	Alto
Velocidad de decapado	Alto	Bajo

⁴²MAAß, Peter; PEISSKER, Peter. Handbook of hot-dip galvanization.1. ed: Weinheim, Alemania. Wiley-VCH-Verlag, 2011. 49 p. ISBN9783527323241.

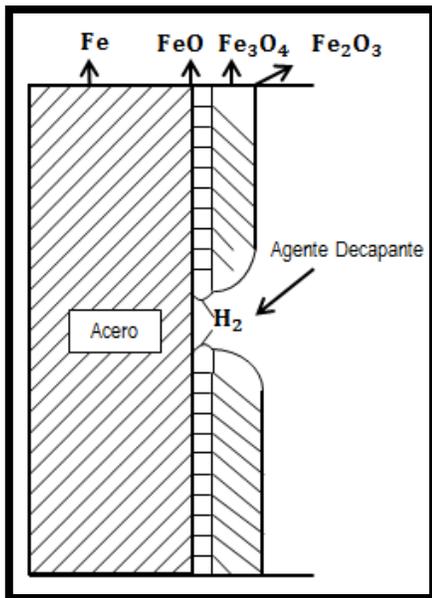
Tabla 15 (Continuación)

Influencia de la solución de decapado que queda sobre el sustrato del acero	Los iones de Cl no tienen influencia perturbadora ya que el Flux se compone de cloruro de zinc	Los iones SO_4 afectan negativamente el flujo y el proceso de galvanizado
--	--	--

Fuente: Elaboración propia basada en: MAAß, Peter; PEISSKER, Peter. Handbook of hot-dip galvanization.1. Ed.

Como se mencionó anteriormente una de las propiedades del ácido clorhídrico es la capacidad de disolver los tres óxidos de hierro. La figura 3 representa la estructura de las capas de óxido de hierro y la acción del agente decapante en la superficie del material.

Figura 3. Mezcla de Óxidos de Hierro

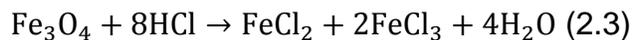
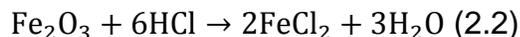


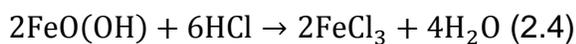
MAAß, Peter; PEISSKER, Peter. Handbook of hot-dip galvanization.1. ed.

La figura 3. Es una mezcla de los óxidos de hierro.

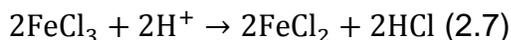
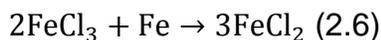
- Óxido de hierro (FeO): Alta solubilidad en ácido clorhídrico.
- Magnetita u oxido ferroso- férrico (FeO · Fe₂O₃): Soluble en ácido clorhídrico.
- Hematita u oxido férrico (Fe₂O₃): Soluble en ácido clorhídrico.

El ácido clorhídrico al entrar en contacto con el material genera una serie de reacciones a medida que va ingresando por cada una de las capas, impregnando cada una de las superficies del material. Las siguientes reacciones químicas ocurren durante la etapa de decapado:





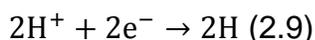
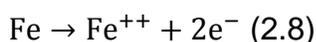
Las reacciones secundarias son:



Si bien la formación del ion de hierro trivalente de acuerdo a la ecuación 2.1 y 2.4 es inevitable, su desarrollo a través de la oxidación de la forma bivalente puede estar limitado por el oxígeno atmosférico, claramente se evidencia el efecto de los óxidos de fierros en la cuba de decapado con la disminución del contenido de ácido clorhídrico en el tanque a lo largo del tiempo y la formación de reacciones indeseadas, dichos efectos negativos pueden compensarse utilizando las siguientes medidas:

- Adiciones de HCl de acuerdo con el contenido de hierro presente en la cuba de decapado. Dicha medida, logra disminuir los tiempos de decapado y aumentar la eficiencia del tanque.
- Trabajar en las condiciones óptimas de trabajo del ácido clorhídrico de acuerdo con la figura 3.: "dependencia del tiempo de decapado según la composición del ácido clorhídrico a 20°C).
- Agentes inhibidores a la cuba de decapado.

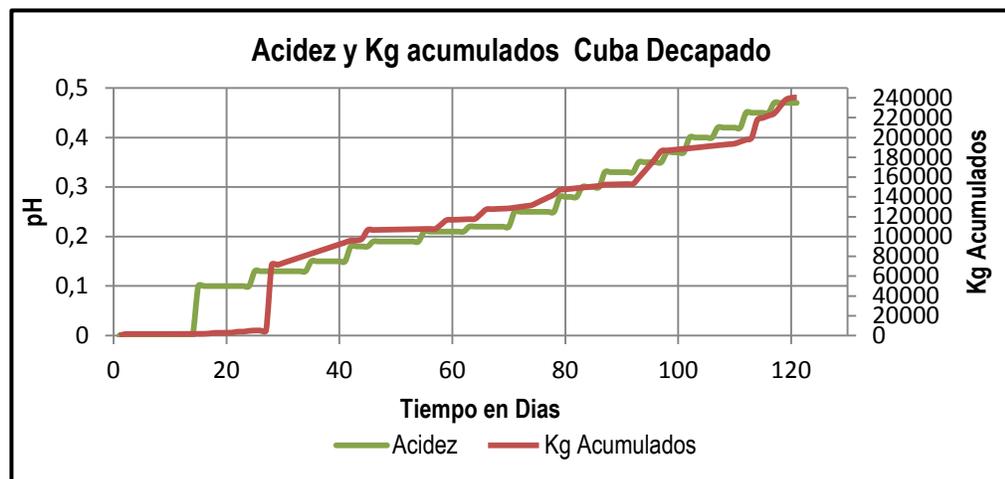
Si bien la ecuación 2.5 muestra la ecuación básica de la disolución del hierro en ácido clorhídrico, se puede extrapolar con la corrosión electroquímica que se produce en el proceso las cuales coexisten, sin embargo, en diferentes mecanismos de reacción.



Las sustancias que se encuentran en la cuba de decapado pueden promover o inhibir dichas reacciones, con respecto al hidrogeno atómico formado de acuerdo con la ecuación 2.9 se produce dependiendo de las condiciones del medio en el que se encuentre y la relación decapado/material con respecto a la capa límite de este; generando, un aumento en la velocidad de difusión en la estructura. Las moléculas que no se difunden, se desarrollan en la superficie del material y pueden causar un aumento de presión en las burbujas de gas en la etapa de galvanizado. La ecuación 2.8 se da debido a que el potencial estándar de reducción del par Fe^{++}/Fe es de -0.44V lo cual es bajo comparado con el de oro $\text{Au}^{+++}/\text{Au}$ 1.31V, lo que indica que el hierro metálico tiende a oxidarse en contacto con otros elementos que manejen un potencial estándar superior. Al no poseer una configuración electrónica favorable que le permita mantener sus electrones en

su sitio, al momento de entrar en contacto con agua y oxígeno atmosférico, se oxida. La oxidación del hierro metálico a Fe^{++} ocurre en una región de la superficie del material que funciona como ánodo en donde ocurre la reacción. Una región contigua de la superficie del metal actúa como cátodo y en él se produce la reducción de oxígeno atmosférico a agua que es favorecida por la presencia del ácido clorhídrico como se observa en la ecuación 2.8. Para mantener en óptimas condiciones la cuba de decapado e impedir la saturación del tanque y reacciones indeseadas en la planta de galvanizado de García Vega S.A.S se realiza periódicamente análisis volumétricos para determinar el contenido de hierro en el tanque y la concentración del ácido clorhídrico, también, se controla el pH en el tanque. El comportamiento de la acidez y los kilogramos procesados a medida que pasa el tiempo se ven reflejados en la gráfica 3. Durante un periodo de aproximadamente 5 meses de operación el comportamiento de la acidez se mantuvo dentro los límites permitidos con un total de 240 toneladas procesadas.

Grafica 3. Acidez y Kilogramos Cuba Decapado

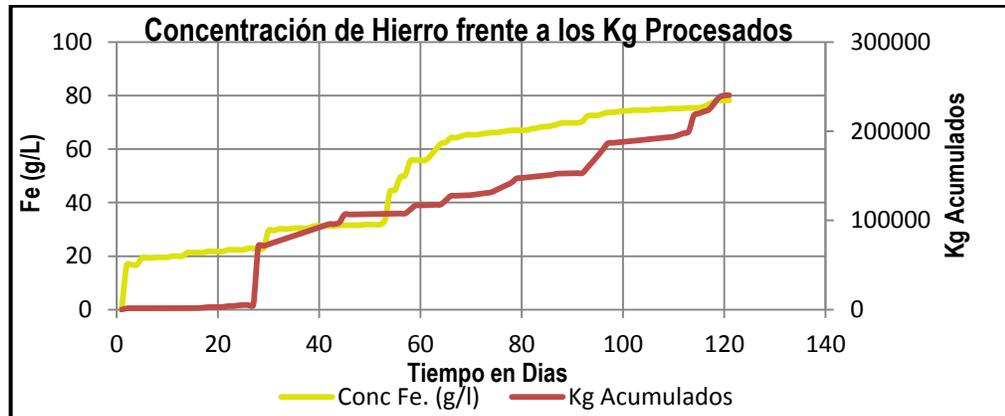


Fuente: Elaboración propia

Demostrando así la eficiencia que posee el ácido clorhídrico como agente decapante y su prolongado tiempo de operación, sin embargo, a pesar de existir una tendencia entre el descenso de la acidez frente a los kilogramos procesados no es un indicativo que demuestre la saturación del tanque. Por otra parte, los análisis volumétricos que se le realizan a la cuba de decapado para determinar la concentración de hierro en la cuba con respecto al tiempo (grafica 3), evidencia la relación entre el aumento de la concentración de hierro en el tanque frente a los kilogramos procesados. La concentración de hierro en el tanque llegó a presentar valores de 108,3296g/l en un tiempo de 180 días de operación lo cual según la tabla 15 está dentro del contenido máximo de hierro permisible; a dicha concentración, la cuba mostraba pérdida de eficiencia reflejada en un aumento en los tiempos de decapado, materiales mal decapados lo cuales debieron ser

reprocesados siguiendo el criterio de aceptación y rechazo propio de la empresa y uso de agente externos (lija) por parte de los operarios de la planta para decapar correctamente la pieza. El aumento de la concentración de hierro no solo disminuye el rendimiento de la cuba, también, favorece la formación de óxidos bivalentes y trivalentes de acuerdo con las ecuaciones 2.3 y 2.4 produciendo contaminantes indeseados, logrando así disminuir la concentración de ácido.

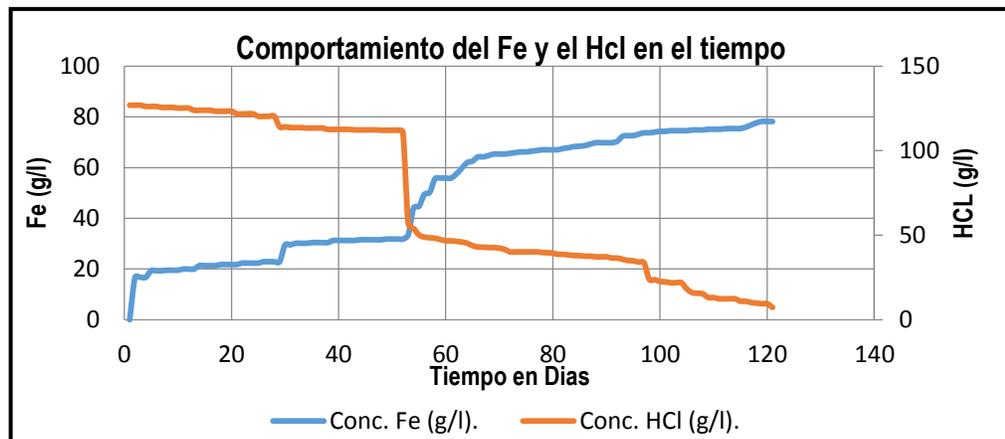
Grafica 4. Concentración de Hierro Frente a Los Kilogramos Procesados



Fuente. Elaboración propia

Al extrapolar los datos de la concentración de hierro con respecto al tiempo y compararlos con la concentración de ácido clorhídrico en la cuba de decapado, se observa que la concentración de ácido es inversamente proporcional a la concentración de hierro en la cuba, expone además que la cuba está trabajando dentro de la curva de saturación de hierro presentada en la figura 4 (dependencia del tiempo de decapado en la composición), indicativo de que el ácido está saturado y debe ser cambiado por un ácido nuevo.

Grafica 5. Comportamiento del Hierro y el Ácido Clorhídrico en el Tiempo



Fuente: Elaboración propia

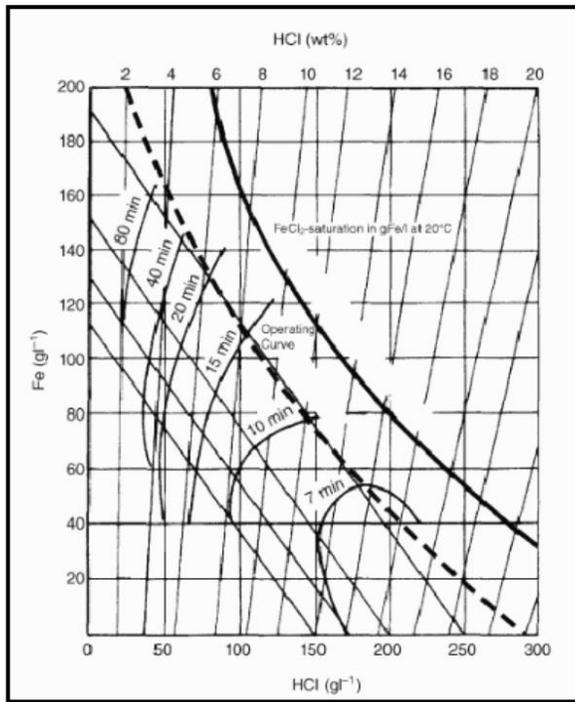
De las gráficas anteriores, es importante resaltar que el comportamiento de la concentración del hierro y del ácido están netamente ligado a los kilogramos procesados dentro de la cuba, al presentar niveles de producción bajos o nulos, la cuba puede permanecer estable gracias a los inhibidores presentes regulando el contenido de hierro en el tanque, conservar la concentración de ácido y mantenerse bajo la curva de operación con un nivel de acidez constante. Una vez la solución queda inoperativa, es almacenada en isotanques con capacidad máxima de 1000L y resguardada en las instalaciones de la planta. El ácido clorhídrico al ser considerado un ácido fuerte, no puede ser vertido al alcantarillado sin tener un tratamiento previo, además, al ser un químico controlado, deben contar con Certificaciones de Carencia de Informes por Tráfico de Estupefacientes (CCITE), permisos de almacenamiento y compra del insumo los cuales deben ser solicitados mediante la plataforma del Sistema de Información para el Control de Sustancias y Productos Químicos (SICOQ), en donde se realiza la solicitud del CCITE y autorizaciones extraordinarias, además es una herramienta que permite registrar en tiempo real todos los movimientos y transacciones de las sustancia y productos químicos que han sido autorizados; dicho esto, García Vega debe mostrar los balances de materia de consumo, entendiendo como las cantidades de sustancias y/o producto químicos controlados utilizado por cada proceso productivo que realiza o por cada producto final que obtiene. Debe realizar la descripción detallada del proceso y sus etapas, la duración de cada proceso, número de procesos mensuales, la formulación o composición de química de los productos finales, especificaciones técnicas y registro fotográfico de los equipos utilizados⁴³.

Otros metales que se pueden encontrar en esta etapa son el cobre (Cu) y el Níquel (Ni). El cobre (Cu) es utilizado en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente para colgar cierto tipo de materiales cuyas dimensiones impiden ser adecuados correctamente con el puente grúas, cada pieza tendrá su respectivo alambre el cual es desechado una vez se culmine la etapa de galvanizado. Debido a que la composición del acero varía de acuerdo con su función, el níquel es utilizado para reducir la temperatura de endurecimiento al ser templado, aumentando la tenacidad y ductilidad característica del acero. De existir reproceso del material, pasara nuevamente por esta etapa, y al existir níquel en la cuba de galvanizado, precipitara al fondo del tanque debido al desprendimiento del recubrimiento.

⁴³ COLOMBIA. MINISTERIO DE JUSTICIA Y DEL DERECHO. Resolución 001. (08, Enero,2015). Guía para solicitar el certificado de carencia de informes por tráfico de estupefacientes y autorizaciones extraordinarias para el manejo de sustancias y productos químicos controlados. En: Presidencia de La República de Colombia. Bogotá D.C. 2019. 11-15 p.

- La planta de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S cuenta con 3 isotanques que contienen ácido clorhídrico exhausto.
- La capacidad de cada isotanque es de 1 000L

Figura 4. Dependencia del Tiempo de Decapado en la Composición



Fuente: MAAß, Peter; PEISSKER, Peter. Handbook of hot-dip galvanization.1. Ed.

Ilustración 22. Isotanque García Vega.



La concentración de hierro en el tanque llegó a presentar valores de 108.3296g/l en un tiempo de 180 días de operación lo cual está dentro del contenido máximo de hierro permisible.

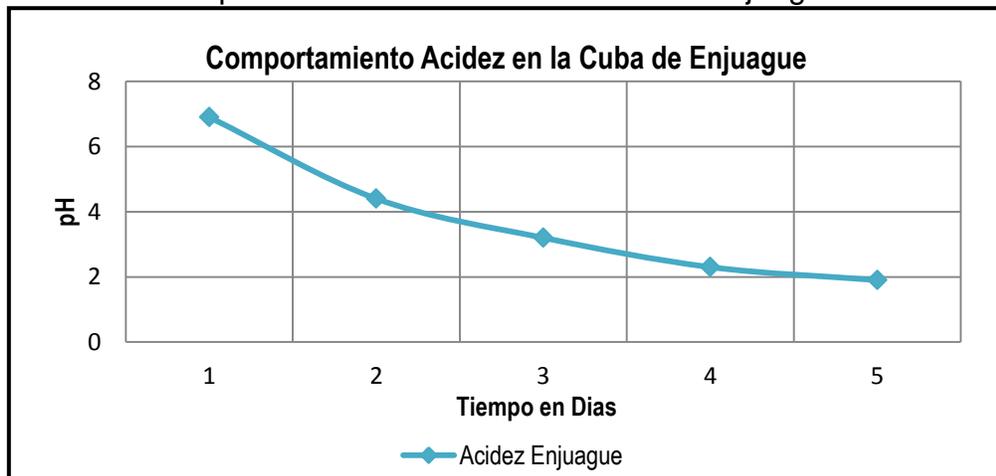
La preparación de un ácido nuevo posee una concentración de HCL de 126.874g/l lo que equivale a tener una solución al 16% de ácido clorhídrico.

Al cabo de 6 meses la concentración de ácido clorhídrico presento valores de 7.3 g/l aumentando el tiempo de decapado

2.3.3 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Enjuague. “Es una etapa muy simple pero igual de decisiva para garantizar una superficie limpia. Su objetivo primordial es evitar el arrastre de la solución ácida y de hierro hacia el fluxado. El componente primario es el agua fresca, la que debe ser cambiada

periódicamente para garantizar la efectividad del proceso”.⁴⁴ Esta cuba retiene gran cantidad de hierro como consecuencia del paso de material de una cuba a otra, la superficie quedara impregnada de ácido el cual debe ser retirado para evitar contaminación de cubas. Debido a la acción del ácido, se eliminarán de la superficie todos los óxidos de hierro contenidos en el material que, al ser sumergidos en agua, precipitarán al fondo de la cuba; por lo tanto, esta cuba presentara un aumento en el contenido de hierro y una disminución de pH. Para garantizar el correcto funcionamiento de la cuba de fluxado en la planta de Galvanizado de García Vega S.A.S, se cambia el agua de enjuague en un tiempo inferior a 6 días ya que como se observa en la gráfica 6 el descenso de la acidez del agua llega a tener valores de pH=1.9 afectando la cuba de fluxado; resaltar también que los tiempos de eficiencia de dicha cuba en comparación con las anteriores (desengrase y decapado) son mucho más corto por lo tanto requieren de mayor control. La influencia de los kilogramos procesados no es tan relevante ya que los cambios de acidez se ven influenciados por la dimensión del material y la especificación de este, a mayor área, mayor retención de ácido sobre su superficie. Otro factor, es la forma en la que el operario manipula el puente grúas para eliminar el ácido de la superficie del material; una correcta posición del material al momento de secarlo encima de la cuba de decapado (antes de ingresar a la etapa de enjuague) aumenta los tiempos de operación de la cuba de enjuague logrando así llegar a niveles de acidez considerables en mayor tiempo.

Grafica 6. Comportamiento Acidez en la Cuba de Enjuague



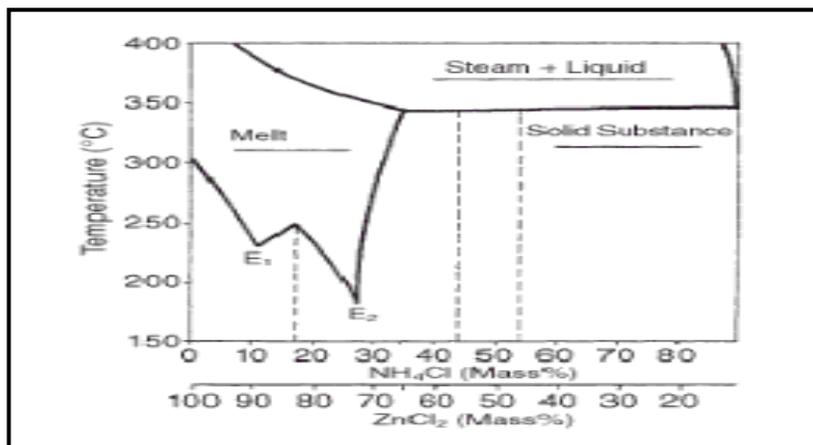
Fuente: Elaboración propia

⁴⁴ DELGADO ENRÍQUEZ, César Eduardo; BRAVO PALACIOS, Manuel Ange. Estudio de Prefactibilidad de una Planta de Galvanizado en Caliente para el Sector Industrial Metal Mecánica. [en línea]. Perú: 2017. p.47 [Consultado 2, Diciembre, 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/621668>.

Esta etapa presenta también un elevado consumo de agua ya que debe reponerse la totalidad de la cuba, alrededor de 12m³ de agua son vertidos mensualmente al alcantarillado municipal de Bucaramanga con las características anteriormente mencionadas cuando se trabaja al nivel máximo de operación en planta (30000kg/mes).

2.3.4 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Fluxado. “El principal objetivo de esta etapa es facilitar la adherencia del zinc a la superficie del material (hierro o acero) y así prevenir que otros óxidos se formen en la superficie del metal antes de ser galvanizado. Para esto es necesario aplicar un baño de sales (cloruro de zinc y cloruro de amonio)”⁴⁵ La composición química de dichas sales y su comportamiento a altas temperaturas, hacen que al mezclarse en una correcta proporción faciliten la correcta adherencia del zinc en la cuba de galvanizado. Una de las maneras para determinar la composición de sales en la cuba de fluxado es a partir del diagrama de estado de Hachmeister. Como se observa en la figura 5 el punto de fusión del ZnCl₂ (cloruro de Zinc) es de aproximadamente 282°C que se reduce a una temperatura aproximadamente 230°C debido a la adición de NH₄Cl (Cloruro de Amonio) generando el primer punto eutéctico E₁; una de las características de este punto es su alto grado de humectabilidad. El siguiente punto eutéctico E₂ con un punto de fusión aproximadamente de 180°C ocurre a 26-27% en peso de cloruro de amonio cuya ventaja es que son menos sensibles a caer por debajo de la temperatura de secado, liberando fácilmente las moléculas de agua presentes. Una de las desventajas de este punto E₂ es la baja humectabilidad formación de humo debido al alto contenido de cloruro de amonio.

Figura 5. Sistema Binario ZnCl₂/NH₄Cl



Fuente: MAAß, Peter; PEISSKER, Peter. Handbook of hot-dip galvanization.1. Ed.

⁴⁵ MINISTERIO DE AMBIENTE Y FUNDES COLOMBIA. Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnica. [Sitio Web]. Bogotá D.C. La entidad. [03, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.mvotma.gub.uy/ambiente/produccion-sostenible/guias-tecnicas/item/>.

El efecto que produce las mezclas de sales $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{ZnCl}_2$ se basa en dos principios: en el proceso de secado ya que en la etapa posterior debido al aumento de temperatura se formara “Chlorine hydroxozinc” que domina hasta aproximadamente 200°C y la disolución de los residuos óxidos de zinc que se presentaran en la cuba de decapado la cual ocurre en un mecanismo análogo.

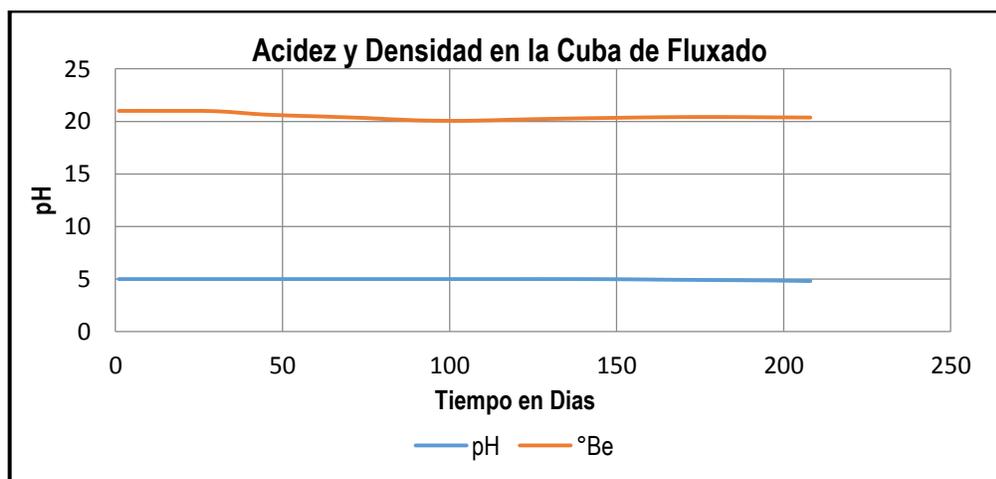
En cuanto al pH del agua en la cuba de fluxado, debe oscilar entre 4 a 5 para que precipite el hierro en forma de hidróxidos y así evitar que se formen trazas de zinc, en los baños de fluxado se va a producir la siguiente reacción:



“Esta reacción va a estar desplazada a la derecha y por tanto, el ácido clorhídrico va a tener un efecto decapante. Aunque el efecto sería mucho más pronunciado si la temperatura de los baños fuese mayor”.⁴⁶

En la planta de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S. la cuba de fluxado opera a temperatura ambiente por lo cual no presenta generaciones de humo o cambios de estado de las sales presentes. La eficiencia del tanque se rige bajo el control de la densidad expresada en grados Baume ($^\circ\text{Be}$) la cual indica la correcta concentración de las sales presentes en la cuba y el nivel de la acidez como indicativo del óptimo funcionamiento de la solución.

Grafica 7. Acidez y Densidad en la Cuba de Fluxado



Fuente: Elaboración propia

⁴⁶CABALLERO SEMPERE, Alexandre. Diseño de una instalación para el tratamiento de las aguas residuales generadas en una industria de galvanizado de hierro. Valencia: 2018. P.16 [Consultado 27, Noviembre, 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/109239>

Durante aproximadamente seis meses de control en la cuba de fluxado, se logró mantener dentro de los rangos óptimos en cuanto a densidad y pH representado en la gráfica 7, esto se debe a las buenas prácticas que se realizan en la cuba de enjuague mencionado anteriormente y las adiciones periódicas de las sales que prolongan su vida útil. Por otro lado, la concentración de hierro presente en la cuba refleja un descenso significativo en comparación con la concentración de hierro presente en la cuba de decapado (gráfica 5). A pesar de comprender valores de aproximadamente 0.8075 g/l de hierro diarios en la cuba de fluxado, no se presentaron interferencias o defectos en las etapas posteriores. Se presenta un acumulado de 167.9555g/l de hierro en la cuba de fluxado en un tiempo de 228 días. Llegado a dichos niveles, se procede a realizar la debida limpieza y mantenimiento, el cual consiste en pasar la solución a través de una bomba filtro, almacenarlo en el isotanque, limpiar la cuba y llenarla nuevamente con la solución debidamente filtrada, cerrando así el ciclo de contaminación líquida.

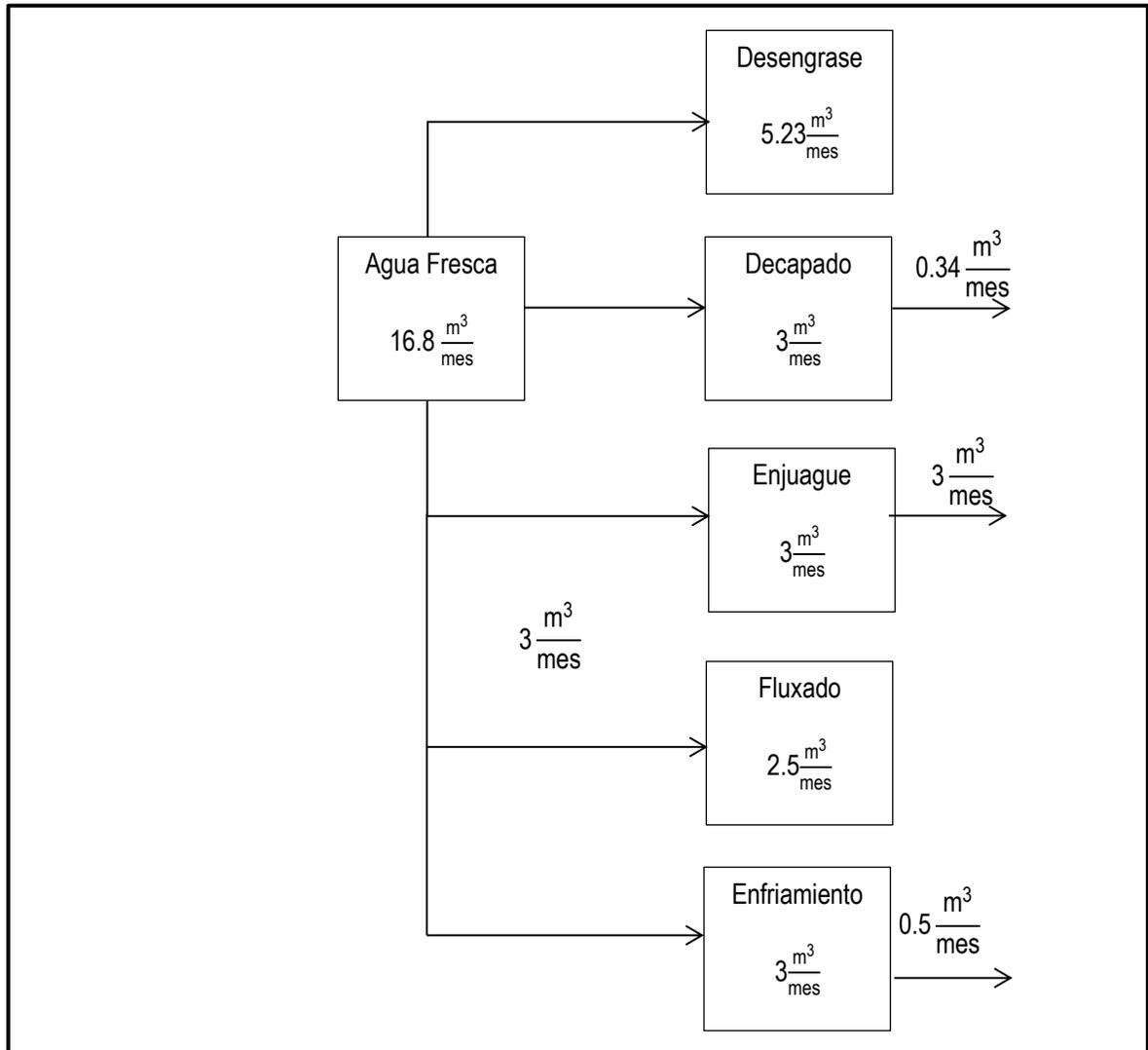
2.3.5 Residuos Líquidos Generados en la Etapa de Enfriamiento. A pesar de pertenecer a la zona caliente, dicha cuba funciona como una cuba de limpieza tipo flash. Actualmente, la planta de galvanizado mantiene la solución por un tiempo superior a seis meses debido a que el agua presente niveles de acidez estables pH=5.2 y el material ya ha sido galvanizado correctamente. Sin embargo, dicha cuba puede presentar arrastres de las etapas anteriores de metales pesados tales como: hierro, níquel, estaño, plomo y zinc. El término “metal pesado se utiliza para hacer referencia a un grupo de metales y semimetales, los cuales son necesarios para los organismos vivos en concentraciones variables de diferentes elementos, como, el hierro (Fe), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el zinc (Zn), el níquel (Ni) y el cobalto (Co), y son indispensables para el correcto funcionamiento de su metabolismo celular”;⁴⁷ por otro lado, existen otros elementos que no pertenecen al grupo de metales esenciales y son nocivos para el medio ambiente en concentraciones bajas, entre los que se encuentran principalmente el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) presentes en el los proceso de galvanizado por inmersión en caliente. Debido a que la etapa de galvanizado el 99% de la cuba es zinc, será el metal que más concentración presentará generando afectaciones en los procesos biológicos al momento de ser vertida en los efluentes, el plomo por otro lado se encuentra también en la cuba de galvanizado (tabla 11) siendo uno de los metales que mayor control se requiere. No existen datos que determinen el comportamiento de dichos metales en función del tiempo.

2.3.6 Balance Hídrico. Un balance hídrico es una herramienta que permite cuantificar los volúmenes de agua que entran en un proceso, la generación del agua residual que se produce con la finalidad de garantizar el óptimo funcionamiento del proceso y evitar desperdicios de este valioso recurso.

⁴⁷ FAJARDO VALDERRAMA, L.J. Remoción selectiva de metales pesados del agua residual proveniente del proceso de decapado. [en línea]. Bogotá D.C:2014. p.5. [Consultado 27, Noviembre, 2019]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/62.

2.3.6.1 Consumo de Agua. Para desarrollar adecuadamente el balance hídrico se determinó el volumen total requerido de agua para el óptimo funcionamiento de la planta de galvanizado, para un total de $16.8 \text{ m}^3/\text{mes}$ los cuales están distribuidos de la siguiente manera.

Figura 6. Balance Hídrico



Fuente: Elaboración propia

2.4 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS

Mediante la Matriz de Evaluación de Criterios se hace una evaluación del peso relativo de los criterios de selección para el proyecto. Se pondera porcentualmente la importancia que tiene cada criterio en desarrollo y en su conjunto, respecto de los otros criterios. En este caso se presenta otra escala de puntuación posible:

Mucho menos Importante = 0.1

Menos Importante = 0.2

Igualmente, Importante = 1

Mas Importante = 5

Mucho más Importante = 10

Se busca, con una mayor separación numérica entre los valores del puntaje, mejorar la diferenciación de los porcentuales que califican la importancia de los distintos criterios. Además, se evidencia que los valores correspondientes a “Mucho Menos” y “Menos”, están bien separados de “Igual que” y muy próximos entre sí con lo cual se reduce la ponderación del peso de todos los criterios de menor importancia; también, los valores correspondientes a criterios de “Mayor Importancia” también están separados de “Igual que” pero en forma progresiva de manera de discriminar el grado en que influyen los criterios de “mayor importancia”.⁴⁸

El detalle del concepto de puntuación aplicado tiene por objeto hacer notar que la escala de puntuación permite, según su organización que es elástica, lograr diferentes observaciones.

Los criterios por evaluar son:

- **Incidencia en los costos variables del proceso productivo:** Hace referencia a la cantidad de insumo requerido para el óptimo funcionamiento de la cuba.
- **Generación de residuos líquidos:** Basado en el volumen vertido al efluente.

⁴⁸ Universidad de Buenos Aires. Repositorio Institucional. [Sitio Web]. Bueno Aires. La entidad. [15, Febrero, 2020]. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6729/apuntes/GESTION%20DE%20PROYECTOS_MATRIZ%20DE%20DECISSION.pdf

- **Sistema de recirculación:** Si posee algún tipo de sistema que permita retornar nuevamente la solución evitando la disposición al efluente.
- **Almacenamiento:** Requerimiento de un almacenamiento especial dentro de la planta.
- **Periodo de eficiencia de la solución:** Tiempo de vida útil en el proceso.
- **Frecuencia de disposición a los vertederos:** Semanal, mensual, Bimestral o semestral.

Cuadro 8. Matriz de Evaluación de Criterios García Vega S.A.S

			Matriz de Evaluación de Criterios					
			Criterios Proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente García Vega S.A.S					
			Incidencia en los costos variables del proceso productivo	Generación de residuos líquidos	Sistema de recirculación	Almacenamiento	Periodo de eficiencia de la solución	Frecuencia de disposición a los vertederos
Cubas	A.	DESENGRASE	1	5	1	0.2	1	1
	B.	DECAPADO	5	10	5	10	1	1
	C.	ENJUAGUE	0.2	5	5	0,2	4	10
	D.	FLUXADO	1	5	1	1	1	1
	E.	ENFRIAMIENTO	0.2	5	5	0.2	1	5

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9. Ponderación Criterios de Evaluación García Vega

Criterios Proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente García Vega S.A.S								Total	Ponderado
A.	DESENGRASE	1	5	1	0,2	1	1	9.2	0.1
B.	DECAPADO	5	10	5	10	1	1	32	0.34782609
C.	ENJUAGUE	0.2	5	5	0.2	4	10	24.4	0.26521739
D.	FLUXADO	1	5	1	1	1	1	10	0.10869565
E.	ENFRIAMIENTO	0.2	5	5	0.2	1	5	16.4	0.17826087
Total Suma								92	1

Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Discusión de Resultados. Las cubas de desengrase y fluxado al presentar un sistema de recirculación por medio de una bomba filtro, permiten amentar los tiempos de eficiencia de la solución, su incidencia en los costos variables es

igualmente importante debido a que se deben realizar adiciones programadas para el óptimo funcionamiento de la solución, variables como: nivel, pH y la densidad son factores que se deben controlar periódicamente. Para estas etapas no se presentan vertimientos cerrando el ciclo de generación de residuos líquidos.

La cuba de decapado requiere que el 50% de la solución sea de ácido clorhídrico factor que influye en los costos variables de la etapa dándole una ponderación importante a este criterio. El volumen total de la cuba corresponde a 6m^3 , al ser una etapa destructiva y de gran volumen, mayor retención de contaminantes va a presentar y al no presentar un sistema de recirculación se considera el mayor generador de residuos líquidos, dándole la más alta en este criterio. Requiere un almacenamiento especial ya que no puede ser vertido al efluente sin un tratamiento previo ocupando áreas considerada dentro de la planta. Su periodo de eficiencia es prolongado y no se vierte al efluente pero es igualmente importante debido a que se debe hacer un control a la solución para evitar una disminución de la concentración a medida que se va procesando el material. Las cubas de enjuague y enfriamiento al contener agua de tercer nivel en su etapa, su incidencia en los costos variables no es representativa comparado con las demás cubas. En la etapa de enjuague se generan residuos líquidos de carácter ácido vertiendo 3m^3 con una frecuencia de disposición de aproximadamente 5 días siendo los criterios más importante a evaluar, no poseen un sistema de recirculación el cual es un factor crucial y no requiere de un almacenamiento especial. Para la fase de enfriamiento, la frecuencia de disposición es de 6 meses periodo en donde se van acumulando contaminantes aumentando la concentración de metales pesados como el zinc. Al ser el último proceso, presentara arrastres de contaminantes que no se pudieron precipitar en las cubas anteriores, además, no cuenta con un sistema de recirculación presentando notables volúmenes de residuos líquidos

Basándonos en las gráficas y análisis presentados anteriormente para cada una de las cubas, y teniendo en cuenta la matriz de evaluación con sus respectiva ponderación, se determinó que las etapas donde se presentan mayor generación de residuos líquidos, áreas consideradas de almacenamiento de sustancia, niveles de acidez bajos y disposición inadecuada hacia los vertederos son las cubas de decapado, enjuague y agua de enfriamiento. Dichas aguas serán analizadas para determinar el estado actual de las aguas de proceso.

2.5 MUESTREO

Para seleccionar el muestreo adecuado se presenta a continuación el criterio por el cual se tomaron las respectivas muestras de las cubas para ser caracterizadas

2.5.1 Muestreo Simple. “Es aquella que es tomada en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual”⁴⁹, deberá recogerse durante la jornada laboral y representa la composición del agua actual para el lugar, tiempo y características particulares en las que se realizó su recolección. Este tipo de muestreo se utiliza para determinar parámetros de calidad del agua.

2.5.2 Muestreo Compuesto. “Este tipo de muestreo es utilizado cuando la composición del agua varía significativamente a lo largo del tiempo representa una combinación de muestras simples tomadas en el mismo sitio, pero en diferentes tiempos, la mayor parte de las muestras compuestas a lo largo del tiempo sirven para determinar una concentración promedio”.⁵⁰ Se recolectan varias muestras en diferentes intervalos de tiempo de acuerdo con la frecuencia en donde se reflejen los cambios. Para obtenerla, el volumen de ser igual al caudal de descarga en el momento de la toma a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 1.
Volumen Total
Muestreo

$$Vi = \frac{V * Qi}{n} + Qp,$$

Dónde:

Vi= volumen de la alícuota
V= volumen total

Qi= Caudal instantáneo de cada muestra

Qp= Caudal promedio durante el muestreo

n= Numero de muestras tomadas

Fuente: INSTITUTO DE TOXICOLOGIA Y DEFENSA. Protocolo de Toma de Muestras de Agua Residual

Se debe utilizar este tipo de muestreo únicamente para determinar los componentes que no sufren alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra

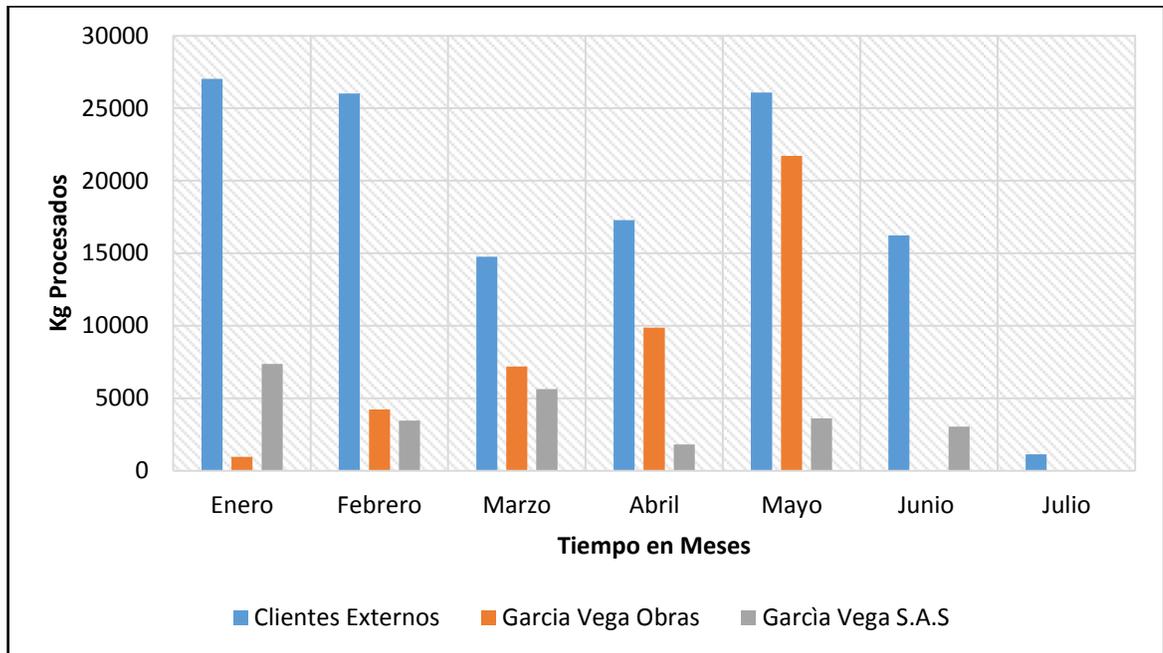
2.5.3 Factores que Afectan el Muestreo. Como se observa en la gráfica 8, la planta de galvanizado de García Vega S.A.S posee tres tipos de clientes a galvanizar, Los clientes externos, son todos aquellos que buscan galvanizar material para su proceso productivo de diferentes tamaños y dimensiones siendo ajenos a la compañía, García Vega Obras es una línea de producción de la compañía la cual ofrece soluciones en proyectos de construcción metálica, diseño estructural fabricación y montaje para la construcción de bodegas, fabricas, almacenes, centros comerciales, puentes y edificios los cuales requieran cualquier

⁴⁹ INSTITUTO DE TOXICOLOGIA Y DEFENSA. Protocolo de Toma de Muestras de Agua Residual. [En línea]. España: 2016. 3.p. [Consultado 28, febrero, 2020]. Disponible en: https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf

⁵⁰ Ibíd. 3.p

tipo de material en acero, por ende, deben ser galvanizados para cumplir con la normatividad. Por último, García vega S.A.S, es una línea de producción encargada de la fabricación y comercialización de andamios, escaleras doble peldaño, plataformas, diagonales, horizontales reforzadas, tubería estructural y vigas IPE, brindando soluciones de acceso para la construcción.

Grafica 8. Producción Primer Semestre 2019



Fuente: Elaboración Propia

Se observa que los clientes externos presentan el mayor volumen de kilogramos procesados en el semestre. Dicha variación de cliente afecta la eficiencia de las cubas y por ende, la concentración de metales pesados que precipitan en cada uno de los tanques; además, al no tener un volumen constante de material, el muestreo para cada uno de los meses varía de acuerdo con los kilogramos que procese. La capacidad de la planta de galvanizado es de 30 000 kg/mes de material.

2.5.4 Discusión de Resultados. Se seleccionó el muestreo simple como la mejor alternativa para el muestreo de las aguas residuales procedentes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S bajo las siguientes premisas:

- La muestra de la cuba de decapado es un ácido exhausto que se encuentra almacenado en un isotanque por lo tanto no va a presentar alteraciones de concentración debido a que ya quedó inoperativo.
- En la cuba de enjuague a pesar de sufrir alteraciones en la composición a media que pasa el tiempo, no se presentaron variaciones significativas durante el periodo de análisis por lo tanto se trató como una muestra simple.
- En la cuba de enfriamiento al no poseer datos de su estado actual se determinó como una muestra simple cuya definición satisface el objetivo del muestreo en esta etapa “determinar los parámetros actuales de calidad de agua”.

2.6 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se realiza la toma de muestras de las respectivas etapas de proceso y se conservaron bajo el “Instructivo para la Toma de Muestras de Aguas Residuales el cual presenta un instructivo para el muestreo de aguas residuales provenientes de efluentes fluentes industriales, plantas de tratamiento, alcantarillados, entre otras”⁵¹.

2.6.1 Caracterización Cuba Decapado. A continuación, se presenta los análisis de resultados para la cuba de decapado realizado por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM - UIS , correspondiente a la Muestra 1 (Anexo A).

⁵¹ INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Toma de Muestras de Aguas Residuales. [En línea]. Bogotá: 2007. Versión: 03. [Consultado 17, febrero, 2020]. 1-17p. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

Tabla 16. Análisis de Resultados Cuba Decapado

ANALISIS DE RESULTADOS					
DECAPADO					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
pH	S.M 4500 - H+ B	Unid. pH	0.47	6.00 a 9.00	No cumple
Cobre (Cu)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Cu	1.38	1.00	No cumple
Hierro (Fe)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Fe	110 850	3.00	No cumple
Niquel (Ni)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Ni	87.36	0.50	No cumple

Fuente: Elaboración Propia Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander.

2.6.2 Caracterización Cuba Enjuague. A continuación, se presenta los análisis de resultados para la cuba de enjuague realizado por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM - UIS, correspondiente a la Muestra 2.

Tabla 17. Análisis de Resultados Cuba Enjuague

ANALISIS DE RESULTADOS					
ENJUAGUE					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
pH	S.M 4500 - H+ B	Unid. pH	1.86	6.00 a 9.00	No cumple
Hierro (Fe)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Fe	4 425	3.00	No cumple

Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander.

2.6.3 Caracterización Cuba Enfriamiento. A continuación, se presenta los análisis de resultados para la cuba de enfriamiento realizado por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM - UIS, correspondiente a la Muestra 3.

Tabla 18. Análisis de Resultados Cuba Enfriamiento

ANÁLISIS DE RESULTADOS					
AGUA DE ENFRIAMIENTO					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
pH	S.M 4500 - H+ B	Unid. pH	5.29	6.00 a 9.00	No cumple
Zinc (Zn)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Zn	156.08	3.00	No cumple
Plomo (Pb)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Ni	<0.1	0.20	cumple

Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander.

2.6.4 Discusión de Resultados. Las tablas 16 17 y 18 muestran los resultados del estado actual de las aguas residuales en García Vega S.A.S, las cuales, en su mayoría, incumplen con la normatividad estipulada para el tratamiento y revestimiento de metales pesados resolución 0631 del 2015 de la Republica de Colombia. Teniendo en cuenta estos análisis, se buscarán alternativas que permitan disminuir la concentración de metales pesados en las cubas y mantener un rango de acidez adecuado.

3. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y MEJORAMIENTO EN EL PROCESO PRODUCTIVO

3.1 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

La selección adecuada para la de prevención de la contaminación, dentro del ámbito de la gestión de residuos en una empresa, se pueden priorizar según el rango de facilidad de su implementación y sus costos. Se asigna la más alta prioridad al control y prevención de la contaminación a través de las buenas prácticas, la reducción en origen, y el reciclaje. “Las buenas prácticas, la prevención o reducción en origen y el reciclaje en la fuente disminuyen o eliminan la necesidad de reciclaje fuera de la planta o el tratamiento, en parte, de los residuos y su posterior disposición. La reducción de residuos es siempre más barata que su recolección, tratamiento y disposición”⁵². La siguiente tabla corresponde a las alternativas presentes para el control y prevención de la contaminación en la industria de galvanizado.

Tabla 19. Jerarquía de Opciones de Gestión Ambiental

JERARQUIA DE OPCIONES DE GESTIÓN AMBIENTAL	OPCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA OPCION
REDUCCIÓN EN ORIGEN	Buenas practicas	Desarrollo de políticas del personal: <ul style="list-style-type: none"> • Capacitación y entrenamiento del personal. • Uso de incentivos al personal. Desarrollo de manuales y procedimientos: <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de documentación adecuados. • Optimización de operaciones de manejo, almacenamiento de materias primas y control de inventario. • Programación de la producción. • Mantenimiento preventivo de equipos

⁵² COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – REGIÓN METROPOLITANA. Control y Prevención de La Contaminación Industrial Galvanoplastia. [Sitio Web]. Santiago de Chile: 2000. La entidad [17, Diciembre, 2020]. 1-53 p. Disponible en: <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/control-y-prevencion-de-riesgos-en-galvanoplastia.pdf>

Tabla 19 (Continuación)

		Prolongamiento de la vida del baño: <ul style="list-style-type: none"> • Filtración continua • Monitoreo de baños
REDUCCIÓN EN ORIGEN	Mejoramiento de procesos	Mejoramiento del manejo en el consumo de agua y sustancias químicas: <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de lavado o enjuague en contracorriente o cascada. <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de baño de economía. <ul style="list-style-type: none"> • Implementar criterio de enjuague. • Implementar sistemas de cierre y apertura de válvulas. • Implementar sustancias químicas con menor carga contaminante. <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar escurrimiento de piezas.
RECICLAJE		Aguas de lavado y aguas de baños agotados
PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO		Precipitación química o tecnologías alternativas
DISPOSICIÓN FINAL Y DESTRUCCIÓN		Disposición en vertederos especiales

Fuente: Elaboración propia basada en: COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – REGIÓN METROPOLITANA. Control y Prevención de La Contaminación Industrial Galvanoplastia. [Sitio Web]. Santiago de Chile: 2000.

Los beneficios que pueden traer la implementación de las buenas prácticas en el sector de galvanizado son:

- **Reducción de costos operacionales:** ahorro en los costos fijos y variables entre los cuales se contemplan: ahorro de energía, materia prima y mano de obra.
- **Reducción de costos de transporte y disposición de residuos:** Reducción del volumen de residuos generados en el proceso
- **Reducción de la responsabilidad ambiental a largo plazo:** Disminución de la carga residual genera por el proceso al momento de ser dispuesta en los vertimientos.
- **Seguridad Laboral:** mayor seguridad en el trabajo al disminuir el potencial de exposición a los residuos peligrosos. Se verá reflejado en: reducción en accidentes laborales, incapacidades médicas y un aumento en la productividad.

3.1.1 Reducción en Origen. Según el diccionario medio ambiental, se define como: El diseño, fabricación, adquisición y reutilización de materiales para minimizar la cantidad o toxicidad de los residuos generados. Para poder disminuir

la carga contaminante antes de que llegue al final del tubo, se debe tener en cuenta los siguientes criterios.

3.1.1.1 Buenas prácticas. La implementación de buenas prácticas de gestión de operaciones dentro de García Vega S.A.S para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, se basa en la práctica de una serie de procedimientos o guías organizacionales, cuya finalidad es mejorar el proceso productivo y promover la participación del personal en actividades para lograr la reducción de los residuos. Dentro de las políticas que se maneja al interior de la empresa están:

3.1.1.2 Gestión de proveedores. El proveedor principal de insumos químicos en el proceso de galvanizado es Química del Campo (QDC), el cual, ofrece una línea de productos para el sector de galvanizado cumpliendo con los estándares de más alta calidad, dichos insumos son importados hacia la planta en donde se verifica los certificados de calidad del producto y las especificaciones técnicas de la misma, de no ser así, se procede a la devolución de este.

3.1.1.3 Almacenamiento. Dentro de la planta, el manejo del inventario se realiza de acuerdo con los tiempos que dure la sustancia en llegar, no se mantiene el stock mínimo de materiales para el desarrollo del proceso productivo lo cual genera costos adicionales en el proceso. El control del inventario suele tener complicaciones debido a que la empresa es aliado certificado del proveedor, por ende, se maneja una línea de ventas de estos productos para otras empresas del mismo sector. Lo anterior, puede ser contraproducente ya que puede generar sobre almacenamiento de insumos perdiendo la finalidad del proceso.

3.1.1.4 Política. Se capacita al personal periódicamente, específicamente en el ámbito de trabajo en equipo y manejo de los equipos de protección personal (EPP), también, jornadas de prevención de accidentes laborales y diariamente realizan pausas activas debido a la alta carga de fuerza que emplean en la jornada de trabajo los colaboradores de la planta.

3.1.1.5 Operación. Se realiza monitoreo continuo a las cubas del proceso mediante el sistema de gestión de calidad propio de la empresa. El secado del material dentro de la zona húmeda al momento de emerger de las soluciones debe ser revisado para evitar contaminantes externos dentro de las etapas de decapado, enjuague y fluxado.

3.2 MEJORAMIENTO DE PROCESOS

“La reducción en origen implica, dentro de otros aspectos, cambios en proceso: sustitución de materias primas e insumos contaminantes; cambios tecnológicos, introducción de tecnologías limpias; mejoramiento de las prácticas de operación; y cambios en productos: diseño con menor impacto ambiental, incremento de la vida

útil del producto”⁵³. Una de las alternativas que se utilizó para disminuir la generación de residuos en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S fue la sustitución de materias primas e insumos contaminantes.

Bycsa S.A una empresa con más de 40 años en el sector químico, el cual desarrolla una serie de productos ecoeficientes para satisfacer las necesidades y expectativas de clientes, han podido desarrollar una línea especial para el sector galvánico que permite eliminar o reemplazar etapas del proceso productivo, aumento de la vida útil de los productos y tratamiento eficiente de los residuos generados.

La división de galvanizado en caliente cuenta con una serie de productos químicos para las etapas de desengrase, decapado y fluxado con las siguientes características:

- **Cleaner FA:** Desengrasante de tipo ácido especialmente elaborado para el tratamiento de piezas en el proceso de galvanizado en caliente.
- **Kleanex Dec:** Producto ácido para el decapado de metales ferrosos con calaminas, óxidos e incrustaciones severas, eliminándolas rápidamente sin atacar el metal base teniendo además un limitado poder desengrasante.
- **Flux Hm y Flux Byc Zn-5:** Productos que contiene tensoactivos cuyas propiedades y carga iónica le permiten gran sinergia con el fluxado, el flux byc zn-5 es una sal de cloruro de zinc con otros aditivos que permiten mejorar las propiedades fisicoquímicas del material.

Los productos anteriormente mencionados poseen características similares a los productos utilizados actualmente, sin embargo, el producto que distingue es el Kleaner Dec., dicho ácido, cuyo componente principal es una solución acuosa de ácidos orgánicos tensoactivos y humectantes, son menos nocivos para el ambiente y no requiere de inhibidores debido a su carácter orgánico.

La tabla 20 muestra las características del ácido clorhídrico que se utiliza actualmente en el proceso de galvanizado y el Kleaner Dec como una alternativa para el mejoramiento del proceso; entre los cuales se resaltan: la preparación de la solución, el contenido de hierro máximo permisible, sustancia controlada y inhibidores.

⁵³ Ibíd., p.19

Tabla 20. Características del Ácido Clorhídrico y Kleaner Dec

Propiedades	Ácido Clorhídrico (HCL)	Kleanex Dec
pH	0-1	<2
Densidad (g/ml)	1.15	1.10-1.18
Aspecto	Líquido verde oscuro	Líquido verde claro En su formulación se incorporan tensoactivo para controlar los vapores que se producen con la reacción el metal, en el momento de la eliminación de los óxidos
Volatilidad	A temperatura ambiente	
Preparación	(13-15)%p	Listo uso, 50% V/V, 25% V/V
Temperatura de trabajo (°C)	20-25 (>25 se requiere extracción de aire)	20-25 (requiere extracción de aire)
Contenido de Fe máximo permisible en g/l Fe ⁺²	90-160	75
Ataque al metal	Bajo	Bajo
Escala del ataque	Fuerte, disuelve todos los tres óxidos de hierro	Fuerte, disuelve todos los tres óxidos de hierro
Sustancia controlada	Es considerado un químico controlado	No se considera un químico controlado
Solubilidad de sales de hierro	Alta	Alta
Formación de lodos	Medio	Medio
Velocidad de decapado	Alto	Depende de la preparación
Inhibidores	Requiere inhibidores para disminuir el ataque químico e hidrogenación sobre todos los metales especialmente el Hierro, sin reducir el efecto desoxidante	No requiere Inhibidores

Fuente: Elaboración propia basada en: MAAß, Peter; PEISSKER, Peter. Handbook of hot-dip galvanization. 1. Ed.

Como se observa en la tabla anterior, el Kleanex Dec posee características similares que el ácido clorhídrico en lo que corresponde a la escala de ataque, ataque al metal y la solubilidad de sales de hierro los cuales son aspectos importantes en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente. Cabe resaltar que el Kleanex Dec no es un químico controlado haciéndolo más atractivo para el proceso, por lo tanto, no requiere certificados de carencia, autorizaciones y control de movimientos dentro de la plataforma SICOQ eliminado los trámites legales, dentro de su formulación incorpora tensoactivos que sirven como inhibidores lo que implica una solución única dentro de la cuba de decapado disminuyendo los costos de operación.

3.2.1 Montaje Piezas y Cubas a Nivel Laboratorio. Para evidenciar las características del Klenaex Deck y su efecto decapante dentro del proceso de galvanizado por inmersión en caliente, se desarrolló a nivel laboratorio cuatro cubas con el propósito de simular las etapas de desengrase, decapado, enjuague y fluxado pertenecientes a la zona húmeda, también se diseñó un puente grúas para pasar las piezas de una cuba a otra realizando el proceso lo más similar posible. Las cubas fueron diseñadas en vidrio a una escala de 1:0.23 bajo las siguientes características. Las dimensiones de trabajo corresponden al volumen que va a ocupar la solución dentro de la cuba a nivel laboratorio.

3.2.1.1 Montaje Cubas Desengrase y Decapado. Las dimensiones de trabajo de la cuba de desengrase y decapado e la planta de galvanizado por inmersión en caliente En García Vega S.A.S son: 6,5m L x 1,30 h x 0,6m w, a partir de la siguiente ecuación se logró obtener las dimensiones de la cuba a nivel laboratorio:

Ecuación 2. Escala de un Objeto

$$E = \frac{\text{Medida de la cuba piloto}}{\text{Medida real de la cuba}}$$

Fuente:

<https://www.aulafacil.com/cursos/matematicas/geometria/escalas-y-formulas-de-las-escalas-l11171>

$$\begin{aligned} \bullet \frac{1\text{cm}}{0,23\text{m}} &= \frac{l}{6,5\text{m}} & l &= \frac{6,5\text{m} \cdot 1\text{cm}}{0,23\text{m}} & l &= 28.26\text{cm} \sim 28\text{cm} \\ \bullet \frac{1\text{cm}}{0,23\text{m}} &= \frac{h}{1,30\text{m}} & h &= \frac{1,30\text{m} \cdot 1\text{cm}}{0,23\text{m}} & h &= 5.65\text{cm} \sim 6\text{cm} \\ \bullet \frac{1\text{cm}}{0,23\text{m}} &= \frac{w}{0,6\text{m}} & w &= \frac{0,6\text{m} \cdot 1\text{cm}}{0,23\text{m}} & w &= 2.60\text{cm} \sim 3\text{cm} \end{aligned}$$

Dimensiones Cubas

$$29\text{cm } l \times 6\text{cm } h \times 4.0\text{cm } w$$

Dimensiones de trabajo

$$28\text{cm } l \times 5.0\text{cm } h \times 3.0\text{cm } w$$

3.2.1.2 Montaje Cubas Enjuague, Fluxado y Enfriamiento. Las dimensiones de trabajo de la cuba de fluxado y enfriamiento en la planta de galvanizado por inmersión en caliente En García Vega S.A.S son: 6,5m l x 0,6m h x 0,6m w, se obtuvieron los siguientes resultados.

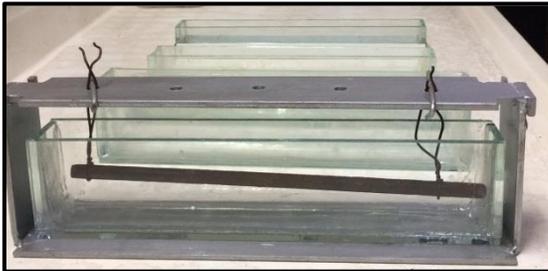
Dimensiones Cubas

$$29\text{cm } l \times 3\text{cm } h \times 4.0\text{cm } w$$

Dimensiones de trabajo

$$28\text{cm } l \times 2.5\text{cm } h \times 3.0\text{cm } w$$

Ilustración 24. Montaje Proceso de Galvanizado a Nivel Laboratorio.



Fuente: Elaboración propia

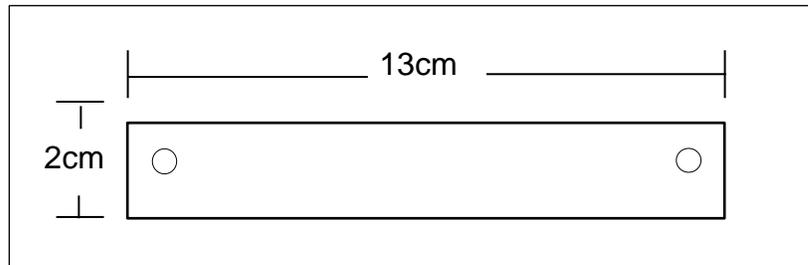
Ilustración 23. Montaje Cubas Zona Húmeda.



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 Montaje Piezas. Desarrollado el montaje del proceso productivo a nivel laboratorio, se procedió a buscar piezas que permitieran simular la zona húmeda del proceso de galvanizado en García Vega S.A.S. Se cortaron platinas de hierro con las siguientes dimensiones:

Figura 7. Montaje Piezas Nivel Laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Dichas platinas fueron tomadas y cortadas por los colaboradores de la planta las cuales no eran aptas para ser galvanizadas ya que presentan las siguientes características: pinturas, calamina, asperezas, grasas y líneas de óxido. Posteriormente, se abrieron dos orificios en los extremos superior derecho e izquierdo permitiendo el paso de una cuba a otra de manera similar al proceso; por último, se colgó el material al puente grúas por medio de un alambre de cobre como se observa en la ilustración 26. Teniendo el montaje listo, se procedió a preparar las soluciones de acuerdo con las especificaciones técnicas dadas por el proveedor, quedando de la siguiente manera.

Cuba Desengrase:

- Insumo: Cleaner FA
- Preparación: se prepara al 20% V/V en la cuba piloto.
- Volumen del producto: 84ml
- Volumen de agua: 336ml
- Volumen total: 420ml

Cuba Decapado:

- Insumo: Kleanex Dec
- Preparación: se prepara al 25% V/V en la cuba piloto.
- Volumen del producto: 105ml
- Volumen de agua: 315ml
- Volumen total: 420ml

Cuba Fluxado:

- Insumo: Sales Flux (Cloruro de zinc, Cloruro de amonio)
- Preparación: se prepara a una concentración de 6 00g/L o 32°Be
- Volumen total: 210ml

El criterio de selección de las platinas es basado en las condiciones iniciales en la que se recibe cierto material procedente de los clientes externos, los cuales, no cumplen con las especificaciones (sección 1.4.2), y sin embargo, son sometidos al galvanizado en caliente

Ilustración 26. Piezas Colgadas en El Montaje a Nivel Laboratorio.



Fuente. Elaboración propia

Ilustración 25. Piezas que No Cumplen con Las Especificaciones.



Fuente. Elaboración propia

El objetivo principal de la prueba es determinar la eficiencia del producto Kleanex Dec en la etapa de decapado cuando se trabaja en condiciones extremas, estas piezas, no son aptas para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, las cuales afectan el rendimiento de la solución; por otro lado, cuantificar la saturación del tanque mediante análisis fisicoquímicos y visualizar el comportamiento de las demás cubas a lo largo del tiempo. Las pruebas se realizan por un periodo de quince días, el peso de cada pieza es de 92g aproximadamente y las variables que se tuvieron en cuenta fueron: pH, nivel (cm) tiempo de inmersión y kilogramos

procesados. Dichas variables fueron medidas al iniciar y finalizar la jornada de trabajo.

3.3 PRUEBA REDUCCIÓN EN ORIGEN

Se describe a continuación las condiciones iniciales de operación en cada una de las cubas a nivel laboratorio.

Cuadro 10. Condiciones Iniciales de Operación Cubas a Nivel Laboratorio

Etapa	Condiciones iniciales de Operación
Desengrase (Cleaner FA)	<ul style="list-style-type: none"> • pH: 0.3 • Nivel (cm): 5 • Puntuación acida: 12 • t (min): 20
Decapado (Kleanex Dec)	<ul style="list-style-type: none"> • pH: <.,1 • Nivel (cm): 5 • Puntuación acida: 23 • t (min): 20
Enjuague	<ul style="list-style-type: none"> • pH: 7.9 • Nivel (cm): 2.5

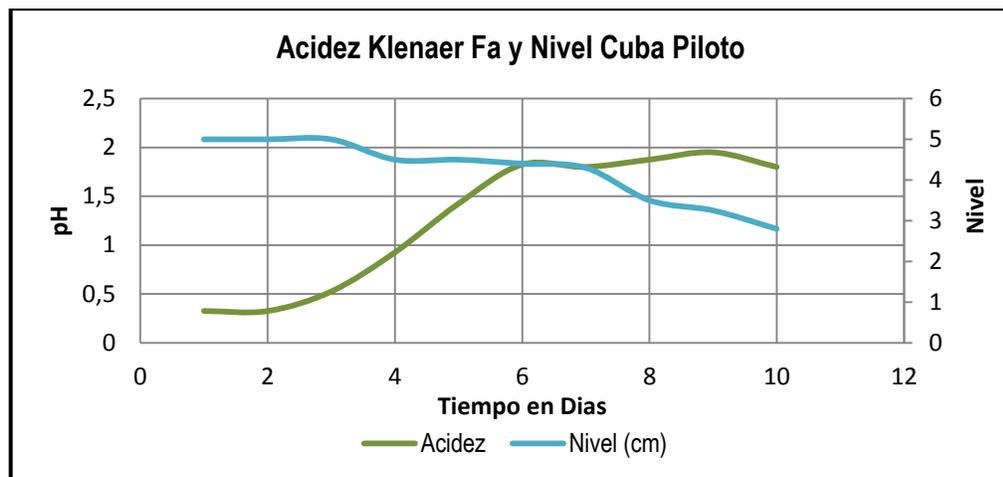
Fuente: Elaboración propia

Teniendo las condiciones iniciales de cada una de las cubas se procedió a simular el proceso de la zona húmeda a nivel laboratorio.

Como se observa en el cuadro anterior, una de las variables que se tuvo en cuenta en la prueba fue el tiempo de inmersión, si comparamos dichos valores con los observados en las tablas 7 y 8 en las etapas de desengrase y decapado, el tiempo de inmersión en la cuba es el doble que en el proceso actual. Uno de los factores que influye para determinar el tiempo de inmersión en estas dos etapas fue la concentración a la que se realizó la prueba, la cuales, corresponden a concentraciones mínimas de trabajo con el propósito de observar la eficiencia del producto, además, al inspeccionar las piezas previamente sometidas a las etapas acidas, se observa que las piezas no estaban aptas bajo el criterio de un inspector de calidad. Con un tiempo aproximado de veinte minutos se logró obtener piezas correctamente decapadas que permitiesen ser galvanizadas. Determinados los tiempos de inmersión en las etapas de desengrase y decapado, se procede a realizar el debido seguimiento a cada una de las cubas presentando el siguiente comportamiento.

3.3.1 Cuba de Desengrase a Nivel Laboratorio. En la etapa de desengrase, se evidencia que el producto Cleaner FA actúa como un pre decapante, las cubas al ser de vidrio permiten ver la acción del producto eliminando grasas y aceites presentes en el material, pérdida de pintura cuyas capas precipitaban al fondo del tanque y de fácil manejo. Se presenta a continuación el comportamiento de la acidez y el nivel a lo largo de la prueba. La tendencia a aumentar la acidez y disminuir el nivel en la cuba es similar al de la gráfica 1. (acidez y nivel cuba desengrase); se puede inferir que las pérdidas en nivel en esta etapa son considerables ya que al término de 10 días la cuba había perdido el 56% de agua presente en la cuba, el restante, era principalmente Cleanaer FA que por diferencia de densidades permanecía en la cuba.

Grafica 9. Acidez Cleaner Fa y Nivel Cuba de Desengrase Piloto.



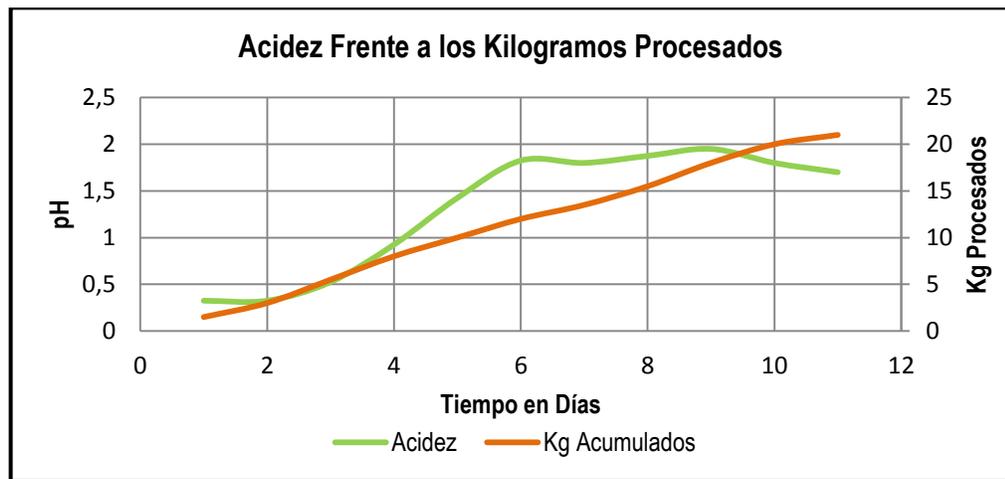
Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica anterior que la acidez culmina a los once días con un valor de pH=1.7 inferior al anterior pH=1.8, esto se debe a que el producto tiende a regenerarse al precipitar todas las grasas y aceites al fondo del tanque ayudando a mantener la acidez dentro de los límites permitidos, al tener este comportamiento, se evidenció un cambio de estructura en la solución como consecuencia de la acumulación de contaminantes, presentando una apariencia viscosa, esto ocurrió cuando se procesaron alrededor de 20 kilogramos de material con alta carga contaminante evidenciado en la gráfica 9. Esta situación se presenta debido a que no se cuenta con un sistema de filtración adecuado en la cuba piloto, la cual, pudiese eliminar todas las grasas y aceites presentes con el propósito de prolongar su vida útil, lo que conlleva a cambiar la solución.

Esta cuba, al ser la primera etapa de proceso, presenta la mayor retención de contaminantes, por lo tanto, un sistema de filtración adecuado es de vital

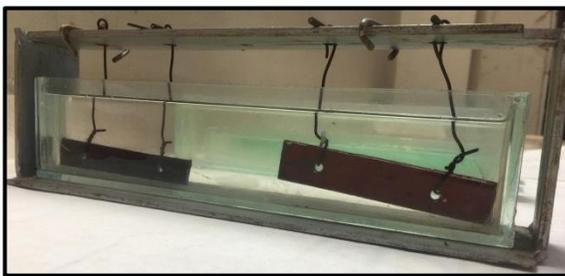
importancia ya que aumenta la eficiencia de la cuba, regenera el producto, lo que conlleva a una disminución de costos. El control del nivel en la cuba y los análisis fisicoquímicos, deben ser monitoreados periódicamente para observar el comportamiento del producto, logrando así, determinar la saturación del tanque y las adiciones de este. La ilustración 28 muestra de izquierda a derecha una solución nueva (1) del producto Cleaner FA de la empresa Bycsa al 20%V/V y una solución con acumulación de grasas y aceites (2).

Grafica 10. Acidez Frente a Los Kilogramos Procesados Cuba Desengrase Piloto.



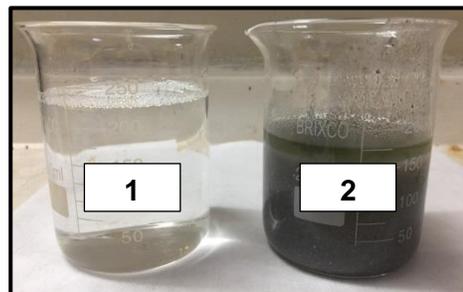
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27. Piezas Sumergidas en La Cuba de Desengrase Piloto.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28. Solución Kleanex Fa Nueva / Agotada.



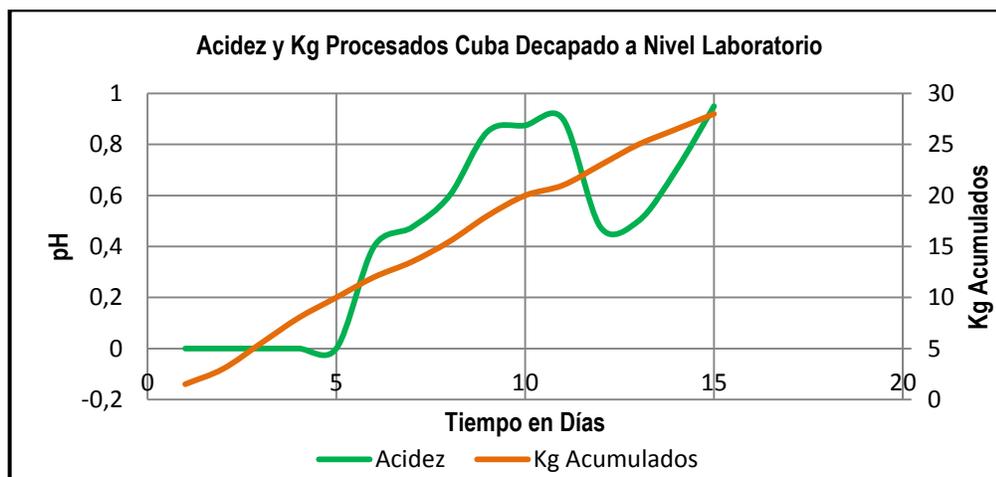
Fuente: Elaboración propia

Una vez el material es sometido por un tiempo de 20 minutos, se deja secar encima de la cuba y se procede a ingresar en la cuba de decapado.

3.3.2 Cuba de Decapado a Nivel Laboratorio. En la etapa de decapado se observa que los óxidos y gran parte de pintura y agentes contaminantes que presenta el material en menor proporción son precipitados al fondo del tanque, la

acidez no cambia significativamente a lo largo del tiempo como se evidencia en la gráfica, el nivel permanece estable durante un periodo de 6 días lo cual es indicativo del óptimo funcionamiento del Kleanex Dec en la cuba.

Grafica 11. Acidez y Kg Procesados Cuba Decapado a Nivel Laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Un punto importante en el comportamiento de la acidez en la cuba de decapado se presenta al doceavo día con un $\text{pH}=0,4$, dicho valor se debe a que se cambia la solución del Cleaner FA por una solución nueva, esto quiere decir que el efecto además de lo mencionado anteriormente es como agente regulador en la siguiente etapa. El arrastre de la solución en la cuba de decapado, mantiene el pH en niveles óptimos durante los siguientes días logrando procesar más de 28kg de material sin cambiar la solución. Se espera que el ácido orgánico comenzara a perder su eficiencia luego de procesar gran cantidad de material, para ello, se realiza un análisis volumétrico que permita determinar la puntuación acida de la solución; inicialmente la puntuación acida es de 23cc, para el séptimo día, la puntuación acida es de 22cc permaneciendo dentro de las especificaciones dadas por la ficha técnica y para el día quince, la puntuación acida de la solución es de 16cc. La prueba culmino cuando la puntuación acida estuviese por fuera de los límites permitidos y se tuviese que adicionar producto; evidenciada en la última puntuación acida. Dicho proceso, se realiza completando el nivel de la cuba con agua de tercer nivel, tomando una alícuota de 10ml. A continuación, se presenta el análisis volumétrico para la determinación de la acidez del producto Kleanex Dec de Bycsa.

3.3.2.1 Determinación de Acidez. A continuación se presenta el análisis volumétrico para determinar la acidez en la etapa de decapado

- Tomar 10 cc de muestra y llevarlos a un Erlenmeyer de 250 cc.
- Adicionar 4 a 6 gotas de Fenolftaleína al 1%.

- Titular con SODA CAUSTICA 1.0 N hasta punto final rosa.
Puntuación acida = cc de soda caustica al 1N

La puntuación acida para diferentes preparaciones es:

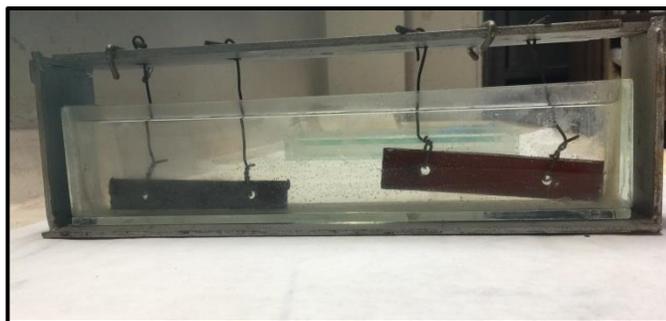
Tabla 21. Puntuación Acida para Diferentes Preparaciones

Preparación	Puntuación
Listo Uso	80 – 90 cc
50% V/V	40 – 50 cc
25% V/V	20 – 30 cc

Fuente: Ficha Técnica BYCSA. (Anexo M.)

Al someter al producto a las condiciones más inapropiadas a las cuales puede llegar el material y con la concentración mínima permitida, el Kleanex Dec se mantuvo con un porcentaje de acidez permisible sin perder su acción decapante, no se presentan deformaciones o alteraciones en las piezas al mantener el material sumergido en el ácido por un periodo considerable; su vida útil puede ser prolongada si se mantiene un correcto mantenimiento generando una reducción de costos considerables. El efecto que tiene la combinación del Cleaner Fa y el Kleanex Deck en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, es que, manteniendo la primera en óptimas condiciones, la cuba de decapado presenta mejores rendimientos en cuanto a la velocidad de decapado y escala de ataque durante el periodo de prueba. Se evidencia que el ácido orgánico Kleanex Dec no presenta pérdidas de nivel considerables y no presenta cambios de aspecto, además, al ser un producto ecoeficiente, no presenta emanación de vapores y su manejo en cuanto a preparación y análisis, es menos nocivo si lo comparamos con el ácido clorhídrico.

Ilustración 29. Piezas Sumergidas Cuba
Decapado a Nivel Laboratorio

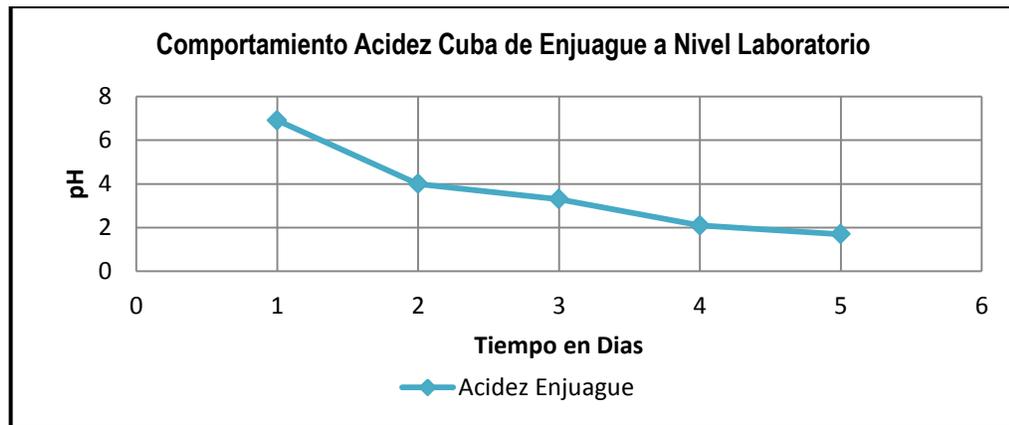


Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 Cuba de Enjuague Nivel a Nivel Laboratorio. Gran parte del agua de enjuague se pierde por evaporación, por lo que esta etapa logro alcanzar niveles

de operatividad del 50% en un periodo inferior a 5 días. Las adiciones, se realizan diariamente para mantener el nivel estable y poder eliminar el ácido presente en el material, con el propósito de mantener la cuba de fluxado en condiciones óptimas. La grafica presenta un comportamiento similar a la gráfica 6 (correspondiente a la cuba de enjuague) presentando valores de pH=1.9 debido a la cantidad de material procesado y el tiempo que se sumergen en esta. Esta cuba opera como una cuba de tipo flash por lo tanto el paso de las piezas es inferior a un minuto.

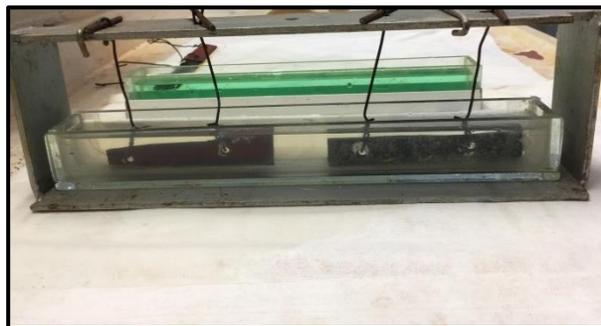
Grafica 12. Comportamiento Acidez Cuba de Enjuague a Nivel Laboratorio.



Fuente: Elaboración Propia

Un buen control de la acidez en esta etapa permite mantener el fluxado en óptimas condiciones, por lo tanto, realizar adiciones diarias, evita llegar a niveles de acidez no aptos para de disposición manteniendo la operatividad de la cuba en porcentajes superiores al 95%. Esto debe ser considerado si se presenta niveles de producción considerables.

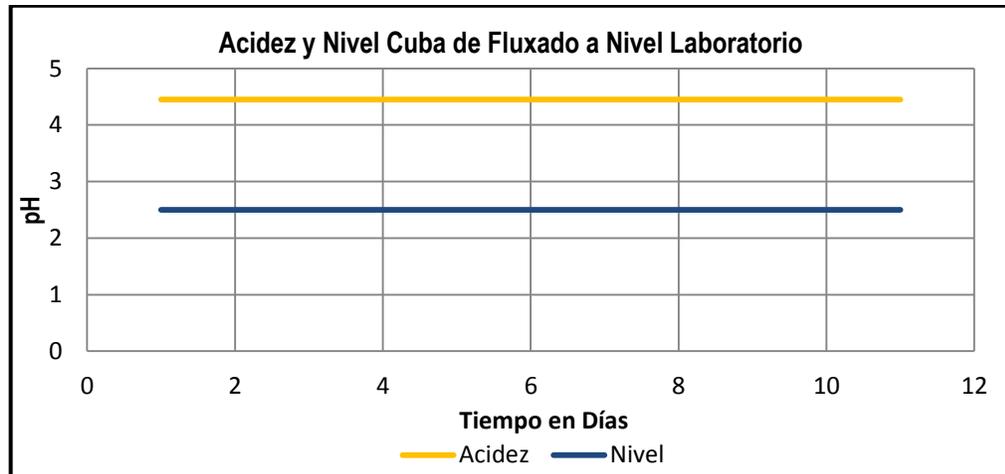
Ilustración 30. Piezas Sumergidas
Cuba de Enjuague a Nivel Laboratorio



Fuente: Elaboración Propia

3.3.4 Cuba de Fluxado Nivel a Nivel Laboratorio. Esta etapa no presenta variaciones de nivel y acidez durante el periodo de prueba, no se efectúa el cambio de solución ni se presentan cambios en la solución, se evidencia que al momento de secar el material luego de ser sometidas a la solución flux, les proporcionaba un acabado brillante dándoles un aspecto visualmente más atractivo, producida por las sales presentes en la cuba.

Grafica 13. Acidez y Nivel Cuba de Fluxado a Nivel Laboratorio.



Fuente: Elaboración propia

El buen manejo que se lleva actualmente en la cuba de enjuague en la planta de galvanizado en García Vega S.A.S permite mantener en óptimas condiciones la cuba de fluxado, siendo una estrategia eficiente que permite prolongar la vida útil de la solución evitando disposición.

Ilustración 31. Piezas Sumergidas Cuba de Fluxado a Nivel Laboratorio



Fuente: Elaboración propia

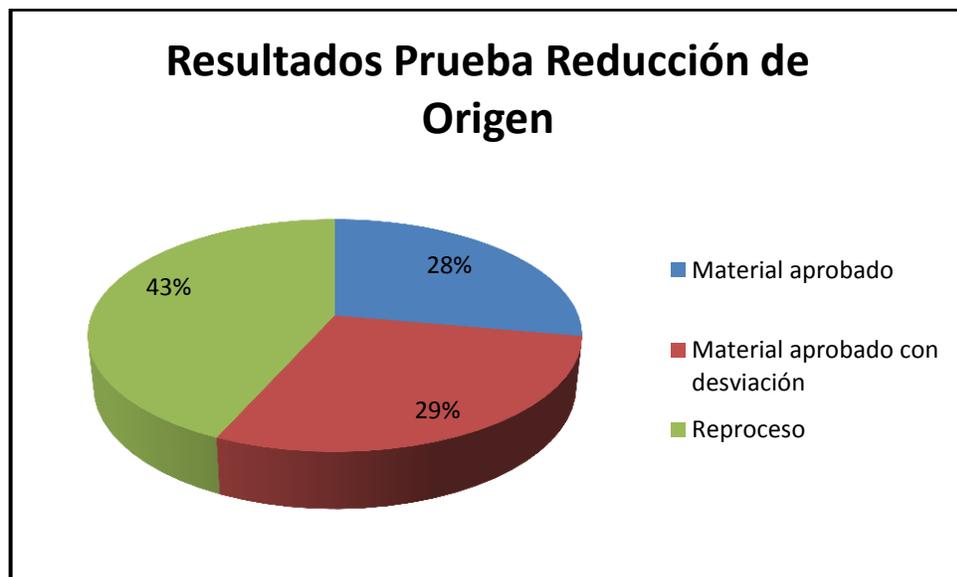
Culminada la etapa de fluxado el material es secado por aireación y es descolgado del puente grúas.

3.3.5 Inspección. Para determinar la acción decapante del Kleanex Dec en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, un inspector de calidad es el encargado de revisar detalladamente cada pieza que paso por el proceso. Una vez el material es descolgado del puente grúas a nivel laboratorio, selecciona las piezas que fueron debidamente decapadas y desengrasadas clasificándolas a partir de los siguientes aspectos:

- Las piezas que bajo el criterio del inspector de calidad están debidamente desengrasadas y decapadas y que pueden ser galvanizadas se le denomina “Material aprobado”.
- Las piezas que al revisarlas visualmente por el inspector contenían trazas de pintura y que con la ayuda de un agente externo (en este caso una lija) pueden ser galvanizadas, se les denomino “Material aprobado con desviación”.
- Las piezas que no están desengrasadas ni decapadas y que no son aptas para ser galvanizadas se les denomino “reproceso”.

El siguiente grafico de torta presenta los resultados obtenidos al finalizar la prueba:

Grafica 14. Resultados Prueba Reducción de Origen



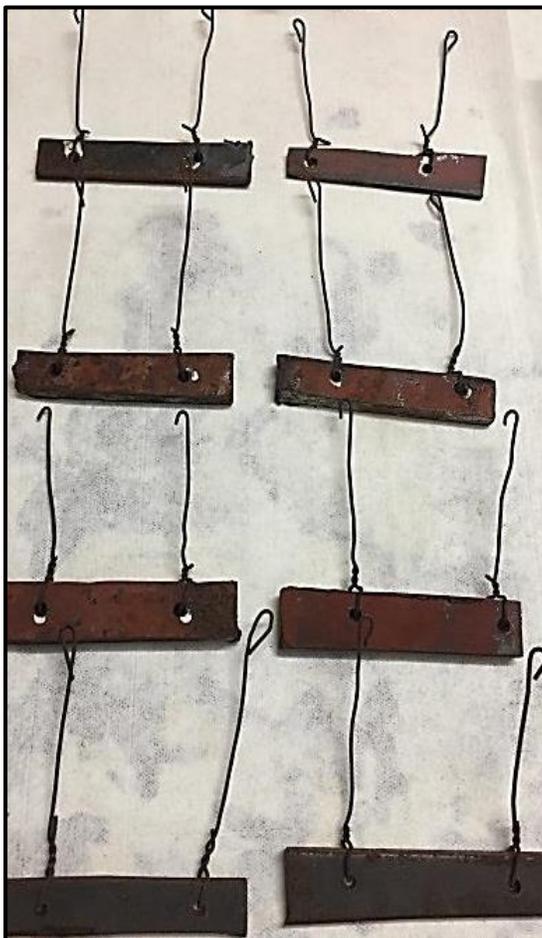
Fuente: Elaboración propia

Se puede resaltar que el 57% del material procesado durante la prueba fue apto para ser galvanizado. A pesar de contener pintura, calamina y óxidos, la acción del

Kleanex Dec permite eliminar todo tipo de impureza en la pieza con una concentración del 25%V/V. El 43% restante, son piezas que no cumplieron con los estándares de calidad, sin embargo, estos porcentajes pueden mejorarse si se aumenta la concentración de la solución, el efecto, aumento en los porcentajes de material aprobado, tiempos inferiores de decapado y se elimina el agente externo aumentando la eficiencia de decapado.

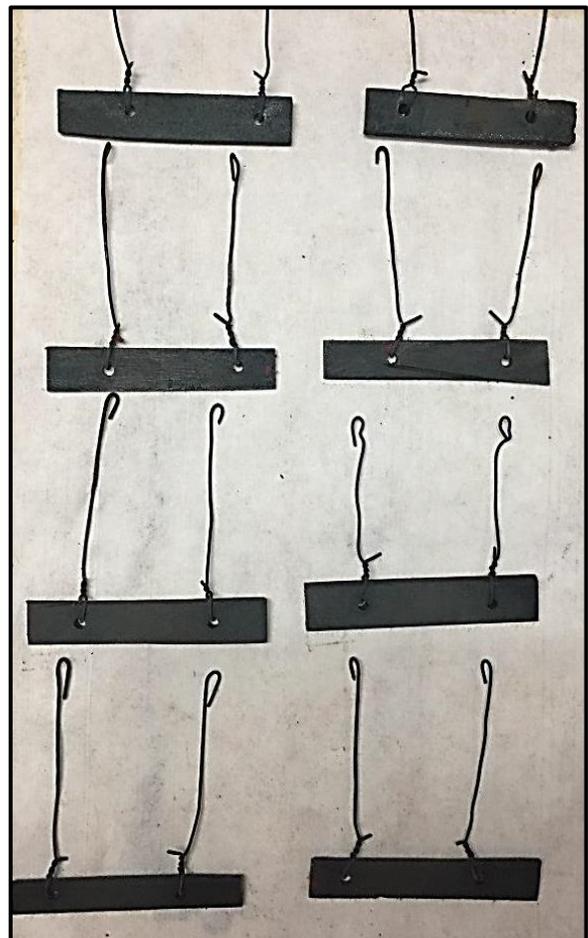
Otro factor importante que permite comprobar la acción del Kleanex Dec en la cuba de decapado es el resultado final de la pieza una vez es procesada. La ilustración 32 representa la mitad de un lote de material a procesar durante la jornada laboral, mostrando las condiciones iniciales a la que ingresa, denota trazas de grasas y aceites, pintura sobre el material y algunas poseen calamina. Terminado el proceso, se observa en la ilustración 33 el cambio de aspecto del material, se elimina gran parte de pintura y desaparece el óxido e impurezas que presenta.

Ilustración 33. Piezas Antes de Ingresar a la Zona Húmeda



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 32. Piezas Luego de Ingresar a la Zona Húmeda



Fuente: Elaboración propia

3.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De la prueba de reducción de origen se pueden resaltar las siguientes características:

- El producto Kleanex Dec posee características similares al ácido clorhídrico en cuanto al ataque al metal, escala de ataque y solubilidad en sales de hierro. La velocidad del decapado es proporcional a la concentración a la que se prepara en la cuba.
- La eficiencia de la cuba de decapado es influenciada por la cuba de desengrase, el control y mantenimiento en la primera etapa mejora las propiedades del Kleanex Deck prolongando su vida útil. Durante la prueba, se mantuvo dentro de los rangos de acidez permisibles y su puntuación fue de 4cc por debajo del rango lo que implica una adición de 6,3ml mejorando la eficiencia de la cuba.
- Se logra decapar el 57% del material durante la prueba demostrando la versatilidad de la solución cuando se trabaja a una concentración del 25% y con piezas no aptas para ser galvanizadas.
- Visualmente las piezas se encuentran en condiciones para ingresar en la zona caliente.

La prueba de reducción de origen logro determinar las ventajas del Kleanex Dec de la empresa Bycsa, como una alternativa más limpia, para la etapa de decapado en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente para García Vega S.A.S. Siendo un producto eco-eficiente como se ha mencionado anteriormente, de carácter orgánico y de fácil compra, logra obtener buenos resultados en cuanto a decalaminador para metales ferrosos, sin embargo, el valor agregado de este producto debe verse reflejado en su tratabilidad.

3.5 VALORIZACION DE LOS EFLEUNTES

Debido a las características del agua residual en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente en García Vega S.A.S presentadas en el capítulo anterior, se opta por un tratamiento fisicoquímico, efectuando un tratamiento primario y terciario para eliminar los contaminantes.

3.5.1 Tratamiento Enjuague. La cuba de enjuague al final de la semana presenta valores de acides por debajo de la norma, por lo tanto, es necesario realizar un adecuado tratamiento que permita disminuir el nivel de acidez a valores cercanos de la neutralidad con el fin de disponerlos a los vertederos. Se presentan dos alternativas para el tratamiento de la cuba de enjuague.

- 1. Soda Caustica:** Utilizar soda cáustica al 50% en peso para neutralizar la cuba de enjuague en la planta de galvanizado. Dicho procedimiento se ha utilizado en la planta de galvanizado para neutralizar el agua de enjuague.
- 2. Neutralización cuba de enjuague:** Se propone la utilización de dos tipos de agentes neutralizantes: la soda caustica y el producto ALKA PI suministrada por la empresa Provinas. El primero es el producto más común usado para dicho fin y utilizado actualmente por García Vega S.A.S, el segundo, es una alternativa como reemplazo de la soda caustica. Los ensayos de neutralización se realizan a escala laboratorio, tomando una muestra de enjuague de 100ml para cada agente neutralizante.

3.5.1.1 Neutralización con Soda Caustica. Para la prueba, se prepara una solución de soda cáustica al 50% en peso con el propósito de simular a nivel laboratorio el proceso de neutralización actualmente utilizado en la planta de galvanizado bajo la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Calculo
Cantidad de Gramos de
Soda en Escamas a Utilizar

$$a = (b - c) * (d)$$

Fuente: P.J. Listaron, W.G
Mallard. Libro de química
web del NIST. National
Institute of Standards and
Technology. Estados Unidos
(eds): 2018

Dónde:

a = Cantidad en gramos de soda en escamas a utilizar

b = Densidad conocida de la solución final g/ml

c = Densidad del agua g/ml

d = volumen de la solución en litros

La siguiente tabla presenta la densidad conocida de la solución final y la densidad del agua en g/ml a diferentes temperaturas. Se tomó como temperatura de referencia 20°C.

Tabla 22. Valores de Densidades para la Solución de Hidróxido de Sodio al 50% a Diferentes Temperaturas

Temperatura °C	b Densidad conocida de la solución g/ml	C Densidad del agua g/ml
10	1.5327	0.99930
15	1.5290	0.99910
20	1.5253	0.99821
25	1.5217	0.99705
30	1.5181	0.99565

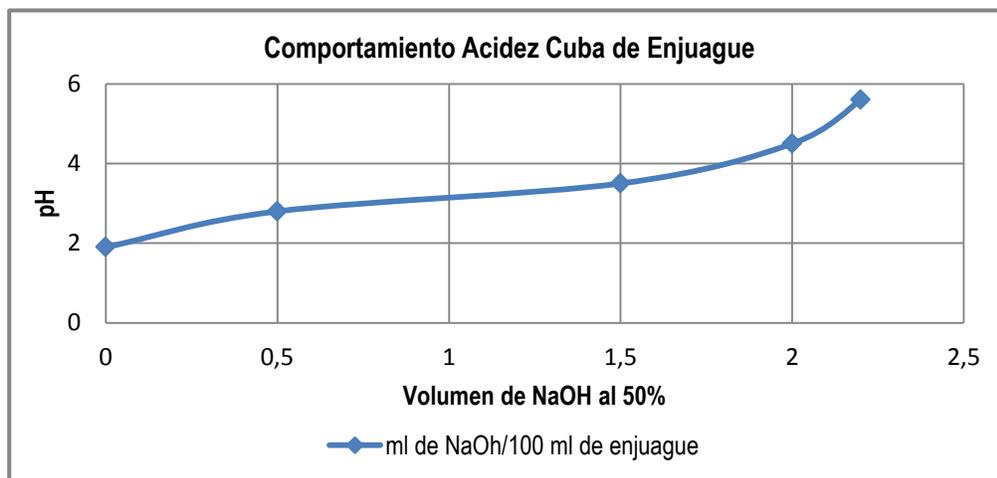
Fuente: R.H. Perry, D.W. Grenn. Manual Perry del Ingeniero Químico. Mc Graw-Hill. 1999.

$$a = \left(1.5253 \frac{gr}{ml} - 0.99821 \frac{g}{ml} \right) * (1000ml)$$

$$a = 527.09 g$$

La siguiente grafica representa el volumen requerido de hidróxido de sodio (NaOH) al 50% en peso para la neutralización de 100ml de agua de enjuague.

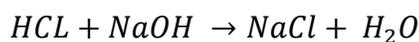
Grafica 15. Comportamiento Acidez Cuba de Enjuague Hidróxido de Sodio al 50%.



Fuente: Elaboración propia

El volumen total requerido de la solución de soda caustica 50% en peso para la neutralización de un volumen de muestra de 100ml que permitiese cumplir con la resolución 0631 del 2015 es de 2,2ml.

La reacción que se lleva a cabo en la neutralización se describe a continuación:



3.5.1.1.1 Caracterización Neutralización de Enjuague Hidróxido de Sodio. Obteniendo el valor mínimo permisible por la norma para la disposición de aguas residuales provenientes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente se procede a caracterizar la muestra obteniendo los siguientes resultados. (Anexo C)

Tabla 23. Análisis de Resultados Enjuague Hidróxido de Sodio

ANALISIS DE RESULTADOS					
ENJUAGUE – HIDROXIDO DE SODIO					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
pH	S.M 4500 - H+ B	Unid. Ph	5.57	6.00 a 9.00	No cumple
Hierro (Fe)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Fe	19.53	3.00	No cumple

Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander.

3.5.1.2 Neutralización con ALKA PI PROVINAS. El producto ALKA PI es una solución alcalina para la neutralización de las aguas acidas. Neutraliza todo tipo de aguas acidas generadas después del lavado de equipos y materiales utilizados en el proceso productivo, producto ecoeficiente que presenta las siguientes características:

- Completamente soluble en agua
- No genera espuma
- Producto libre de fosfatos
- No daña las líneas de conducción del agua residual
- No genera vapores
- No volátil

Se presenta a continuación las propiedades físicas y químicas del producto ALKA PI.

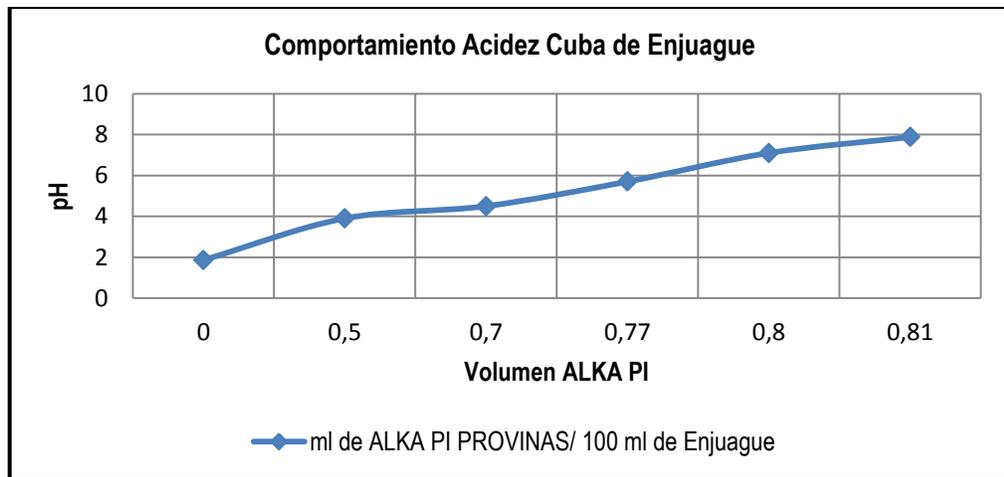
Tabla 24. Propiedades Físicas y Químicas Alka PI PROVINAS

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	
Apariencia	Líquido transparente
Color	Incoloro
Olor	Ninguno
p H	12.5 – 13.5
Gravedad específica (h20=1)	1.10 – 1.20
Punto de ebullición (°C)	100
Solubilidad en agua	Completa
Viscosidad	No viscoso

Fuente: Ficha técnica ALKA PI PROVINAS. (Anexo L.)

Para el desarrollo práctico de la prueba a la muestra de enjuague, se utilizó la solución ALKA PI 100% concentrado mostrando los siguientes resultados.

Grafica 16. Comportamiento Acidez Cuba de Enjuague ALKA PI PROVINAS.



Fuente: Elaboración propia

El volumen total requerido del producto ALKA PI concentrado para la neutralización de un volumen de muestra de 100ml que permitiese cumplir con la resolución 0631 del 2015 es de 0.81ml.

3.5.1.2.1 Caracterización Neutralización de Enjuague con ALKA PI PROVINAS. Obteniendo el valor mínimo permisible por la norma para la disposición de aguas residuales provenientes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente se procede a caracterizar la muestra obteniendo los siguientes resultados. (Anexo C.)

Tabla 25. Análisis de Resultados Enjuague ALKA PI Concentrado

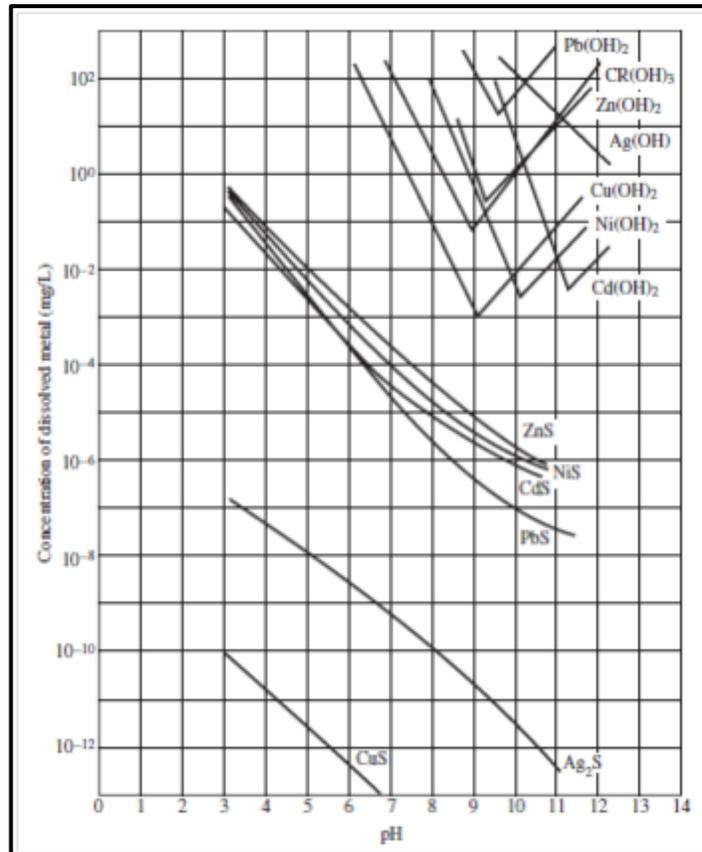
ANÁLISIS DE RESULTADOS					
ENJUAGUE – ALKA PI CONCENTRADO					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
pH	S.M 4500 - H+ B	Unid. pH	7.52	6.00 a 9.00	Cumple
Hierro (Fe)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Fe	0.22	3.00	Cumple

Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander.

3.5.1.3 Discusión de Resultados. Al realizar las pruebas de neutralización con soda caustica y el producto ALKA PI concentrado, se evidencia la formación de lodos formados por la precipitación de metales pesados presentes en el agua de enjuague, estos, son producidos por el arrastre de sustancia de la solución decapante. “La precipitación ocurre por la insolubilidad que presenta los metales en determinadas condiciones de pH”⁵⁴, como se observa en la siguiente figura.

⁵⁴ ALVAREZ SOLANO, Mónica; AVILA PLATA, Laura. Diseño de un Sistema para el Tratamiento de Aguas Residuales Industriales Provenientes del Proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente. [Tesis]. Monografía. Fundación Universidad de America, Bogotá D.C: 2020. [Consultado 27, Marzo, 2019].

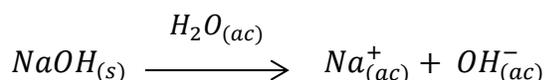
Figura 8. Solubilidad de Varios Hidróxidos y Sulfuros Metálicos en Diferentes Condiciones de pH.



Fuente: ERNESTO SIMON. Grupo de Físicoquímica de Procesos Industriales y Medioambientales. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>

Se evidencia que al aumentar el pH de la solución a valores de $pH=11$, se precipitan un gran número de metales pesados; por lo tanto, dicho valor será utilizado como punto de referencia para remover la mayor cantidad de metales presentes en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

Comparando la gráfica 15 y la gráfica 16 se observa que se utiliza menos cantidad de volumen con el ALKA PI concentrado, además, con dicho valor, se logró llegar a valores más cercanos de la neutralidad dando como resultado $pH=7.88$. Por otra parte, la soda cáustica al llegar en escamas, tuvo que ser preparada para disminuir su concentración a 50% en peso para permitir su manipulación, resaltar que la soda caustica es un químico controlado mientras que el ALKA PI concentrado es de libre mercado. La soda caustica al ser una base fuerte, se disuelve con facilidad en agua generando gran cantidad de calor y disociándose por completo en sus iones a partir de la siguiente reacción:



El efecto, es un aumento de temperatura en la solución haciendo difícil su manipulación. Durante las pruebas, la temperatura inicial de la soda caustica al ser diluía tomaba valores de 60°C aproximadamente; en cambio, la temperatura de trabajo del ALKA PI concentrado fue de 23°C.

Los análisis de resultados obtenidos para la tratabilidad del enjuague con soda cáustica al 50% en peso evidenciado en la tabla 25, reflejan un porcentaje de remoción del contenido de hierro del 99% presente en la cuba de enjuague, sin embargo, dicho valor, incumple con la normatividad en cuanto al contenido mínimo de hierro permisible. De igual forma, la acidez del agua de enjuague incumple con la normatividad estipulada.

El tratamiento que actualmente realiza la empresa García Vega S.A.S para la neutralización del agua de enjuague no es apto para su disposición.

La tabla 26 representa los resultados obtenidos de la tratabilidad de la muestra de enjuague con el producto ALKA PI concentrado de Provinas S.A.S, se evidencia un porcentaje de 99% de remoción de hierro presente en el agua de proceso, en este caso, el valor final cumple con la normatividad estipulada, además la acidez del agua tratada logra estar dentro de los límites permitidos dando cumplimiento a la norma para su correcta disposición.

ALKA PI concentrado logra obtener los mejores resultados de tratabilidad para la etapa de enjuague como agente neutralizante para aguas acidas del proceso productivo, su fácil manipulación, sus características químicas y reglamentación, hacen del ALKA PI concentrado una opción más atractiva y ecoeficiente para tratar las aguas del proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

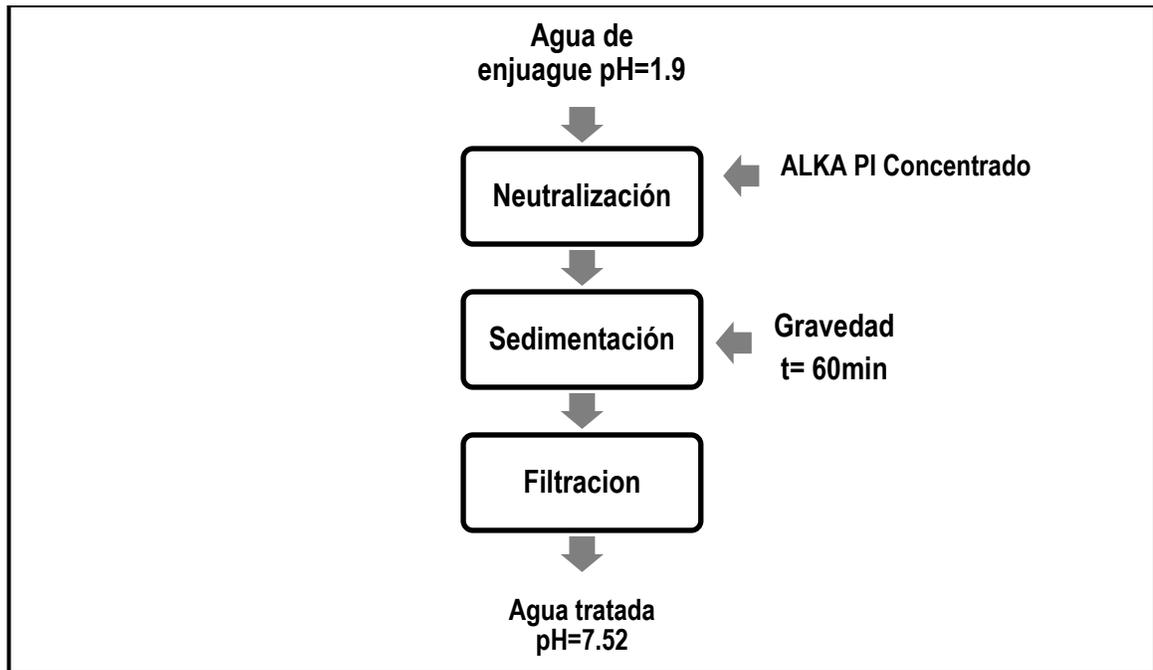
Tabla 26. Eficiencia de remoción Cuba de Enjuague

Cuba	Parámetro	Concentración Inicial (mg/L)	Concentración Final (mg/L)	Eficiencia de Remoción (%)
Enjuague NaOH (50%)	Hierro (Fe)	4 425	0.22	99%
Enjuague ALKA PI Concentrado	Hierro (Fe)	4 425	0.22	99%

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.4 Descripción del tratamiento. Se describe a continuación el diagrama de flujo del tratamiento del agua de enjuague.

Figura 9. Diagrama de Flujo Tratamiento Agua de Enjuague



Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Tratamiento agua de enfriamiento. Basándonos en los resultados obtenidos de la caracterización del agua residual en el agua de enfriamiento y considerando las variables a controlar para dar cumplimiento con la normatividad, se procede a desarrollar y evaluar diferentes alternativas de tratamiento, para luego, seleccionar la más adecuada que permita la remoción de la carga contaminante.

Para el desarrollo del tratamiento se trabaja en conjunto con la empresa Lipesa la cual proporciona su conocimiento en el tratamiento de aguas residuales y suministra insumos químicos tales como coagulantes, floculantes y acondicionadores de pH. Se describe a continuación la técnica de tratamiento unitario del agua de enfriamiento.

Tabla 27. Técnica de tratamiento unitario del agua de enfriamiento

FUNCIÓN	TECNICA	EFECTO
Precipitación de metales pesados	Acondicionador de pH: L-313 Lipesa	Aumento del pH y la alcalinidad para neutralizar soluciones acidas.
	Removedor de metales: P-8006L • Discreta • Floculenta • Retardada o zonal • Compresión	Remoción de níquel, cobre, hierro, zinc y plomo. Obtención de un producto clarificado, remoción de los sólidos formados por la anterior etapa
Sedimentación	• Gravedad • Presión • Vacío	Remoción de los sólidos remanentes de la etapa anterior
Filtración		

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1 Precipitación de metales.

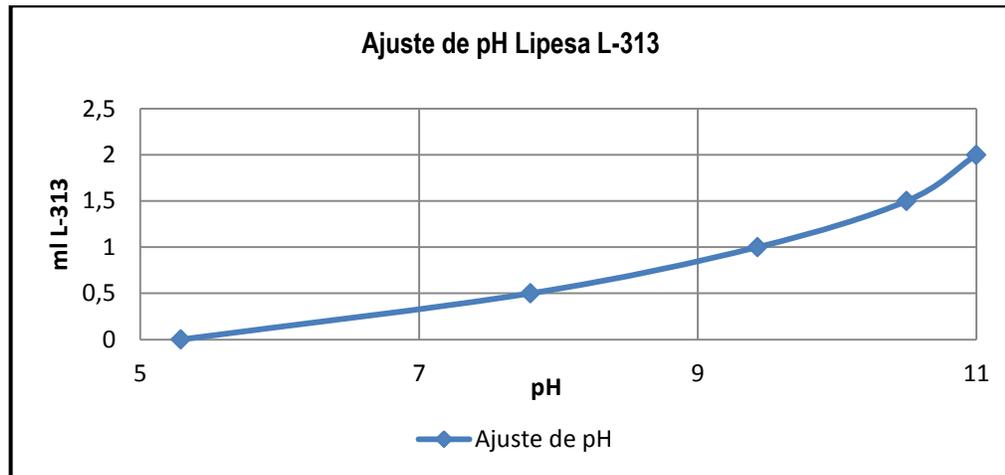
La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación. En algunos casos, la alteración es pequeña, y la eliminación se logra al quedar atrapados dentro de un precipitado voluminoso constituido, principalmente, por el propio coagulante.⁵⁵

En la gráfica 17 se presenta el comportamiento de la solubilidad de los metales dependiendo de las condiciones de pH a las que se encuentra el agua residual, debido a que el zinc y el plomo precipitan a un pH=11 se ajustara a estas condiciones a través del producto L-313 de Lipesa para removerlos. Por otro parte, al trabajar con dichas características, se removerán gran cantidad de metales que pudieron ser arrastrados de las etapas posteriores. Este valor garantiza el correcto acondicionamiento del agua de enfriamiento.

El producto LIPESA 313 es especialmente formulado para ser aplicado en aguas residuales y aguas industriales, cuyo proceso requiera aumentar el pH y la alcalinidad o se desee neutralizar soluciones acidas. Para determinar la dosis del producto que permita ajustar el agua de enfriamiento a nuestro rango de trabajo, se realizaron adiciones de 0.5ml de producto hasta lograr el valor deseado.

⁵⁵BURTON, Franklin L. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3. Ed: Metcalf & Eddy, 1995. 345p. ISBN 9780072538557

Grafica 17. Ajuste de pH Lipesa L-313.



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 18 se observa que adicionando 2ml del producto L-313, se logra ajustar al rango óptimo de trabajo el cual permite remover la mayor cantidad de metales pesado en el agua de enfriamiento.

3.5.2.2 Sedimentación. “La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales”.⁵⁶

El proceso de sedimentación puede converger de una manera más rápida adicionando polímeros orgánicos aniónicos o catiónicos de medio y alto peso molecular, además, ayudan a mejorar la deshidratación de los lodos formados. Se plantea la alternativa para el tratamiento del agua de enfriamiento el uso de coagulantes y floculantes que permitan la aglomeración de las partículas suspendidas en el agua y la formación de un floc más pesado y compacto.

“El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos.”⁵⁷

El siguiente cuadro representa una breve descripción y las características de los insumos utilizados para la operación de coagulación.

⁵⁶ Ibid., p. 251

⁵⁷ VARGAS, Mariacruz and ROMERO, Luis. Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p. 1-148

Cuadro 11. Descripción y Características de Los Insumos Utilizados.

COAGULANTE	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS
Coagulante 1627	Formulación catiónica que ha sido formulada para ser utilizada en la clarificación de aguas potables, residuales y de procesos. Totalmente miscible en agua y deshidrata lodos sin alteras la carga del efluente final	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia: Líquido translucido • Color: Ámbar • pH: 4.0 – 5.0 • Gravedad específica= 1.28-1.34
Coagulante 1687	Formulación con alto rendimiento en aguas con gran carga contaminante, elimina o disminuye los ayudantes de floculación, volumen menor de lodos y mayor compactación de estos.	<ul style="list-style-type: none"> • Color: Ámbar • Olor: Inodoro • pH: < 4.0 a 25°C • Gravedad específica= 1.10 – 1.40
Coagulante 1688	Es un producto de origen natural, obtenido de la corteza del árbol de acacia negra, de cultivos sin modificaciones genéticas y con certificación de manejo responsable de los agroquímicos en las plantaciones. Trabaja a dosis muy bajas, altamente eficiente como agente removedor de emulsiones inversas y fácil dilución	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia: Líquido • Color: Marrón • pH: 1.9 – 2.9 • Gravedad específica: 1.06 – 1.12 • Solubilidad: Fácilmente soluble en agua
Coagulante P8006L	Solución líquida de carga aniónica de alto índice de poli-dispersión diseñada para eliminar metales pesados en su forma ionizada del agua. Posee un efecto quelante que permite atrapar iones metálicos divalente en solución y crear sales insolubles.	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia: Líquido translucido • Color: Rojo • pH 10%: 10.5 – 11.5 • Gravedad específica: 1.05 – 1.15

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el polímero que mejor desempeño presente, se procede a preparar las muestras de acuerdo a las especificaciones técnicas. Las muestras se preparan al 20% en peso con agua de tercer nivel. Para aumentar el desempeño del tratamiento, es necesario el uso de agentes floculantes.

3.5.2.3 Floculación. “la floculación es el proceso que le sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de

aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad”.⁵⁸ El cuadro 11 describe a continuación las características de los polímeros estudiados para la operación de floculación.

Cuadro 12. Características de Los Polímeros Estudiados

FLOCULANTE	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Polímero floculante 1569A	Polímero solido de alto peso molecular ligeramente catiónico	<ul style="list-style-type: none"> • Color: Blanco • Olor: inodoro • pH al 0.5%: 2.50-4.50 • Densidad: 0.800g/m³ • Solubilidad: 0.5% en agua
Polímero floculante 1538	Polímero solido de alto peso molecular fuertemente aniónico	<ul style="list-style-type: none"> • Color: Blanco • Olor: inodoro • Forma: granular de flujo libre • Solubilidad: 0.5% en agua • Rango de trabajo de pH: 1.0 – 12.0
Polímero floculante 1521M	Polímero solido de alto peso molecular fuertemente aniónico	<ul style="list-style-type: none"> • Color: Blanco • Apariencia: Solido granular • Rango de trabajo de pH: 1.0 – 12.0 • Densidad al granel: 800kg/m³ • Solubilidad: ≤ 0.5% en agua
Polímero floculante 1533	Polímero de alto peso molecular aniónico	<ul style="list-style-type: none"> • Forma: Emulsión líquida • Color: Blanco • Olor: característico • Densidad: 1050kg/m³

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el polímero que mejor desempeño presente, se procede a preparar las muestras tomando como volumen inicial 500ml de agua de tercer nivel y partiendo de una concentración inicial del polímero de 1 000ppm. Debido a

⁵⁸ Ibid., p.1-148

las especificaciones dadas por la ficha técnica para cada producto, se preparan los polímeros al 0.1% a partir de la siguiente ecuación.

Ecuación 4.
Dilución de
Soluciones

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Fuente:

<https://www.americanelements.com/solutions-dilution-calculator.html>

Dónde:

C_1 = Concentración inicial de la muestra patrón

V_1 = Volumen requerido de la muestra patrón

C_2 = Concentración final de la muestra

V_2 = Volumen final de la muestra

$$1000ppm * V_1 = 1ppm * 500ml$$

$$V_1 = \frac{1ppm * 500ml}{1000ppm}$$

$$V_1 = 0.5ml$$

Se tomó una alícuota de 0,5ml de la muestra patrón para preparar cada uno de polímeros con agitación constante hasta que se obtenga una sola fase y esta se vuelva viscosa. Cada uno de estos polímeros tiene como función desestabilizar las partículas coloidales con el fin de neutralizar las cargas electroestáticas de los compuestos en disolución, reduciendo así las fuerzas de repulsión. Por este motivo las partículas tienden a unirse entre sí generando flocs de gran tamaño. Teniendo los coagulantes y floculantes preparados, se procede a evaluar su eficiencia a través de la prueba de jarras.

3.5.2.4 Prueba de Jarras. La prueba de jarras es un procedimiento que se utiliza a escala laboratorio para determinar las condiciones de operación óptimas para el tratamiento de las aguas residuales. Esta prueba, permite ajustar el pH, variaciones en las dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a la muestra, modificar velocidades y simular los procesos unitarios de coagulación, floculación y sedimentación. Los resultados que arroje la prueba se replicaran a escala industrial. Para valorizar cada uno de los coagulantes y floculantes se tomaron 4 muestras del agua de enfriamiento con un volumen de 500ml para cada una de las jarras. El objetivo de la prueba es determinar la dosis óptima que permita remover la mayor carga contaminante del agua de enfriamiento. La tabla 18 muestra las concentraciones en partes por millón de cada uno de los

coagulantes y floculantes utilizados para el tratamiento. Inicialmente, se utilizan las mismas dosis para cada uno con la finalidad de descartar los productos que obtengan el menor rendimiento. Las variables independientes que se tienen en cuenta para evaluar el desempeño de los coagulantes y floculantes son:

- pH
- Dosis de Coagulante y floculante
- Velocidad de agitación
- Concentración de Coagulante y floculante

Por otro lado, las variables dependientes son:

- **Turbiedad:** Es una medida o indicador del grado de transparencia de un líquido y en el agua potable. La turbiedad se mide en NTU (unidades nefelométricas de turbidez) y el instrumento utilizado es el Turbidímetro. Para determinar dicho parámetro, se establece una relación directa entre la turbidez inicial del agua cruda y la turbidez final posterior al sistema de tratamiento. Este parámetro es proporcional a la presencia de sólidos en suspensión y se calcula a partir de la siguiente ecuación.

Ecuación 5. Porcentaje de Remoción de La Turbidez.

$$\% \text{Remoción de la Turbidez: } \frac{(\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final})}{(\text{Turbidez inicial})} * 100$$

Fuente: Parra Rodríguez, Lina M., Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estado estable. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2006, noviembre.

- **Velocidad de sedimentación:** Variable de respuesta cuyo valor representa el tiempo que tarda en sedimentar los sólidos suspendidos en el agua. A mayor sedimentación se favorece la operación.
- **Tamaño de Floc:** Aglomeración de las partículas coloidales por acción del floculante. Para este parámetro, se utiliza el índice de Willcomb, “técnica que permite otorgar un valor cualitativo a la formación de flóculos luego del proceso de coagulación y floculación de acuerdo con el tamaño de los flocs y la velocidad de sedimentación de estos”⁵⁹. Este método, asigna valores en una escala de 0 a 10 para clasificar el tamaño de floc observado al final del sistema de tratamiento de la siguiente manera.

⁵⁹ PRIETO BERNAL, W.j. SOLER URIBE, Emily. Evaluación de una propuesta de un sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizante. [En línea]. Monográfica. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C: 2019. p.78. [Consultado 15 febrero, 2020]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7407>

Tabla 28. Índice de Willcomb

NÚMERO DE ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
0	Ningún signo de aglutinamiento
2	Floc muy pequeño casi imperceptible
4	Floc que sedimenta muy lentamente o no sedimenta
6	Floc de tamaño relativamente grande, esponjoso, que sedimenta con lentitud
8	Floc de sedimentación fácil, aunque deja algo de turbiedad en el agua
10	Floc de muy buena sedimentación que deja el agua cristalina

Fuente: GALVIS GONZALES, Nubia Janneth. Ensayos de tratabilidad del agua una herramienta concluyente para el diseño de plantas de potabilización; Universidad de Manizales, 2014. p.56.

Tabla 29. Prueba de Jarras Selección Floculante Cuba de Enfriamiento

	J#1	J#2	J#3	J#4
Turbidez inicial (NTU)	8.24	8.24	8.24	8.24
pH inicial L-313	5.29	5.29	5.29	5.29
Acondicionador de pH (ml)	2.0	2.0	2.0	2.0
pH de trabajo P-8006L (ppm)	11.0	11.0	11.0	11.0
L-RED 600 (ppm)	500			
L-1627 (ppm)		500		
L-1688 (ppm)			500	
L-1687 (ppm)				500
L-1533 (ppm)	1.0			
L-1521M (ppm)		1.0		
L-1538 (ppm)			1.0	
L-1569A (ppm)				1.0

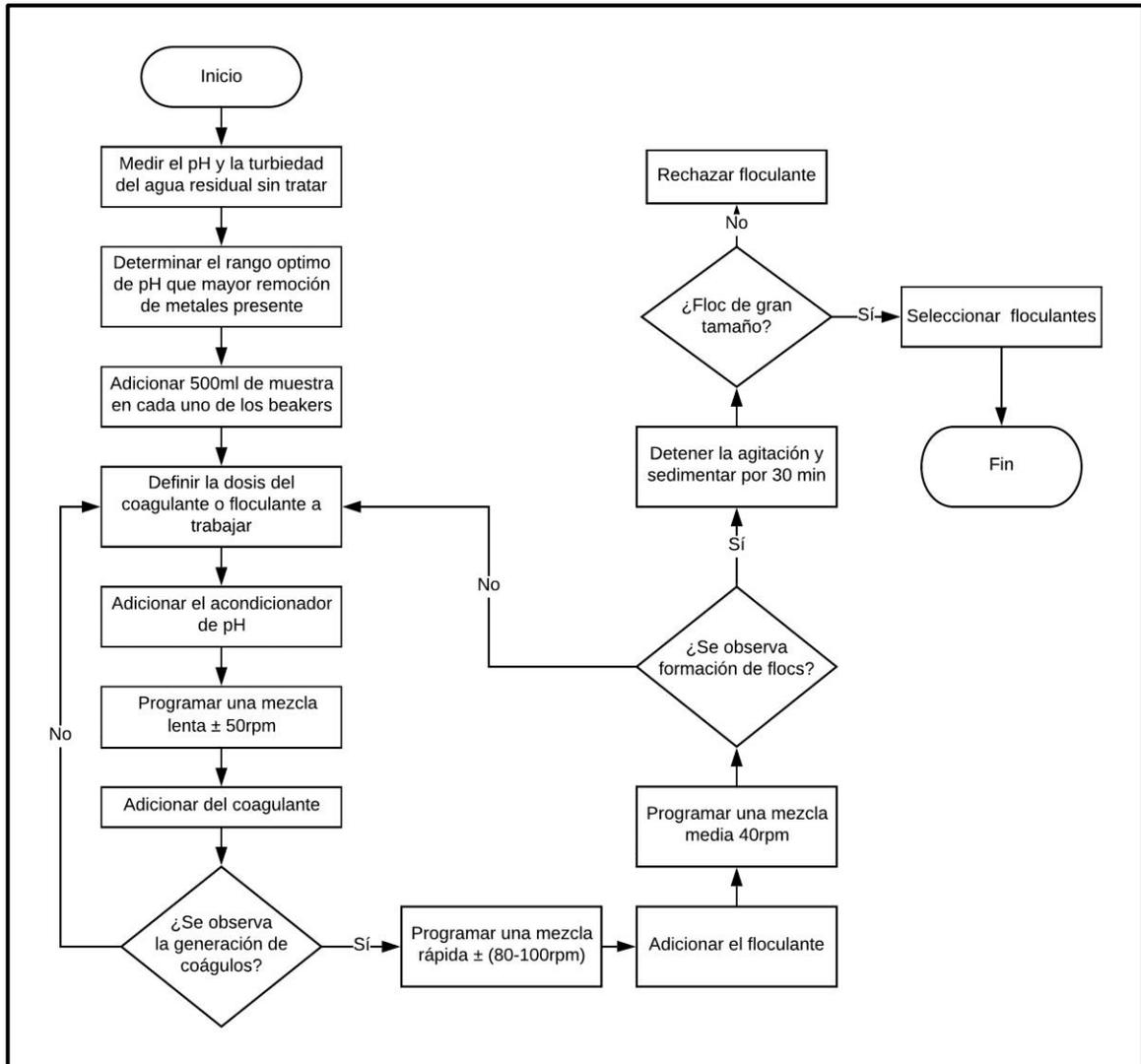
Fuente: Elaboración propia

Se describe a continuación el procedimiento utilizado para la prueba de jarras el cual se realizó bajo la Norma técnica Colombia 3903 “Método De Jarras En La Coagulación Y Floculación Del Agua” la cual establece las condiciones para la evaluación de tratamientos físico-químicos encaminados a la remoción del material coloidal suspendido y no sedimentable del agua residual. Los tiempos de agitación varían debido a que los polímeros de la empresa Lipesa S.A.S requieren mayor tiempo de agitación.

1. Inicie la prueba de jarras, midiendo el agua residual sin tratar, tal cual como se tomó, midiendo principalmente el pH y la turbiedad.
2. Revise cual es el rango optimo del pH para garantizar la mayor remoción de metales en la prueba.
3. Adicione 500ml de muestra en cada uno de los beakers.
4. Defina diferentes dosis del coagulante y floculante a analizar, con el fin de establecer cuál es la dosificación de cada jarra, considerando que las cantidades deben variar en volúmenes de 0,25ml.
5. Programe una mezcla a velocidad media (± 50 rpm) para homogenizar cada una de las jarras.
6. Adicione el acondicionador de pH para llegar al rango óptimo.
7. Adicione el removedor de metales P-8006L.
8. Adicione el coagulante en cada una de las jarras siempre y cuando las aspas se encuentren inmóviles.
9. Programe una mezcla rápida intensa (80-120rpm) aproximadamente 5 minutos, después de la adición al coagulante a trabajar.
10. Adicione el floculante en cada una de las jarras siempre y cuando las aspas se encuentren inmóviles.
11. Programe una mezcla lenta (30rpm) aproximadamente 15 minutos, después de la adición al coagulante a trabajar.
12. Inicie el programa secuencial y observe el comportamiento de cada jarra
13. Encienda la luz del equipo de jarras y deje reposar por al menos 30 minutos sin mezclar.
14. Al finalizar el tiempo reposo, observe el volumen de lodos generados.
15. Extraiga una muestra del agua clarificada.
16. Realice la medición de los parámetros del numeral 1 al agua tratada.

3.5.2.4.1 Selección Floculante. A partir del diagrama de decisión reflejado en la figura 9, tomando como criterio de selección el tamaño de floc formado, se procedió a determinar el floculante con mejor rendimiento en la prueba de jarras. Este diagrama se utilizará para evaluar el proceso de coagulación y floculación en cada uno de los tratamientos realizados.

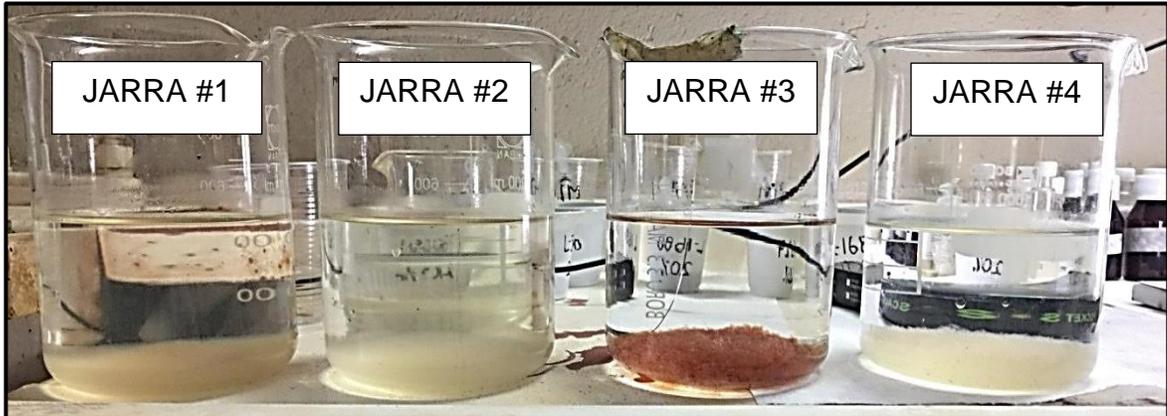
Figura 10. Diagrama de Decisión Selección de Coagulante y Floculante



Fuente: Elaboración propia

La ilustración 32 muestra los resultados de las respectivas jarras; de izquierda a derecha se encuentra la jarra 1, jarra 2, jarra 3 y jarra 4. Se observa que las jarras 3, 4 son las que mayor tamaño de floc presenta; por lo tanto, los polímeros de alto peso molecular y fuertemente aniónicos aportarán mayor porcentaje de sedimentación junto al 1569 cuya característica es ser un polímero ligeramente catiónico.

Ilustración 34. Resultados Prueba de Jarras



Fuente: Elaboración propia

Determinados los polímeros que mejor desempeño presentan, se procede a analizar los coagulantes.

3.5.2.4.2 Selección Coagulante. La tabla 20 muestra las respectivas dosificaciones para cada una de las jarras. Para esta etapa, la velocidad de sedimentación es nuestra variable por monitorear, por lo tanto, se determina de manera experimental siguiendo el método de Cloe y Clevenger el cual “se basa en ensayos de sedimentación discontinua para hallar, mediante una serie de experiencias, la capacidad de clarificación”⁶⁰. Para determinar la velocidad de sedimentación, se deposita en una probeta graduada de 250ml la muestra a tratar; inicialmente, se mide la altura (h_0) y se agita de tal manera que la muestra sea uniforme. Luego, se deja la probeta en reposo y se mide el cambio de altura (dh) de la suspensión cada cinco minutos por un lapso de treinta minutos. Este método se fundamenta en la “diferencia de altura de los lodos con respecto a la solución en función del tiempo”⁶¹.

Ecuación 6.
Velocidad de
Sedimentación

$$V_s = \frac{-(dh)}{(dt)}$$

Fuente: PEREZ PEREA, C; JODRA, L.G.; P. GASOS. Métodos de Cálculo de Espesadores por Ensayos Discontinuos.

⁶⁰ PEREZ PEREA, C; JODRA, L.G.; P. GASOS. Métodos de Cálculo de Espesadores por Ensayos Discontinuos. [En línea]. JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR. MADRID: 1957. p.1-30. [Consultado 16 febrero, 2020] METOOD DE CLOE Y CLEVER PARA EL CALCULO DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN. Disponible en:

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/003/41003509.pdf

⁶¹ MELO and SACRISTÁN, op.cit, p.97 de la tesis de Emily soler

Dónde:

V_s = Velocidad de sedimentación (cm/min)

dh = Diferencial de altura (cm)

dt = Diferencial de tiempo (min)

Tabla 30. Prueba de Jarras Selección Coagulante Cuba de Enfriamiento

	J#1	J#2	J#3	J#4
Turbidez inicial (NTU)	8.24	8.24	8.24	8.24
pH inicial L-313	5.29	5.29	5.29	5.29
Acondicionador de pH (ml)	2.0	2.0	2.0	.,0
pH de trabajo P-8006L	11.0	11.0	11.0	11.0
(ppm)	100	100	100	100
L-REB 600 (ppm)	500			
L-1627 (ppm)		500		
L-1688 (ppm)			500	
L-1687 (ppm)				500
L-1538 (ppm)	1	1		
L-1569A (ppm)			1	1

Fuente: Elaboración propia

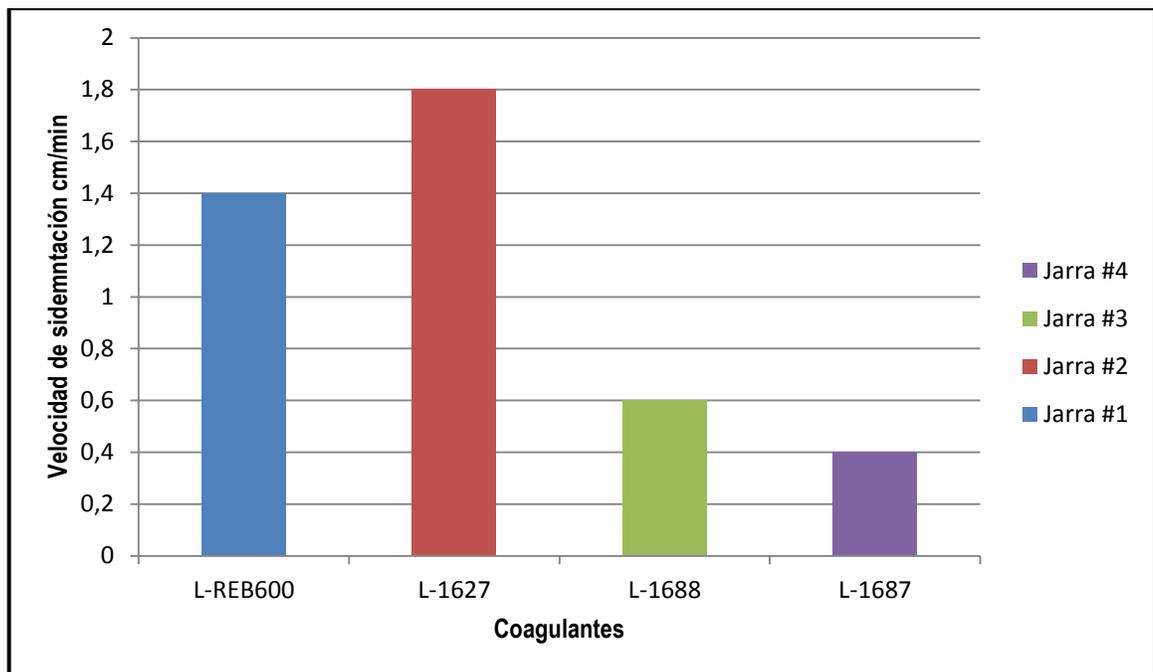
Ilustración 35. Selección de Coagulantes



Fuente: Elaboración propia

El grafico 19 representa la velocidad de sedimentación de las jarras con diferentes coagulantes, manteniendo la misma concentración para cada una pasados los treinta minutos. El coagulante que favorece la operación de sedimentación es el L-1627.

Grafica 18. Velocidades de Sedimentación con Diferentes Coagulantes.



Fuente: Elaboración propia

3.5.2.4.3 Dosis Óptima. Una vez se obtuvieron los coagulantes y floculantes que mejor desempeño presentan, se procede a determinar la dosis óptima de

coagulante para el tratamiento del agua de enfriamiento, representada en la siguiente tabla.

Tabla 31. Dosis Óptima Coagulantes y Floculantes Agua de Enfriamiento

	J#1	J#2	J#3	J#4
pH inicial L-313	5.29	5.29	5.29	5.29
Acondicionador de pH (ml)	2.0	2.0	2.0	2.0
pH de trabajo P-8006L	11.0	11.0	11.0	11.0
(ppm)	100	100	100	100
L-1627 (ppm)	300	400	500	600
L-1569A (ppm)	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

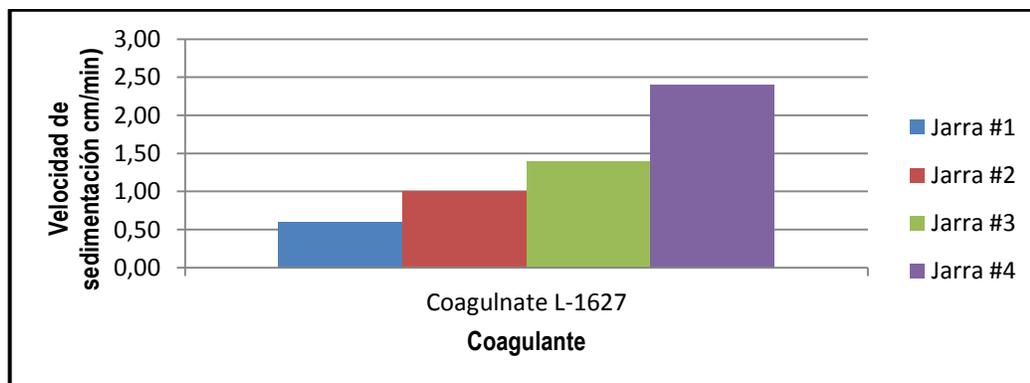
Culminada la prueba de jarras se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 32. Resultados Dosis Optimas Prueba de Jarras Agua de Enfriamiento

	J#1	J#2	J#3	J#4
pH final	7.80	8.07	7.88	7.8
Turbidez final (NTU)	6.26	8.0	6.13	3.61
% Remoción de la turbidez	24	2.9	26	56

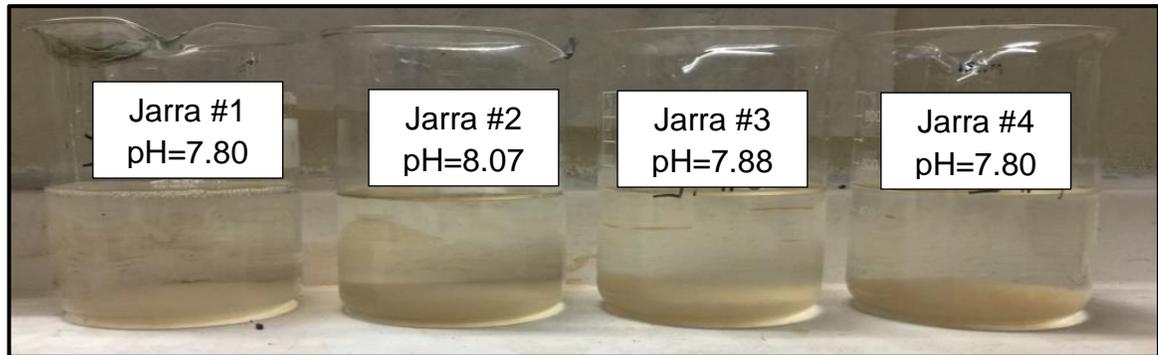
Fuente: Elaboración propia

Grafica 19. Dosis Optima del Coagulante L-1627.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36. Resultados Prueba de Jarras para La Determinación de La Dosis Optima



Fuente: Elaboración propia

3.5.2.4.4 Discusión de resultados. De los resultados obtenidos, se observa que el pH final para cada una de las jarras cumple con la normatividad presentada en la tabla (agua de enfriamiento caracterización). El siguiente parámetro que es la turbidez, muestra variaciones en cada una de las jarras el cual es inversamente proporcional al clarificado de las muestras; por ende, la jarra que tuvo mayor porcentaje de remoción con un valor del 56% es la Jarra #4. Otro factor importante para determinar la dosis óptima del coagulante es la velocidad de sedimentación, la gráfica 19 presenta la velocidad de sedimentación para cada una de las jarras con diferentes dosificaciones del coagulante, dando como resultado, la Jarra #4. De los parámetros medidos, la Jarra #4 es la que presenta mejores resultados.

3.5.2.5 Caracterización Prueba de Jarras Agua de Enfriamiento. A partir de los resultados anteriores, se procede a caracterizar la Jarra #4.

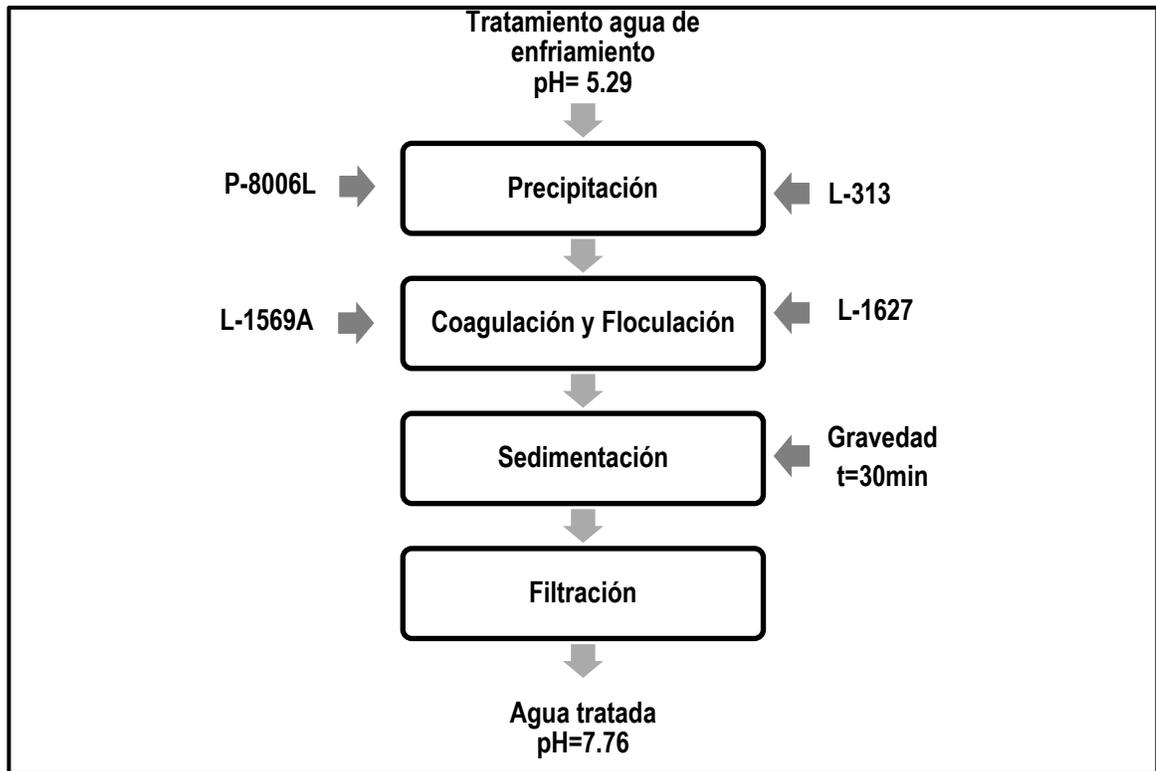
Tabla 33. Análisis de Resultados Tratamiento Agua de Enfriamiento

ANÁLISIS DE RESULTADOS					
AGUA DE ENFRIAMIENTO					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
pH	S.M 4500 - H+ B S.M 3030 E - EPA	Unid. pH	7.76	6.00 a 9.00	Cumple
Zinc (Zn)	3050 B S.M 3111 B S.M 3030 E - EPA	mg/L Zn	0.63	3.00	Cumple
Plomo (Pb)	3050 B S.M 3111 B	mg/L Pb	<0.1	0.20	cumple

Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander. (Anexo B.)

3.5.2.6 Descripción del tratamiento. Se describe a continuación el diagrama de flujo del tratamiento del agua de enfriamiento.

Figura 11. Diagrama de Flujo Agua de Enfriamiento



Fuente: Elaboración propia

3.5.2.7 Análisis de Resultados. De los coagulantes y floculantes proporcionados por Lipesa S.A.S para el tratamiento de aguas residuales, los productos que mejor desempeño presentan en la prueba de jarras son: El acondicionador de pH L-313, Removedor de metales P8006-L, Coagulante L-1627 y Floculante L-1569A. Determinados los productos, la dosis que presenta mejores resultados en cuanto a turbidez y velocidad de sedimentación es la Jarra#4 (ver tabla 22); al analizarla y compararla con el agua de enfriamiento sin tratar (ver tabla 23), se ajusta a los valores permisibles para el tratamiento y revestimiento de metales en cuanto pH, Plomo y Zinc, logrando remover el 99% del zinc presente en al agua en esta etapa.

Tabla 34. Eficiencia de Remoción Etapa de Enfriamiento

Cuba	Parámetro	Concentración Inicial (mg/L)	Concentración Final (mg/L)	Eficiencia de Remoción (%)
Enfriamiento	Zinc (Zn)	156.08	0,63	99%
	Plomo (Pb)	<0.1	<0.1	-

Fuente: Elaboración propia

3.6 TRATAMIENTO CUBA DE DECAPADO Y KLEANEX DECK

Para esta etapa se plantea analizar el tratamiento de la cuba de decapado (HCL 16%) actualmente utilizado en la planta de galvanizado por inmersión en caliente en GARCIA VEGA S.A.S, con el producto Kleanex Deck utilizado en la etapa de decapado a nivel laboratorio.

3.6.1 Decapado HCL 16%. Basándonos en los resultados obtenidos en el tratamiento del agua de enfriamiento, se procede a realizar la prueba de jarras para la cuba de decapado. Debido a la naturaleza acida de esta cuba, se sustituye el acondicionado de pH L-313 por carbonato de calcio ya se no se ajusta a las condiciones de pH de trabajo. La estrategia que se utiliza para este tratamiento se basa en los tiempos de disposición de la cuba de enfriamiento y la cuba de decapado. Estas cubas se disponen cada seis meses, por lo tanto, se opta por mezclar estas dos aguas residuales para unificar el tratamiento y realizar la correcta disposición. Se realizan dos pruebas de jarras las cuales contienen 60% de agua de enfriamiento y 40% de ácido clorhídrico al 16%, el volumen total de las muestras es de 500ml.

Tabla 35. Prueba de Jarras Etapa de Decapado

	J#1	J#2
pH inicial	0.47	0.47
Cal lechada (gr)	26	26
pH de trabajo	5.2	5.2
P-8006L (ppm)	1 600	2 400
L-1627 (ppm)	2 000	3 000
L-1569A (ppm)	4	4

Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander.

Ilustración 37. Prueba de Jarras Etapa Decapado



Fuente: Elaboración propia

Culminada la prueba de jarras, se observa que la Jarra#2 presenta Floc de tamaño relativamente grande, esponjoso, que sedimenta con lentitud. Se procede a llevar esta muestra a la siguiente etapa de neutralización a través del producto ALKA PI concentrado utilizado en la etapa de enjuague. Realizando adiciones de 0,5ml a la muestra, se logró ajustar el pH dentro de los límites permisibles según la norma. Para un volumen de 100ml de muestra, se utiliza 2,8ml de ALKA PI concentrado para ser neutralizada. Por último, la muestra es llevada a través de un filtro poroso y se procede a caracterizarla.

3.6.1.1 Caracterización Prueba de Jarras Etapa de Decapado. La siguiente tabla representa los resultados obtenidos de la prueba de jarras para la cuba de decapado. (Anexo B.)

Tabla 36. Análisis de Resultados Tratamiento Cuba de Decapado

ANÁLISIS DE RESULTADOS					
DECAPADO					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
Ph	S.M 4500 - H+ B	Unid. pH	6.54	6.00 a 9.00	Cumple
Cobre (Cu)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Cu	0.30	1.00	Cumple
Hierro (Fe)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Fe	17.09	3.00	No cumple
Niquel (Ni)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Ni	2.09	0.50	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Porcentaje de Remoción Prueba de Jarras Etapa de Decapado

	J#2
Turbidez Inicial	75.7
Turbidez final (NTU)	30.3
% Remoción de la turbidez	60%

Fuente: Elaboración propia

3.6.1.2 Análisis de resultados. De los resultados de la caracterización evidenciados en la tabla 25, se resalta que los únicos parámetros que cumplen con la norma son el pH y el cobre. Al comparar el hierro y el níquel presente inicialmente en la etapa de decapado (ver tabla) con los valores presentados luego de su tratamiento, se refleja que el 99% de hierro y el 98% de níquel fueron removidos durante el tratamiento; sin embargo, no se cumple con la norma para su disposición.

Para remover la totalidad de estos metales y dar cumplimiento a la norma, se debe adicionar una nueva etapa que permita: a partir de un tratamiento terciario, remover el hierro y el níquel presente logrando valores permisibles para la disposición del agua residual. Para ello, se sugiere un intercambio catiónico como estrategia de remoción de estos metales.

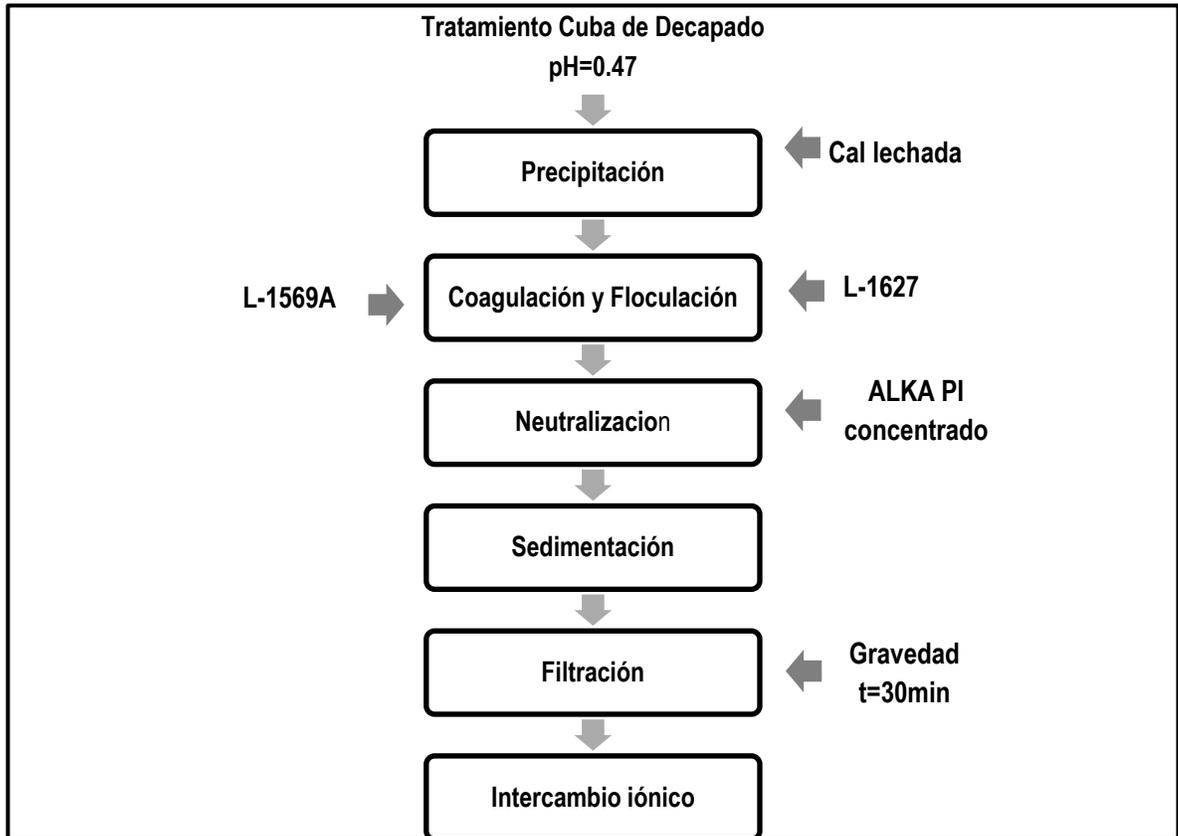
Tabla 38. Eficiencia de Remoción Etapa de Decapado

Cuba	Parámetro	Concentración Inicial (mg/L)	Concentración Final (mg/L)	Eficiencia de Remoción (%)
	Cobre (Cu)	1.38	0.63	54%
Decapado	Hierro (Fe)	110 850	17.09	99%
	Níquel	87.36	2.09	98%

Fuente: Elaboración Propia

Se describe a continuación el diagrama de flujo del tratamiento en la cuba de decapado.

Figura 12. Diagrama de Flujo Etapa de Decapado



Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Kleanex Deck. Esta prueba de jarras tiene como objetivo revisar las condiciones de tratabilidad del ácido orgánico de la marca Bycsa utilizado en las pruebas de las cubas piloto y compararlo con la tratabilidad del ácido clorhídrico. Se realiza una prueba de jarras la cual contiene 50% de agua de enfriamiento y 50% de Kleanex Deck, el volumen total de las muestras es de 500ml. La siguiente tabla representa un comparativo entre las concentraciones utilizadas para el tratamiento en la cuba de decapado, frente a las del Kleanex Deck. Se evidencia que las concentraciones del polímero P8006 y el coagulante L-1687, son menores al tratamiento en la cuba de decapado con HCL 16%; esta etapa a nivel laboratorio, solo contiene la solución del Kleanex Deck con agua, mientras que el ácido clorhídrico, contiene productos como iron save y antivapores haciendo más difícil su tratamiento.

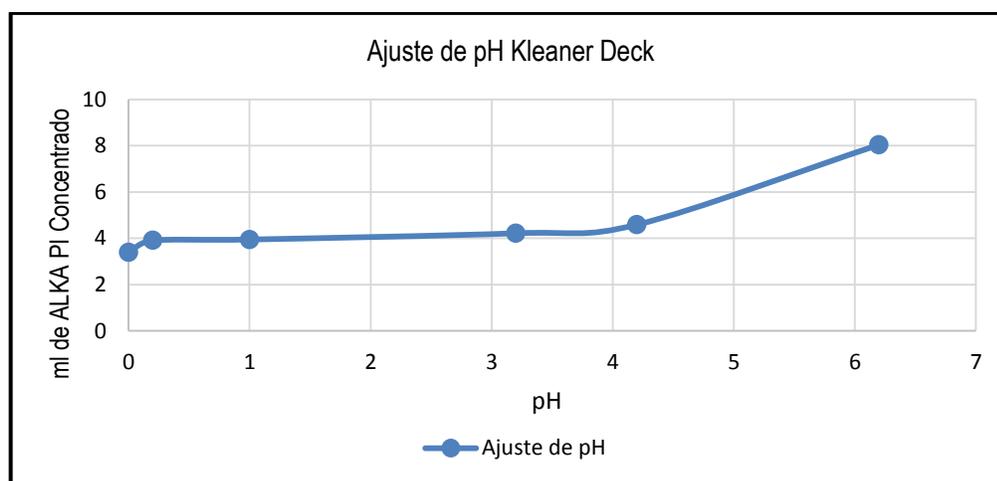
Tabla 39. Comparativo Concentraciones Ácido Clorhídrico Frente al Kleanex dec

	J- Acido Clorhídrico	J#1 Kleanex Dec
pH inicial	0.47	1.33
Cal lechada (gr)	26	26
pH de trabajo	5.2	5.2
P-8006L (ppm)	2 400	1 200
L-1627 (ppm)	3 000	2 000
L-1569A (ppm)	4	4

Fuente: Elaboración propia

Culminada la prueba para la jarra #1, se procede a llevar esta muestra a la siguiente etapa de neutralización a través del producto ALKA PI concentrado utilizado en la etapa de enjuague. Realizando adiciones de 0.5ml a la muestra, se logró ajustar el pH dentro de los límites permisibles según la norma. Para un volumen de 250ml de muestra, se utiliza 6.2ml de ALKA PI concentrado para ser neutralizada.

Grafica 20. Ajuste de pH Kleaner Deck.



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.1 Caracterización Prueba de Jarras Etapa de Decapado Kleanex Dec. La muestra es llevada a través de un filtro poroso y se procede a caracterizarla. (Anexo C.)

Tabla 40. Análisis de Resultados Decapado Kleanex Dec

ANÁLISIS DE RESULTADOS					
DECAPADO KLEANEX DECK					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	Resolución 0631 del 2015	Cumple / No cumple
pH	S.M 4500 - H+ B	Unid. pH	7.88	6.00 a 9.00	Cumple
Cobre (Cu)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Cu	0.11	1.00	Cumple
Hierro (Fe)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Fe	1.98	3.00	Cumple
Níquel (Ni)	S.M 3030 E - EPA 3050 B S.M 3111 B	mg/L Ni	0.66	0.50	No Cumple

Fuente: Elaboración propia basada en: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga- Santander.

Tabla 41. Porcentaje de Remoción Prueba de Jarras Etapa de Decapado

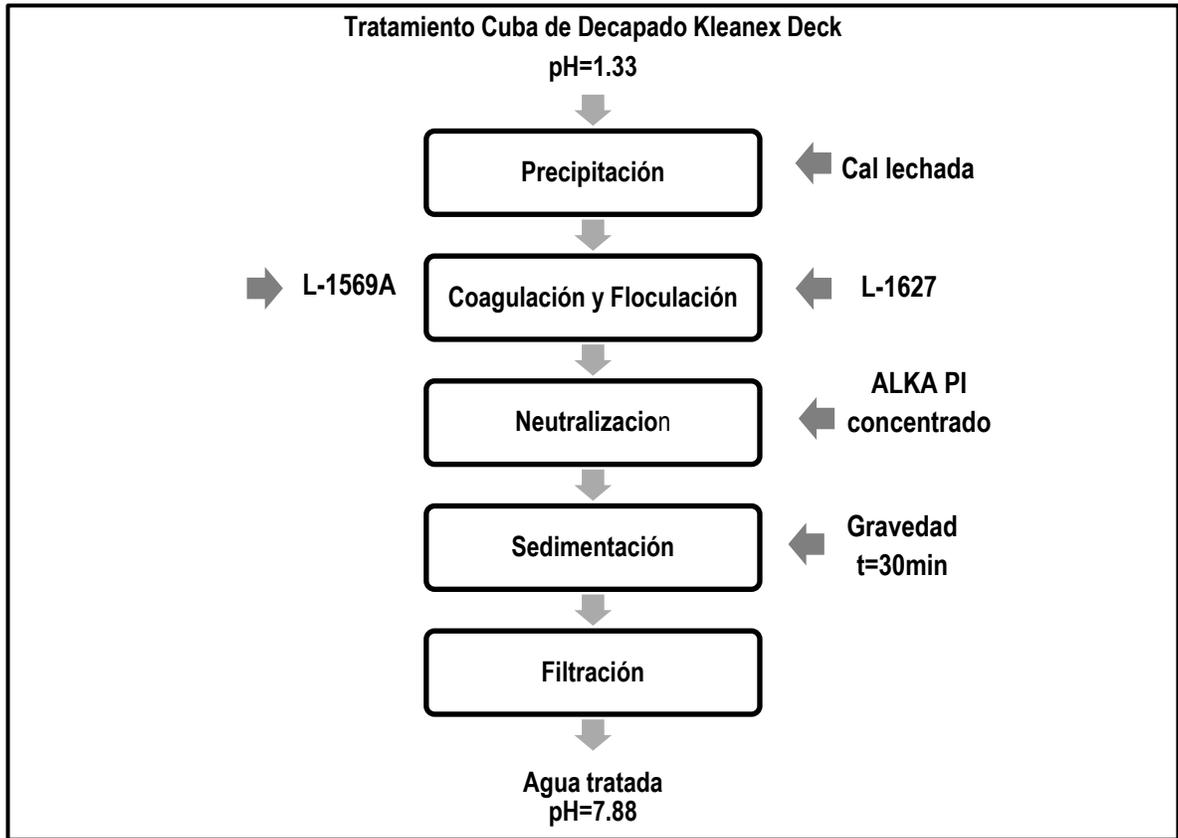
	J#Kleanex Dec
Turbidez Inicial	69.9
Turbidez final (NTU)	14.46
% Remoción de la turbidez	79%

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.2 Análisis de Resultados. De los resultados de la caracterización evidenciados en la tabla 36 para la cuba de decapado a nivel laboratorio, se obtiene que de los cuatro parámetros a analizar, tres cumplen con la normatividad 631 del 2015; el contenido de Níquel se logra acercarse al cumplimiento de la norma y si lo comparamos con el resultado obtenido en la tabla 33, se redujo en un 68% el contenido de Níquel. Se logró utilizar menor concentración de polímero P8006 y Coagulante L-1687 y obtener una correcta tratabilidad. Presenta un 79% de remoción de la turbidez obteniendo un producto clarificado.

3.6.2.3 Descripción del tratamiento. Se describe a continuación el diagrama de flujo del tratamiento del agua de enfriamiento.

Figura 13. Diagrama de Flujo Etapa de Decapado Kleanex Dec



Fuente: Elaboración propia

3.6.2.4 Ácido Clorhídrico Vs Kleanex Deck. Se muestra a continuación el comparativo de costos que necesarios para el óptimo funcionamiento de la cuba de decapado para los insumos utilizados actualmente contra los utilizados en la cuba de laboratorio.

Tabla 42. Insumos Cuba de Decapado García Vega

INSUMOS CUBA DE DECAPADO GARCÍA VEGA			
ITEM	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Ácido Clorhídrico	400 kg	\$ 1 700 / Kg	\$ 680 000
Antivapor- D	8 kg	\$ 22 800 /kg	\$ 182 400
IRON SAVE	3 kg	\$ 22 800/kg	\$ 68 400
TOTAL \$			930 800

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Insumos Prueba Cuba a Nivel Laboratorio

INSUMOS PRUEBA CUBAS A NIVEL LABORATORIO			
ITEM	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Kleanex Dec	55 Gal	\$ 17 570/ Kg	\$ 966 350
Cleaner FA	20 kg	\$ 9 690	\$ 1 938 000
TOTAL\$			2 904 350

Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto el costo de los productos utilizados en las cubas a nivel laboratorio son más costosos que los utilizados actualmente, sin embargo, utilizando estos productos ecoeficientes se evita un tratamiento terciario el cual puede generar sobrecostos en la tratabilidad los cuales serán difíciles de solventar.

3.6.3 Discusión de Resultados. Al comparar los resultados obtenidos del tratamiento del ácido clorhídrico al 16% con el Kleanex Dec y teniendo en cuenta que las dos soluciones se encontraban al final de su vida útil, se logra dar cumplimiento a tres de los cuatro parámetros a cuantificar presentando valores dentro de los límites permisibles para el ácido orgánico, también, este producto logra utilizar menor concentración para su tratamiento disminuyendo el factor económico, por otro lado, el volumen que se trata de ácido clorhídrico fue de 200ml mientras que el volumen de kleanex dec fue de 250ml. Se obtiene piezas decapadas con el producto a una concentración del 25% en volumen estando este valor dentro del límite inferior lo cual demuestra la capacidad decapante del producto y su eficiencia a concentraciones mínimas. Observando la descripción del tratamiento para el ácido clorhídrico frente al Kleanex Dec, para la primera, existe un tratamiento terciario, lo cual significa una etapa adicional generando mayores costos al tratamiento, el kleanex dec solo requiere de un tratamiento primario y terciario sin intercambio iónico para la remoción de contaminantes.

El kleanex dec demuestra similitud frente al ácido clorhídrico en cuanto a la acción decapante y la remoción de contaminantes presentes en la pieza, su superioridad se basa en la reducción de costos en su tratabilidad. Su acción decapante no requiere de otros insumos para inhibir su reacción, su versatilidad en concentración permite estandarizar la cuba de acuerdo con el tipo de material que se vaya a procesar, no está catalogado como un químico controlado por ende se elimina los trámites y balances para el control del producto. De lo anterior, el kleanex dec puede sustituir al ácido clorhídrico al 16% como solución decapante en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase experimental y a los diagramas de flujo obtenidos para cada tratamiento realizado, se determinarán este capítulo las especificaciones técnicas del sistema mediante el dimensionamiento, dosificación y equipos necesarios, de manera que el agua resultante de este sistema de cumplimiento a los parámetros evaluados de la resolución 0631 de 2015 para el vertimiento de aguas puntuales sector de tratamiento y revestimiento de metales.

4.1 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Basándonos en la secuencia establecida, las operaciones unitarias involucradas en el sistema de tratamiento son filtración inicial en trampa de grasas, precipitación, coagulación, sedimentación y filtración. En la ilustración 38 se muestran el layout de la secuencia de equipos más importantes para la aplicación del sistema de tratamiento.

4.1.1 Trampa de grasas. Se plantea como equipo inicial una trampa de grasas la cual se encuentra en funcionamiento en la planta de galvanizado por inmersión en caliente de García Vega debido al contenido de aceites y grasa que posea el material. Con base en el caudal del efluente (L/min) la capacidad de almacenamiento mínimo de grasa (Kg), que debe ser de una cuarta parte del caudal generado.

“Según la norma RAS 2000 en la sección II, Título E numeral E.3.3.2. En los parámetros de diseño se establece que el tanque debe tener 0.25m² de área por cada L/s y la relación ancho/longitud es de 1:4 hasta 1:18. A continuación se muestran los tiempos de retención estipulados según el caudal de entrada a la trampa de grasas⁶²”.

Tabla 44. Tiempos de Retención Hidráulicos

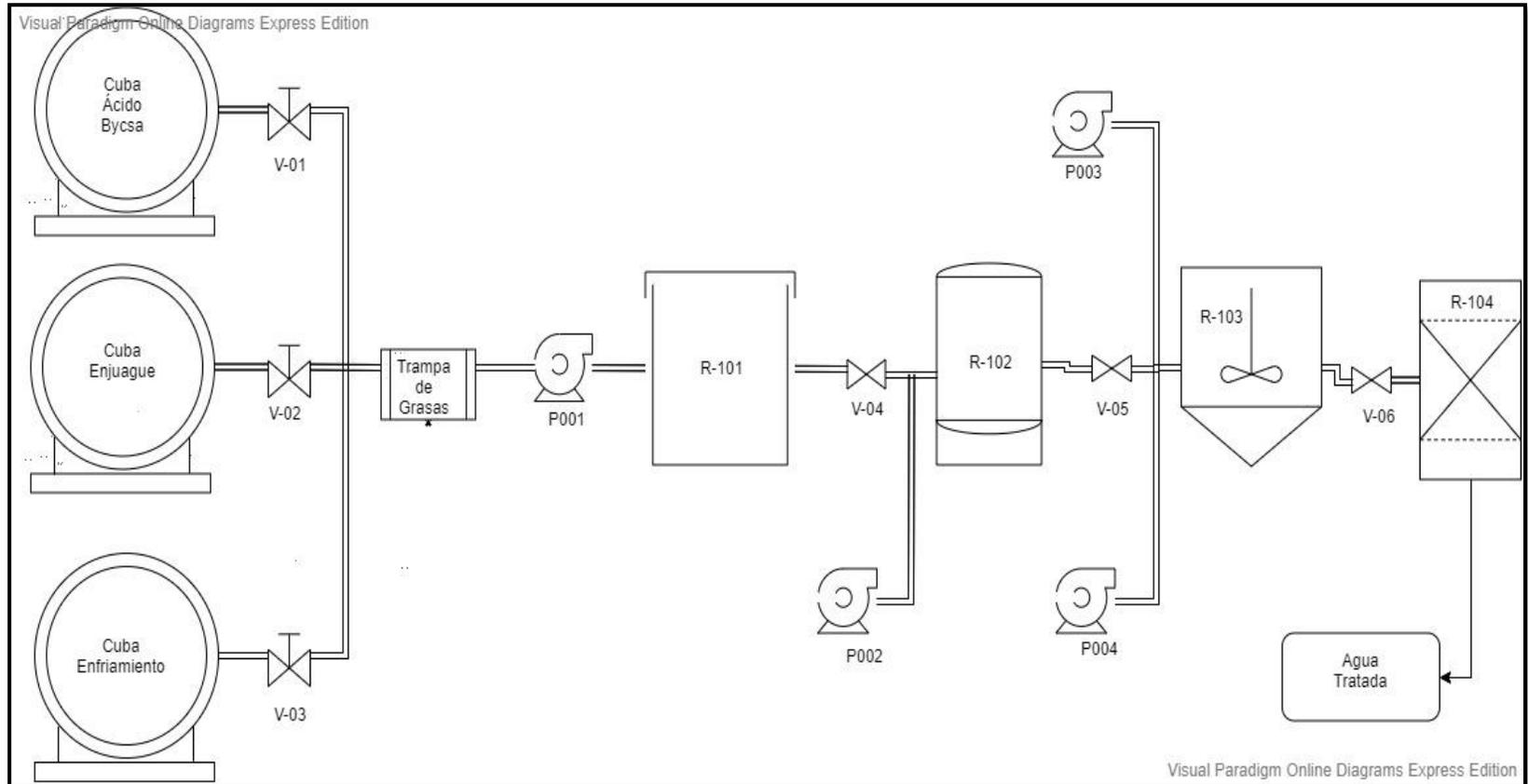
TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	CAUDAL DE ENTRADA (L/s)
3	2-9
4	10-19
5	20 o más

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS - 2000. Tratamiento de aguas residuales

⁶² MINVIVIENDA. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS. [en línea]. Bogotá D.C 2000. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>.

De acuerdo con la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales, evidenciadas en el capítulo anterior, se determina como caudal de diseño 6L/min correspondiente a la suma de caudal que va a ingresar a la trampa de grasas.

Ilustración 38. Layout Sistema de Tratamiento



Fuente: Elaboración propia

$$Q_{Entrada} = 0.1 \frac{L}{s}$$

Área: Para el cálculo del área se toma como referencia el parámetro de la norma RAS donde especifica que el tanque debe tener $0.25m^2$ de área por cada L/s.

Ecuación 7. Caudal de Entrada

$$A = Q_{Entrada} \left(\frac{L}{s} \right) * \left(\frac{0.25m^2}{1 \frac{L}{s}} \right)$$

$$A = 0.1 \frac{l}{s} * \left(\frac{0.25m^2}{1 \frac{L}{s}} \right) = 0.025m^2$$

Relación ancho / longitud: De acuerdo a la relación mínima de ancho / longitud de 1:4 establecida se tiene que:

Ecuación 8. Calculo del Área

$$A = w * l$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering
calculations

La relación ancho/longitud vienen dado por las siguientes ecuaciones

Ecuación 9. Relación
ancho/longitud Trampa de
grasas

$$l = 4 * w$$

$$w = \sqrt{\frac{\text{área}}{4}} = \sqrt{\frac{0.025m^2}{4}} = 0.079m$$

La longitud de es:

$$l = 4 * 0.079m = 0.316m$$

Volumen útil: “Indica la cantidad de agua máxima almacenable”⁶³

Ecuación 8.
Volumen Útil

$$Vu = Q * t$$

Dónde:

Q= Caudal de entrada (L/s)

t= Tiempo de retención

Fuente: LEE, C. C. and LIN,
Shun Dar. Handbook of
environmental engineering
calculations

A partir de la tabla 30, se estima el tiempo de retención mínimo con respecto a dicho caudal (3 min = 180 s).

$$Vu = 0.1 \frac{l}{s} * 180 s = 18L \approx 0.018m^3$$

Profundidad útil: “Se establece como la profundidad entre el fondo de la trampa de grasa y la superficie del volumen ocupado”.⁶⁴

Ecuación 10.
Profundidad
Útil

$$Pu = \frac{Vu}{A}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN,
Shun Dar. Handbook of
environmental engineering
calculations

$$Pu = \frac{0.018m^3}{0.025m^2} = 0.72m$$

4.1.2 Tanque de Homogenización. “Su función es regular los efectos de la variación del flujo o de la concentración en las aguas residuales, este tanque debe tener la capacidad suficiente para retener el flujo de agua que se a tratar”.⁶⁵ Para

⁶³ LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering calculations. McGraw Hill, 2007.p.6

⁶⁴ Ibíd, p.6

⁶⁵ PRIETO BERNAL, W.j. SOLER URIBE, Emily. Evaluación de una propuesta de un sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizante. [En línea].

el cálculo del diámetro del tanque se toma el valor de volumen de agua residual producido en un día de acuerdo a los datos proporcionados por la empresa (0.6 m³); dicho valor se basa en el volumen de la cuba de enfriamiento el cual es cambiado cada cinco días. “La relación altura/ diámetro es 1.5 y un factor de seguridad de 15%”⁶⁶. La siguiente ecuación representa el volumen del tanque homogeneizador.

Ecuación 11. Volumen del Tanque

$$V_{tanque} = V_{producido} + (V_{producido} * \text{factor de seguridad})$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering calculations

$$V_{tanque} = 0.6m^3 + (0.6m^3 * 0.15)$$

$$V_{tanque} = 0.69m^3$$

Diámetro: Partiendo del volumen teórico de un tanque (Ecuación 11.) se puede determinar el diámetro de este reemplazando la relación establecida de altura/ diámetro.

Ecuación 12. Volumen de Un Cilindro

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{4} * D^2 * h$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering

Donde:

D= Diámetro cilindro

h= Altura cilindro

Ecuación 13. Diámetro Tanque de Homogenización

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{tanque}^3}{1.5 * \pi}}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering

Monográfica. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C: 2019. p.105. [Consultado 15 abril, 2020]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7407>

⁶⁶ Ibíd , p.105

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.69m^3}{1.5 * \pi}} = 0.83m$$

Altura: “A partir del diámetro del tanque se obtiene la altura mediante la relación establecida entre la altura y el diámetro de 1.5102”⁶⁷.

Ecuación 14. Altura
Tanque de
Homogenización

$$h = D * 1.5$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

$$h = 0.83m * 1.5 = 1.245m$$

Área: El área del tanque está representada por la siguiente ecuación.

Ecuación 15. Área
del tanque de
homogenización

$$\text{Área} = \frac{V}{h}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

$$\text{Área} = \frac{0.69m^3}{1.245m} = 0.55m^2$$

Agitador: “De acuerdo con el valor obtenido de diámetro del tanque y teniendo en cuenta que la relación entre el diámetro del tanque con el diámetro del agitador es de 3 unidades y la relación entre la altura del agitador con respecto al diámetro del mismo es de 1103”⁶⁸. Es posible realizar los siguientes cálculos.

⁶⁷ ROMEO ROJAS, Jairo Alberto. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. teoría y principios del diseño; Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. p.1090

⁶⁸ Ibíd. P. 52-56

Ecuación 16.
Diámetro del
Agitador

$$\frac{D}{d} = 3$$

$$d = \frac{0.83m}{3}$$

$$d = 0.278m$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

Ecuación 17.
Determinación
Altura Agitador

$$\frac{h}{d} = 1$$

$$\frac{h}{0.278m} = 1$$

$$h = 0.278m$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

Donde

D= diámetro del tanque

d= diámetro del agitador

Teniendo en cuenta los datos anteriores del diámetro y altura, se procede a diseñar la paleta de agitación mediante las siguientes ecuaciones.

Longitud agitador: “A partir del diámetro del agitador usando la ecuación 17”.⁶⁹

Ecuación 18. Longitud de La
Paleta de Agitación del
Tanque Homogeneizador

$$r = \frac{d}{4}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

$$r = \frac{0.278}{4} = 0.0695m$$

⁶⁹ LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering calculations. McGraw Hill, 2007.p.23

Diámetro del disco central: “A partir del diámetro del tanque de homogenización usando la ecuación 18”⁷⁰.

Ecuación 19. Diámetro del Tanque Homogeneizador

$$S = \frac{D}{4}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering

$$S = \frac{0.83}{4} = 0.207m$$

Potencia: “Para establecer la potencia requerida se tiene en cuenta la ecuación 19”⁷¹.

Ecuación 20. Potencia Requerida del Tanque Homogeneizador

$$P = k * \rho * N^3 * d^5$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering

Dónde:

P= Potencia requerida

ρ = Densidad

K= Factor de geometría del impulsor

N= Velocidad de rotación

d= Diámetro del agitador

“El valor del factor de geometría es constante 6.30”⁷², “la densidad del agua 1000 kg/m³ y la velocidad de rotación se estima como 100 rpm \approx 1.67 rps”⁷³.

$$P = 6.30 * 1000 \frac{kg}{m^3} * (1.67rps * 2\pi)^3 * (0.278)^5 = 12\ 085\ W$$

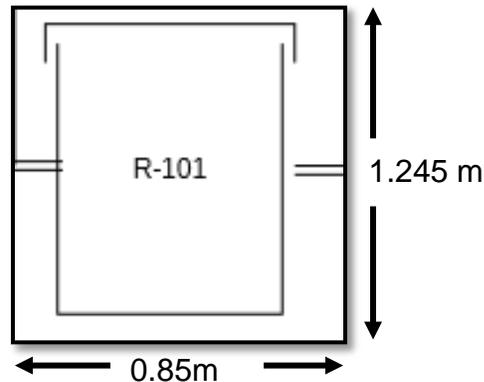
⁷⁰ ROMEO ROJAS, op. cit, p 23

⁷¹ Ibíd. P.53

⁷² LEE and LIN, op. cit, p. 34

⁷³ ROMEO ROJAS, op. cit, p 53

Figura 14. Tanque Homogeneizador



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Tanque Precipitador. Suministro de tanque rectangular reactor en material de PRFV "poliéster reforzado con fibra de vidrio" dimensiones: Largo 5.10m; Ancho 1.00m; Altura 2.00m incluye soporte para tubería de aireación, drenajes unión rosca NPT para purga de lodos \varnothing 2" en la cámara, cono de precipitación en el tanque con tiempo de retención de 30 minutos.

4.1.4 Tanque Floculador. Para el diseño de este sistema, se contó con el apoyo de la empresa SANIAAGUAS S.A.S esta determinó las siguientes características para esta etapa.

Generalidades del sistema:

La floculación por aire permite una mezcla activa de los productos químicos con el agua a tratar.

El método de tratamiento se basa en aireación extendida para obtener una floculación eficiente. El agua residual industrial cruda es alimentada al compartimiento de aireación de la planta por gravedad o por bombeo. En la cámara de aireación, el agua residual se mezcla con coagulantes, polímeros y corrector de PH mediante el aire de los difusores. El aire es distribuido por difusores de microburbuja alineados a lo largo de un costado cerca del fondo de la cámara, esto asegura una mezcla adecuada y evita la existencia de puntos muertos en el tanque de aireación. La cámara es agitada en la parte superior como en el fondo para prevenir la sedimentación de lodo, homogeneizar los contenidos en el tanque de aireación y mantener una floculación adecuada con los productos químicos. El aire para los difusores y las bombas de retorno se suministra por una unidad de soplado de baja presión. El flujo de agua procedente

de la cámara de aireación pasa a la cámara de aquietamiento permitiendo una floculación lenta. Luego pasando al sistema de sedimentación para su clarificación mediante la sedimentación de los sólidos. El clarificador está diseñado para proveer un mínimo de cuatro horas de retención con la apropiada rata de sedimentación basada en un tiempo de proceso total de 24 horas. Periódicamente el exceso de lodo es retirado a los lechos de secado para su disposición final. El efluente del clarificador es bombeado a un filtro de arena, grava para su posterior vertimiento. La alta eficiencia de la unidad garantiza que el agua puede ser dispuesta directamente por irrigación o utilizada para otros usos.

Ventajas del sistema:

- Optimización del espacio, debido a su diseño compacto que permite realizar múltiples operaciones en una sola unidad
- Bajos costos de operación.
- Sistema probado en plantas similares y con resultados excelentes respecto a eficiencia en remoción de metales.
- Sistema modular y compacto con mínimos requerimientos de espacio y energía.

Tabla 45. Dimensiones Reactor Floculador

Dimensiones Reactor Floculador	
Caudal de diseño (l/s)	0.07
Tiempo de retención (horas)	1
Volumen de unidad (L)	252
Largo (m)	1.5
Ancho (m)	1.00
Altura(m)	1.70m +0.30m borde libre = 2.00m

Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de proceso galvanizado tipo compacta. SANIAGUAS S.A.S.

4.1.5. Tanque Clarificador.

El clarificador es un tanque de sedimentación utilizado para la remoción de sólidos, este tanque permite concentrar los contaminantes y eliminarlos por medio de los lodos residuales. Homólogo al tanque de homogenización se determina el volumen del tanque clarificador por medio del

factor de seguridad del 15% y las dimensiones mediante la relación altura/diámetro de 1.5⁷⁴.

Volumen Tanque Clarificador: se calcula con el mismo procedimiento del tanque de homogenización puesto que se determina que el volumen de la corriente de entrada al tanque homogeneizador es el mismo volumen de la corriente de salida, este último es corresponde a la corriente de entrada del tanque clarificador.

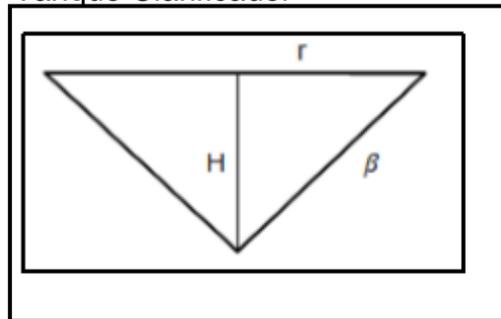
$$V_{tanque} = 0.6m^3 + (0.6m^3 * 0.15)$$

$$V_{tanque} = 0.69m^3$$

Sección cónica: La sección cónica del clarificador permite la correcta sedimentación de los sólidos suspendidos en el agua residual, teniendo en cuenta la experimentación realizada para la prueba de sedimentación, por cada 250 ml de muestra de agua tratada mediante la clarificación, se produjeron 75 ml de lodo, de acuerdo con esto, la cantidad de solidos generado es 1/3 partes aproximadamente del volumen total de agua.

“Esta sección se asimila como un triángulo rectángulo para su dimensionamiento, de este modo hay un Ángulo de 45° sobre la horizontal”⁷⁵. “Como se muestra en la ilustración 7. Para establecer el diámetro se toma el valor de la tangente obtenida mediante la ecuación”⁷⁶.

Ilustración 39. Sección Cónica del Tanque Clarificador



Fuente: HERNANDEZ ARIZALA, Diana and LEAL, Paula. Ingeniería básica de un sistema para el tratamiento de aguas residuales en Cárnicos Rico Jamón

⁷⁴ Ibíd. p. 1090

⁷⁵ HERNANDEZ ARIZALA, Diana and LEAL, Paula. Ingeniería básica de un sistema para el tratamiento de aguas residuales en Cárnicos Rico Jamón; Fundación Universidad de América, 2009.

⁷⁶ LEE and LIN, op. cit, p. 23

Ecuación 21. Calculo Tangente
Sección Cónica del Tanque
Clarificador

$$\text{Tangente } (\beta) = \frac{H}{r}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

Ecuación 22. Calculo Cateto Opuesto Sección Cónica
Tanque Clarificador

$$\text{Cateto opuesto} = H \text{ sección cónica} = \text{Tangente } (\beta) * r$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

Convirtiendo 45° en radianes se tiene:

$$45^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{45^\circ \pi}{180^\circ} = \frac{\pi}{4} = 0.785 \text{ radianes}$$

Altura sección cónica: Teniendo en cuenta los datos obtenidos, es posible determinar la altura de la sección cónica a partir de la ecuación 21

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0.83}{2} = 0.415m$$

$$\text{Cateto opuesto} = h \text{ sección cónica} = \text{Tangente } (0.785) * 0.415m = 0.415m$$

Volumen sección cónica: mediante la ecuación teórica del volumen de un cono y la altura previamente calculada se determina el volumen.

Ecuación 23. Volumen de Un Cono

$$V_{\text{sección cónica}} = \frac{\pi * r^2 * h_{\text{cono}}}{3}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

$$V_{\text{sección cónica}} = \frac{\pi * 0.415^2 * 0.415}{3} = 0.075m^3$$

Sección cilíndrica: Determinada las dimensiones de la sección cónica del tanque clarificador, es posible determinar las dimensiones de la sección cónica del tanque clarificador.

Volumen sección cilíndrica: “se determina mediante la diferencia el volumen total del tanque de clarificación y el volumen de la sección cónica”⁷⁷.

Ecuación 24. Volumen sección cilíndrica del tanque clarificador

$$V_{\text{sección cilíndrica}} = V_{\text{tanque clarificador}} - \text{Sección cónica}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

$$V_{\text{sección cilíndrica}} = 0.69m^3 - 0.075m^3 = 0.615m^3$$

Altura sección cilíndrica: el volumen del cilindro se calcula con los datos obtenidos de la sección cilíndrica utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 25. Área Sección Cilíndrica del Tanque Clarificador

$$h_{\text{Sección Cilíndrica}} = \frac{4 * \text{Sección cilíndrica}}{\pi * D^2}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

$$h_{\text{Sección Cilíndrica}} = \frac{4 * 0.615m^3}{\pi * 0.83^2} = 1.13m$$

⁷⁷ PRIETO BERNAL, W.j. SOLER URIBE, Emily. Evaluación de una propuesta de un sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizante. [En línea]. Monográfica. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C: 2019. p.105. [Consultado 15 abril, 2020]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7407>

Altura total del tanque: obteniendo los resultados de las alturas de las secciones cónicas y cilíndricas, se calcula la altura del tanque clarificador mediante la siguiente ecuación.

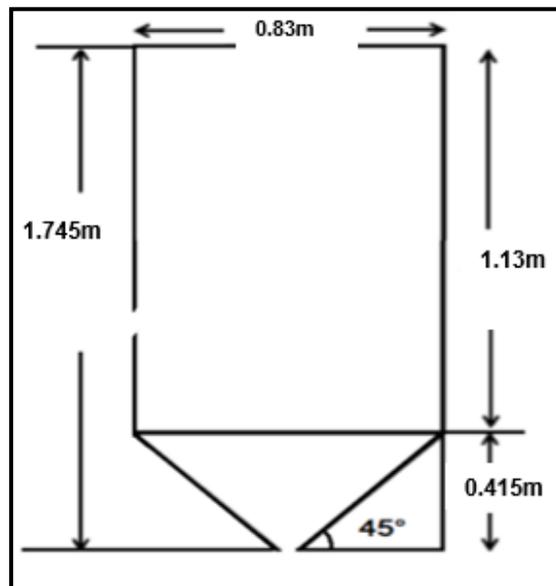
Ecuación 26. Altura Total del Tanque Clarificador

$$h_{Total} = h_{Sección\ Cónica} + h_{Sección\ Cilíndrica}$$

Fuente: LEE, C. C. and LIN, Shun Dar.
Handbook of environmental engineering

$$h_{Total} = 0.615 + 1.13m = 1.745m$$

Ilustración 40. Tanque Clarificador



Fuente: Elaboración propia basada en:
PRIETO BERNAL, W.j. SOLER URIBE,
Emily. Evaluación de una propuesta de
un sistema de tratamiento para el agua
residual industrial generada en una
empresa de saborizante

4.1.6 Tanque de Filtrado. “El objetivo básico de la filtración, por lo tanto, es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia, el

trabajo que los filtros desempeñan depende directamente de la mayor o menor eficacia de los procesos preparatorios”⁷⁸.

La filtración, como operación unitaria para los procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Actualmente la filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión, de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos. La filtración puede realizarse como etapa única de separación de sólidos en suspensión o con un tratamiento previo de coagulación floculación que permita separar los sólidos de menor tamaño y la materia coloidal⁷⁹.

“Para el diseño del filtro se tiene en cuenta el tamaño del medio filtrante, la tasa de filtración, la profundidad del lecho de filtración y la pérdida de carga disponible”⁸⁰. A continuación, se presenta las características típicas de diseño para filtros mono medio.

Tabla 46. Características Típicas de Diseño para Filtros Mono Medio

CARACTERISTICAS	VALOR	
	INTERVALO	TIPICO
Profundidad (cm)	90-210	150
Tamaño efectivo (mm)	2- 4	2.75
Coefficiente de uniformidad	1.3 - 1.8	1.6
Tasa de filtración (m/d)	120 - 600	300

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios del diseño; Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. pag.671.

Profundidad: La profundidad del lecho se determina con el promedio de las profundidades en el intervalo del cuadro 32.

⁷⁸ Arboleda Valencia, J., Soto, R., & Arnul, R. T. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3 ed Mc graw Hill, Colombia, 2000. Cap 1-2. ISBN 9789584100153

⁷⁹ OTERO CALVIÑO, Natalia. Filtración de aguas residuales para reutilización, [En línea]. Monografía. Universidad de la Laguna, España 2009. P110. [Consultado 23, abril, 2020. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10239/cp273.pdf?sequence=1&is>

⁸⁰ PRIETO BERNAL, W.j. SOLER URIBE, Emily. Evaluación de una propuesta de un sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizante. [En línea]. Monográfica. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C: 2019. p.105. [Consultado 15 abril, 2020]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7407>

Ecuación 27. Profundidad de Lecho

$$Profundidad = \frac{90\text{ m} + 210\text{ m}}{2} = 150\text{ m}$$

Fuente: Arboleda Valencia, J., Soto, R., & Arnul, R. T.
Teoría y práctica de la purificación del agua

Tamaño efectivo: El tamaño efectivo para nuestro filtro que en este caso es zeolita el cual fue recomendado por el proveedor se determina por el promedio del intervalo establecido en el cuadro 32.

Ecuación 28. Tamaño Efectivo Zeolita

$$Tamaño\ efectivo = \frac{2\text{ mm} + 4\text{ mm}}{2} = 3\text{ mm}$$

Fuente: Arboleda Valencia, J., Soto, R., & Arnul, R. T.
Teoría y práctica de la purificación del agua

Área de filtración: El área de filtración se determina mediante el cuadro 32

Ecuación 29. Área de Filtración

$$A_{Filtración} = \frac{8.64 \frac{m^3}{día}}{120 \frac{m}{día}} = 0.072\text{ m}$$

Fuente: Arboleda Valencia, J., Soto, R., & Arnul, R. T.
Teoría y práctica de la purificación del agua

$$A_{Filtración} = \frac{8.64 \frac{m^3}{día}}{120 \frac{m}{día}} = 0.072\text{ m}^2$$

Volumen del filtro: Para determinar la altura del filtro se establece una altura de 1.65 m y un espacio vacío de 15cm

Ecuación 30. Volumen Filtro

$$V_{Filtro} = A_{Transversal} * h$$

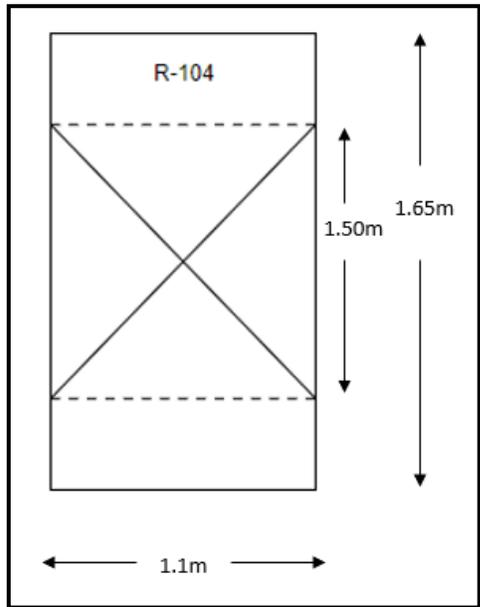
Fuente: Arboleda Valencia, J., Soto, R., & Arnul, R. T. Teoría y práctica de la purificación del agua

$$V_{Filtro} = 0.072m^2 * 1.65m = 0.11m^3$$

“Se determina el diámetro del filtro usando la relación $h/D = 1.5$ ”⁸¹.

$$D = \frac{h}{1.5} = \frac{1.65m}{1.5} = 1.1m$$

Ilustración 41. Sistema de Filtración.



Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos para el sistema de filtración, el proveedor SANIAGUAS S.A.S nos ofrece el siguiente sistema de filtración para cumplir con la necesidad del proyecto.

⁸¹ ROMEO ROJAS, op. cit, p. 1090

La planta estará dotada con UN (2) filtro a presión de 16" de diámetro: Diseñado para una presión de operación de 30 libras por pulgada cuadrada (psi), que permiten obtener una calidad de agua mejor:

- Válvulas de operación.
- Distribuidores y colectores internos
- Medio filtrante Arena y Zeolita

4.2 DOSIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS

Para la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, se deben determinar las dosificaciones necesarias de los siguientes insumos: acondicionador de pH, removedor de metales, coagulantes y floculantes establecidos en el capítulo 3. Para el cálculo de las cantidades se toma como base $0.6m^3$, según los datos otorgados por la empresa en estudio y utilizado para el cálculo en el diseño de los tanques de homogenización y clarificador. Es importante resaltar que el volumen corresponde a el agua residual producida en un día (Jornada laboral de 8 horas) por ende, se estima la realización del tratamiento cada cinco días para el agua de enjuague y mensual para la cuba de decapado y enfriamiento.

4.2.1 Acondicionador de pH. El acondicionador de pH L-313 de Lipesa permite ajustar el pH del agua de enfriamiento. Para llevar la muestra de agua de 500ml de pH de 5.29 a 11.0 se requieren 2ml de producto. A continuación, se presenta la relación del producto utilizado en cierto volumen de agua e enfriamiento a nivel laboratorio.

$$Relación L - 313 = \frac{2ml L - 313}{500ml de agua de enfriamiento}$$

De acuerdo con la relación anterior es posible determinar el volumen requerido del insumo Lipesa L-313 para ajustar el pH al volumen de agua para el tratamiento establecido.

$$0.6m^3 A.R.I. * \frac{1e^6 ml A.R.I}{1m^3 A.R.I} * \frac{2ml L - 313}{500ml de aua de enfriamiento} * \frac{1L (L - 313)}{1000ml L - 313}$$

$$V_{(L-313)} = 2.4L$$

De igual manera, se determina el volumen necesario para la neutralización de la cuba de enjuague y la cuba de decapado (kleanex deck) con el producto ALKA PI concentrado

$$0.6m^3 A. R. I. * \frac{1e^6 ml A. R. I}{1m^3 A. R. I} * \frac{0.81ml ALKA PI}{100ml de aua de enfriamiento} * \frac{1L (L - 313)}{1000ml L - 313}$$

$$V_{Alka Pi Concentrado} = 4.86L$$

$$0.6m^3 A. R. I. * \frac{1e^6 ml A. R. I}{1m^3 A. R. I} * \frac{6.2ml ALKA PI}{250ml de aua de enfriamiento} * \frac{1L (L - 313)}{1000ml L - 313}$$

$$V_{ALKA PI concentrado Kleanex deck} = 14.88L$$

4.2.1 Dosificación coagulante. De acuerdo con la prueba de jarras realizado para determinar el coagulante y la concentración que mayor eficiencia presente, se seleccionan los coagulantes P8006L y el L1627 los cuales fueron añadidos a una concentración de 100ppm y 600ppm respectivamente en un volumen de 500ml de agua de enfriamiento, dicha concentración corresponde a 0.25ml para el P8006L y 1.5ml para L1627. A continuación, se presenta la relación de volumen de los coagulantes usados en cierto volumen de agua residual.

$$Relación P8006L = \frac{0.25ml P8006L}{500ml de agua de enfriamiento}$$

$$Relación L1627 = \frac{1.5ml P8006L}{500ml de agua de enfriamiento}$$

De acuerdo con la relación anterior, es posible determinar el volumen requerido de los coagulantes P8006L y L1627 necesario para obtener el mayor porcentaje de remoción en el agua de enfriamiento.

$$0.6m^3 A. R. I. * \frac{1e^6 ml A. R. I}{1m^3 A. R. I} * \frac{0.25ml P8006L}{500ml de aua de enfriamiento} * \frac{1L P8006L}{1000ml P8006L}$$

$$0.6m^3 A. R. I. * \frac{1e^6 ml A. R. I}{1m^3 A. R. I} * \frac{1.5ml L1627}{500ml de aua de enfriamiento} * \frac{1L L1627}{1000ml L1627}$$

$$Relación P8006L = 0.3L$$

$$Cantidad P8006L (Kg) = 0.315 kg$$

$$Relación L1627 = 1.8L$$

$$Relación L1627 = 2.304 Kg$$

De igual manera se determina el volumen requerido para el tratamiento de la cuba de decapado con el ácido bycsa cuya caracterización cumple con la resolución 0631. Dicho tratamiento del ácido se contempla bimestral

$$Relación P8006L Ácido Bycsa = 3.6L$$

$$Cantidad P8006L (Kg) = 3.78 kg$$

$$Relación L1627 Ácido Bycsa = 6.0L$$

$$Relación L1627 = 7.68 Kg$$

4.2.3 Dosificación floculante. En la prueba de jarras el floculante catiónico de alto peso molecular L-569 es el que mejor rendimiento presenta, su concentración fue de 1ppm. A continuación, se presenta la relación de volumen de los coagulantes usados en cierto volumen de agua residual.

$$0.6m^3 A. R. I. * \frac{1e^6 ml A. R. I}{1m^3 A. R. I} * \frac{0.5ml P8006L}{500ml de aua de enfriamiento} * \frac{1L P8006L}{1000ml P8006L}$$

$$Relación L569A = 0.6L$$

$$Relación L569A (gr) = < 1$$

De igual manera se determina el volumen requerido para el tratamiento de la cuba de decapado con el ácido bycsa cuya caracterización cumple con la resolución 0631.

Relación L569A Ácido Bycsa = 2.4L

Relación L569A Ácido Bycsa (g) =< 1

En la siguiente tabla se evidencian las cantidades totales requeridas para desarrollar el sistema de tratamiento. Se establece un periodo de 28 días correspondiente al promedio de una jornada laboral.

Tabla 47. Cantidades Reactivos Químicos

Sustancia	Cantidad por tratamiento (kg)	Volumen por tratamiento (L)	Cantidad Mensual (kg)
Acondicionador de pH L313	3.384	2.4	17
ALKA PI CONCENTRADO	21.714	19.74	607
Coagulante P8006I	4.095	3.9	115
Coagulante L1627	2.304	7.8	10
Floculante 1569A	0.001	0.1	< 1

Fuente: Elaboración propia

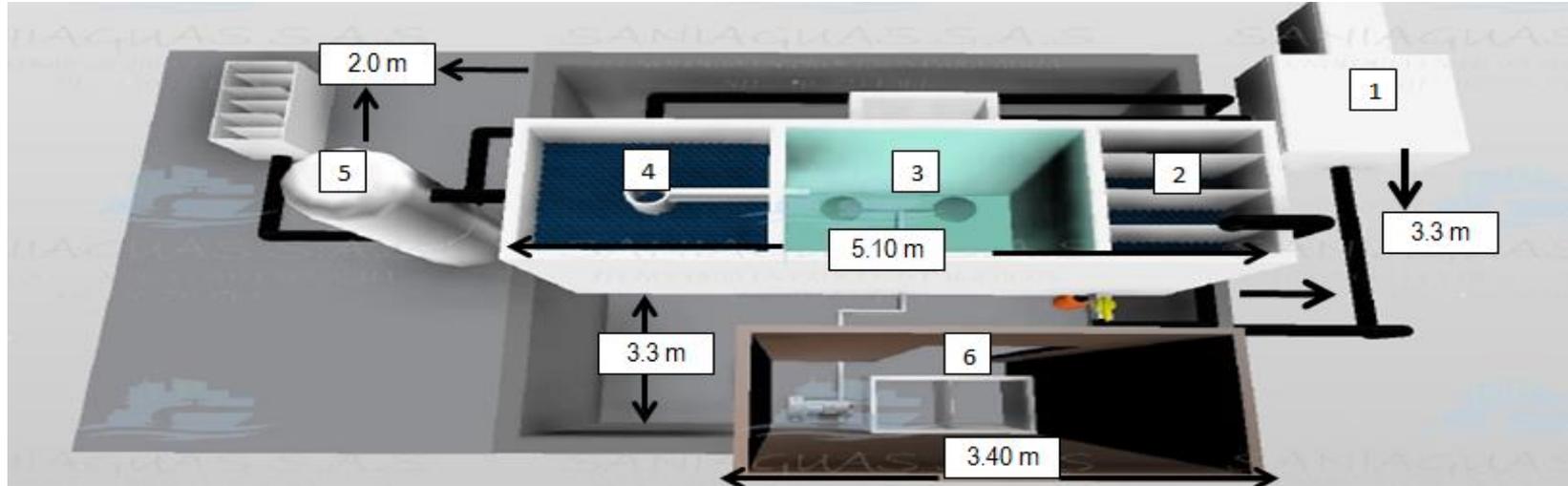
Es importante resaltar que los datos calculados corresponden a que se traten aproximadamente 17m³ de agua residual mensual del proceso de galvanizado por inmersión en caliente reemplazando el ácido clorhídrico actualmente utilizado por el compuesto Kleanex dec.

En este capítulo se muestra el dimensionamiento básico de los equipos necesarios para la implementación del sistema de tratamiento establecido, entre estos se incluye la trampa de grasas que busca reducir el contenido de grasas y aceites, el tanque homogeneizador cuya alimentación es impulsada por una bomba centrífuga, que además de almacenar el agua y agitarla para evitar la sedimentación de los sólidos disueltos, permite regular los efectos de la variación del flujo y controlar así el caudal alimentado al tanque clarificador; posteriormente ingresa al tanque precipitador rectangular donde se dosifican los acondicionadores de pH y cuenta con un sistema de sedimentación de lodos, luego ingresa se lleva a cabo el proceso de clarificación conformado por coagulación, floculación y posterior sedimentación, consta de bombas dosificadoras para la alimentación de los reactivos involucrados y una salida para la disposición de los lodos residuales. Por último, se plantea un tanque de filtración monomedio con zeolita que elimina posibles residuos sólidos y contribuye a la remoción de materia orgánica resultante. Además del dimensionamiento se determinó la dosificación necesaria para la clarificación.

Se plantea en la siguiente ilustración la propuesta de la empresa Saniaguas para el sistema de tratamiento de las aguas residuales con sus respectivas dimensiones y espaciamento de equipos con un área total de 97 m² y capacidad 6000 L/día, cabe resaltar que los equipos y especificaciones están diseñados para un tratamiento intermitente el cual se realizara una vez a la semana para la cuba de enjuague y cada tres meses a las etapas de decapado y enfriamiento dependiendo de los volúmenes de producción de la planta de galvanizado.

Con este diseño básico es posible realizar una determinación de los costos del sistema de tratamiento.

Ilustración 42. Propuesta Sistema de Tratamiento



Fuente: SaniAguas S.A.S

Tabla 48. Especificaciones Sistema de Tratamiento

Item	Equipo	Caudal de Diseño (L/s)	Tiempo de retención (h)	Volumen (m ³)	Área (m ²)
1	Tanque de almacenamiento		24	2	1
2	Tanque de precipitado		2.0	0.252	3
3	Floculador	0.1	2.0	0.252	3
4	Sedimentador		2.0	0.5	6.6
5	Filtración		2.0	0.252	2
6	Suministro tanque de preparación		-	0.80	25

Fuente: Elaboración propia

5. ANALISIS DE COSTOS

A continuación, se presentan los costos del sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente planteado y evaluado a nivel laboratorio. Para este análisis se tiene en cuenta el dimensionamiento elaborado en el capítulo 4, reactivos químicos involucrados y costo de operación.

5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión corresponden a aquellos que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento, en este caso: dimensionamiento, mano de obra y equipos para la instalación. La cotización del sistema de tratamiento se realizó mediante la empresa SANIAGUAS S.A.S. La cotización del sistema de tratamiento se puede ver en el (Anexo Q).

Tabla 49. Costos de Equipos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	V/R. UNIT	V/R TOTAL
1	Suministro de tanque rectangular reactor en material PRFV "Poliéster reforzado con fibra de vidrio". Compuesto cámara de floculación activado por aireación, tanque aguas claras sedimentación y tanque pulmón para sistema de filtración, dimensiones: Largo 5,10 m; Ancho 1,00 m; Altura 2,00 m incluye soportes para tubería de aireación, drenajes unión rosca NPT para purga de lodos Ø 2" en las cámaras, cono de precipitación en tanque de aguas claras.	UND	1	\$ 35 000 000	\$ 35 000 000
2	Suministro de tanque filtro en material de fibra de vidrio incluye válvula de control serie HD Ø 0,30m Altura 1,00 m incluye distribuidor de agua, colector y lechos filtrantes	UND	2	\$ 2 000 000	\$ 4 000 000

Tabla 48 (Continuación)

3	Suministro de tanque de lechos de secado fabricado en material de fibra de vidrio dimensiones: Ø 0,36 m altura 1,00 m entrada y salida unión PVC-P 2"	UND	1	\$ 1 800 000	\$ 1 800 000
4	Suministro de tanque de preparación de productos químicos en material de fibra de vidrio capacidad de 800l con cámaras	UND	1	\$ 1 800 000	\$ 1 800 000
5	Sistema de aireación eléctrico de baja potencia	UND	2	\$ 6 500 000	\$ 13 000 000
6	Difusores de aire en reactor	UND	4	\$ 150 000	\$ 600 000
7	Bomba dosificadora análoga para dosificación de productos químicos sulfato y cloro	UND	4	\$ 1 500 000	\$ 6 000 000
8	Sistema de Bombeo inicial y filtración	UND	2	\$ 1 375 000	\$ 2 750 000
9	Tablero eléctrico de control y protección equipos	UND	1	\$ 2 000 000	\$ 2 000 000
10	Accesorios de instalación PVC incluye válvulas, codos, tee entre otros para el correcto funcionamiento de la PTAR	UND	1	\$ 3 000 000	\$ 3 000 000
11	Instalación y transporte de planta de tratamiento incluye capacitación de operarios, manual de operación y mantenimiento.	UND	1	\$ 5 000 000	\$ 5 000 000
	SUBTOTAL				\$ 74 950 000
	ADMINISTRACIÓN E IMPREVISTOS	5%			\$ 3 747 500
	UTILIDAD	10%			\$ 7 495 000
	IVA/UTILIDAD	19%			\$ 1 424 050
	TOTAL				\$ 87 616 550

Fuente: Elaboración Propia

5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos operacionales son aquellos recursos necesarios para sacar adelante un proyecto. Para poner en marcha el sistema de tratamiento debemos tener en cuenta los gastos necesarios para el óptimo funcionamiento, en este caso, mano de obra e insumos.

5.2.1 Materias primas e insumos. Según el sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de galvanizado evaluado a nivel laboratorio, se establece a continuación la cantidad necesaria de acondicionador de pH, floculante, coagulante y agente neutralizante teniendo en cuenta que el tratamiento se va a realizar mensualmente

- **Costo acondicionador de pH:** Para tratar $17m^3$ de agua residual se necesita mensualmente 68L del producto L313 de Lipesa. El kilogramo del alcalinizante tiene un costo alrededor de \$ 5034 (Cinco mil treinta y cuatro COP) El costo total anual es de \$ 1 026 960 (Un millón veintiséis mil novecientos sesenta COP)

$$5,034.312 \frac{COP}{Kg} * 204kg = 1\,026\,960\,COP$$

- **Cal Lechada $Ca(OH)_2$:** Para tratar 500ml de muestra con 50% de ácido Kleanex Deck y 50% de agua de enfriamiento, se necesitan 26g de producto. El kilo se vende aproximadamente en \$ 1330 (Mil trescientos treinta COP), por lo tanto, tratar $17m^3$ se necesitan 884kg. El costo total anual es de \$ 10 077 600 (Diez millones setenta y siete mil seiscientos).

$$950 \frac{COP}{Kg} * 10608kg = 10\,077\,600\,COP$$

- **Precipitador de metales P8006L:** Para tratar $17m^3$ de agua residual se necesita mensualmente 115kg del producto P8006L de Lipesa. El kilogramo del alcalinizante tiene un costo alrededor de \$ 7 753 (Siete Mil setecientos cincuenta y tres COP). El costo total anual es de \$ 10 699 429 (Diez millones seiscientos noventa y nueve mil cuatrocientos veintinueve)

$$7753.21 \frac{COP}{Kg} * 1380kg = 10\,699\,429\,COP$$

- **Coagulante L1627:** Para tratar $17m^3$ de agua residual se necesita mensualmente 10kg del producto P8006L de Lipesa. El kilogramo del

alcalinizante tiene un costo alrededor de \$ 2500 (Dos mil quinientos COP)
El costo total anual es de \$ 3 00 000 (Trescientos mil COP)

$$2500 \frac{COP}{Kg} * 120kg = 300\ 000COP$$

- **Floculante L1569A:** Para tratar 17m³ de agua residual se necesita mensualmente 1kg del producto L1569A de Lipesa. El kilogramo del alcalinizante tiene un costo alrededor de \$ 24 300 (Veinticuatro mil trescientos COP) El costo total anual es de \$ 291 600 (Doscientos noventa y un mil seiscientos COP).

$$24\ 300 \frac{COP}{Kg} * 12kg = 291\ 600\ COP$$

- **ALKA PI Concentrado:** Para tratar 17m³ de agua residual se necesita mensualmente 607kg del producto ALKA PI concentrado de Lipesa. El kilogramo del alcalinizante tiene un costo alrededor de \$ 7 000 (Siete mil COP). El costo total anual es de \$ 50 988 000 (Cincuenta Millones novecientos ochenta y ocho mil COP).

$$7000 \frac{COP}{Kg} * 7284kg = 50\ 988\ 000\ COP$$

Tabla 50. Costo Anual Compuestos Químicos.

Compuesto Químico	Presentación	Costos (Cop/Kg)	Costo Total Anual
Acondicionador de pH	Liquido	\$ 5 034	\$ 1 953 686
Cal Lechada	Solido	\$ 1 330	\$ 10 077 600
Precipitador de metales P8006L	Solido	\$ 7 753	\$ 10 699 430
Coagulante L1627	Solido	\$ 2 500	\$ 300 000
Floculante L1569A	Solido	\$ 24 300	\$ 291 600
ALKA PI CONCENTRADO	Liquido	\$ 7 000	\$ 50 988 000
Total, Anual			\$ 74 310 315

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Costo Colaborador. Para poder controlar el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas, se requiere contratar y capacitar a un colaborador el cual estará encargado del mantenimiento y óptimo funcionamiento de los equipos. En la siguiente tabla se estipula los gastos que puede incurrir un colaborador. El salario mínimo vigente para el año 2020 es de \$ 980 657 (Novecientos ochenta mil seiscientos cincuenta y siete COP).

Tabla 51. Costo Colaborador

Item	Valor Mensual	Valor Anual
Salario mínimo vigente	\$ 877 803	\$ 10 533 636
Auxilio de transporte	\$ 102 853	\$ 1 234 236
Vacaciones	\$ 36 575	\$ 438 902
Cesantías	\$ 81 721	\$ 980 657
Intereses de las Cesantías	\$ 9 806	\$ 117 679
Prima de servicios	\$ 81 721	\$ 980 657
Salud	\$ 74 613	\$ 895 359
Pensión	\$ 105 336	\$ 1 264 036
Total	\$ 1 370 429	\$ 16 445 162

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Costo de Caracterización. Para garantizar la correcta disposición del agua tratada mediante el sistema de tratamiento se deben realizar 4 caracterizaciones anuales con el propósito de verificar que se esté dando cumplimiento a la resolución 0631 del 2015 artículo 13 sector de tratamiento y revestimiento de metales.

Tabla 52. Costo Caracterización.

Parámetro	Cantidad	ANALISIS		Valor Total
		Valor Unitario		
pH	4	\$	5 000	\$ 20 000
Cobre	4	\$	55 000	\$ 220 000
Hierro	4	\$	55 000	\$ 220 000
Níquel	4	\$	55 000	\$ 220 000
Plomo	4	\$	55 000	\$ 220 000
Zinc	4	\$	55 000	\$ 220 000
Costo total anual			\$	1 120 000

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Costos Totales. Para determinar los costos totales se tiene en cuenta la inversión inicial para la puesta en marcha del tratamiento haciendo énfasis en que dicho costo solo se realiza una vez ya que su estructura no va a cambiar, costos operacionales anuales requeridos y los costos de caracterización del agua residual tratada. A partir de la información suministrada para el primer año de operación el valor es de \$ 179 492 027 (Ciento setenta y nueve millones cuatrocientos noventa y dos mil veintisiete COP).

Tabla 53. Costos Totales

Parámetro	Valor (COP)
Costo de inversión	\$ 87 616 550
Costos operacionales	\$ 90 755 477
Costos caracterización agua residual	\$ 1 120 000
Costo Total	\$ 179 492 027

Fuente: Elaboración propia

5.3 ANALISIS DEL PROYECTO

A partir de los cálculos realizados para obtener la inversión inicial la cual está constituida por el conjunto de aproximaciones que la empresa debe llegar a hacer para adquirir los bienes respectivos y permitir la implementación y el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, se presenta la evaluación del análisis financiero del proyecto.

5.3.1 Valor Presente Neto (VPN)

Es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con la misma. El VPN es, por tanto, una medida del beneficio que rinde un proyecto de inversión a través de toda su vida útil. La proyección del dinero se evalúa con un horizonte de 5 años.

- Año cero (2021): En este año se desembolsa el dinero requerido para la inversión, por lo tanto, en el año cero es necesario desembolsar \$ 87 616 550 (Ochenta y siete millones seiscientos dieciséis mil quinientos cincuenta COP).
- Año 1 (2022): En este año se empieza a operar la planta y se desembolsa los gastos operacionales, por lo tanto, en el año uno es necesario

desembolsar \$91 855 477 (Noventa y un millones ochocientos cincuenta y cinco mil cuatrocientos setenta y siete COP)

- Año 2 (2023): La planta de tratamiento sigue funcionando por lo tanto es necesario desembolsar \$91 855 477 (Noventa y un millones ochocientos cincuenta y cinco mil cuatrocientos setenta y siete COP).
- Año 3 (2024): Se disminuyen los gastos operacionales en cuanto a la compra de insumos en un 30% por lo tanto es necesario desembolsar \$68 462 382 (Sesenta y ocho millones cuatrocientos sesenta y dos mil trescientos ochenta y dos COP). correspondiente a la disminución de los insumos y el costo del colaborador.
- Año 4 (2025): En este año se desembolsan los gastos operaciones con los nuevos insumos por lo tanto es necesario desembolsar \$68 462 382 (Sesenta y ocho millones cuatrocientos sesenta y dos mil trescientos ochenta y dos COP).
- Año 5 (2026): La planta continua en operación normal por lo tanto se deben desembolsar \$68 462 382 (Sesenta y ocho millones cuatrocientos sesenta y dos mil trescientos ochenta y dos COP).

El valor presente neto (VPN) de los pagos efectuados, evaluado a la tasa de oportunidad (i) del 20% el cual es la tasa de crédito fomento; estas líneas especiales de crédito buscan fomentar el desarrollo de créditos especiales de la economía a través de los bancos de segundo piso como Bancoldex, Finagro y Findeter, que permiten financiación para las empresas en inversión, capital de trabajo, consolidación de pasivos y capitalización, entre otros.

Ecuación 31. Valor Presente Neto.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Fuente: LÓPEZ DUMRAUF, G. Cálculo Financiero Aplicado, un enfoque profesional. Buenos Aires.

Dónde:

V_t = Representa los flujos de caja en cada periodo t

I_0 = Es el valor del desembolso inicial de la inversión

n = Numero de periodos considerado

k = Es el tipo de interés

$$VPN = -87.616.550 + \frac{-91.855.477}{(1 + 0.2)^1} + \frac{-91.855.477}{(1 + 0.2)^2} + \frac{-68.462.382}{(1 + 0.2)^3} + \frac{-68.462.382}{(1 + 0.2)^4} + \frac{-68.462.382}{(1 + 0.2)^5}$$

$$VPN = -\$328.100.431$$

Del análisis anterior se observa, que el valor presente neto es menor que cero lo que significa, una inversión que no resulta favorable desde el punto de vista económico porque arroja ganancias a la empresa. Es importante resaltar que todas las empresas están obligadas a preservar el medio ambiente y aunque no se obtenga beneficios económicos, al desarrollar planes de descontaminación, se evitara un deterioro del medio ambiente o alguna sanción por parte de los entes reguladores.

5.4 FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

La línea de crédito fomento mencionada anteriormente, tiene como objetivo financiar con recursos de largo plazo los proyectos viables técnica, económica y ambientalmente en el territorio Colombiano, con el propósito de hacer empresas más eficientes, competitivas y menos contaminadas, que propendan por el uso adecuado de los recursos naturales y por una gestión sostenible.

6. CONCLUSIONES

- Los vertimientos generados en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente incumplen con los valores máximos permisibles estipulados en el artículo 13 de la resolución 0631 de 2015 en los parámetros de pH, Hierro (Fe), Níquel (Ni) y Zinc (Zn).
- Se selecciona como técnica de reducción en el origen la sustitución de materia prima en la etapa de decapado por un ácido orgánico ecoeficiente el cual mostro características decapantes en las pruebas a nivel laboratorio.
- Mediante la experimentación realizada a nivel laboratorio para la prueba de jarras, se determina que los productos más eficientes para el tratamiento son el acondicionador de pH L313, removedor de metales P8006L, coagulanteL-1627, floculante L1569A y neutralizante ALKA PI concentrado.
- El sistema de tratamiento con ácido clorhídrico involucra una etapa de intercambio iónico aumentando los costos del sistema mientras que el ácido orgánico no.
- Se determinan los costos del proyecto teniendo en cuenta la inversión de los equipos, insumos requeridos y costos de mano de obra, el cual arroja un costo total de \$ 179 492 027 (Ciento setenta y nueve millones cuatrocientos noventa y dos mil veintisiete COP), el cual puede ser financiado por la línea de crédito fomento.

7. RECOMENDACIONES

- Diseñar las cubas del proceso de galvanizado por inmersión en caliente a nivel piloto implementando los sistemas de filtración en las etapas de desengrase y decapado.
- Realizar el balance energético del sistema de tratamiento de aguas y diseñar un plan de ahorro tanto en el sistema como en la cuba de galvanizado.
- Evaluar la electrocoagulación como alternativa para remover los metales pesados presentes en el sistema de tratamiento. A partir de la relación costo beneficio identificar las ventajas de este sistema.
- Implementar el agua tratada en alguna etapa del proceso permitiendo reducir el consumo de agua sin afectar el proceso.
- Reducir los tiempos de tratabilidad para las etapas de Decapado y enfriamiento en la PTAR con la finalidad de obtener mayores porcentajes de remoción y menores volúmenes de equipos.
- Realizar la prueba de jaras ajustando el pH=10 de las aguas residuales y evaluar la eficiencia de remoción y su impacto en los costos de insumos.

BIBLIOGRAFIA

AGUASISTEC. Planta de Tratamiento de Agua. [Sitio web]. Bogotá D.C. [Consultado febrero 03, 2020]. Planta de tratamiento de aguas. Disponible en: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua.php>.

ALVARADO RENGIFO, Gina; CUERVO, Andrés Julián. Plan de Mercadeo para la Línea de Galvanizado en Caliente de la Compañía Polyuprotec S.A en la Ciudad de Bogotá. [en línea]. Monografía. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá D.C: 2014. [Consultado 05, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.polux.unipiloto.edu.co>.

ALVAREZ SOLANO, Mónica. Diseño de un sistema para el tratamiento de aguas residuales industriales provenientes del proceso de galvanizado por inmersión en caliente. [en físico]. Monografía. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C: 2000. [Consultado 07, febrero, 2020].

ARBOLEDA VALENCIA, J., Soto, R., & Arnul, R. T. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3 ed Mc graw Hill, Colombia, 2000. Cap 1-2. ISBN 9789584100153.

ARMAS ARRAIZ, Kevin Eduardo; BLANCO ABREU, Martin José. Corrosión en el ZINC. [en línea]. Monografía. Universidad José Antonio Páez, República Bolivariana de Venezuela: 2016. [Consultado 10, enero, 2020]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/juanperez653/corrosion-en-el-zinc>.

Asociación de Industriales Metalúrgicas y Metalmecánicas. Identificación de las Mejoras Técnicas Disponibles (mtd) sector galvanizado. En: ASIMET. [Sitio web]. Chile: la entidad. [25-01-2020], archivo pdf. Disponible en: http://www2.asimet.cl/pdf/APL_galvanizadores/información.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA. Comité Colombiano de Productores de Acero: [Sitio Web]. Bogotá D.C. [03, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/home/camara/6-comite-colombiano-de-productores-de-acero>.

ASOCIACIÓN TÉCNICA ESPAÑOLA DE GALVANIZACIÓN. [Sitio web]. España: ATEG, Galvanización en Caliente Notas Informativas. [04-01-2020]. Disponible en: <https://www.ateg.es/la-galvanización/notas-informativas>.

AXISIMA. Tratamientos primario, secundario y terciario en la depuración de agua residual. [Sitio Web]. Bogotá D.C. Ingeniería y medio ambiente. [consultado 27-Enero, 2020]. Disponible en <http://axisima.com/tratamientos-primario-secundario-y-terciario-en-la-depuracion-de-agua-residual/>.

BAEZ, Jorge. Tratamiento Básico de Aguas residuales. Área Metropolitana de Barranquilla: Edición Uninorte, 1995. 45 p. ISBN 9789589105399.

Berradi, M., Chabab, Z., Arroub, H., Nounah, H., El Harfi, A. Optimization of the coagulation/flocculation process for the treatment of industrial wastewater from the hot dip galvanizing of steel. (2014). Citado por: SALAZAR BRITO, Katherine Silvana.

Propuesta de Segregación de Corrientes de Agua para su Rehuso y Reciclaje dentro de una Industria de Galvanizado: Caso Novacero S.A. Quito. Escuela Politécnica Nacional. 2012, p.33. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19726>.

BURTON, Franklin L. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3. Ed: Metcalf & Eddy, 1995. 345p. ISBN 9780072538557.

CABALLERO SEMPERE, Alexandre. Diseño de una instalación para el tratamiento de las aguas residuales generadas en una industria de galvanizado de hierro. Valencia: 2018. P.16 [Consultado 27, Noviembre, 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/109239>.

CAZCO SÁNCHEZ, Ana Janeth; JARRÍN FLORES, Santiago Alberto. Diseño, construcción y análisis de los parámetros de operación de un sistema de electrocoagulación. 2011. Tesis de Licenciatura. QUITO/EPN/2011.

COLOMBIA. MINISTERIO DE JUSTICIA Y DEL DERECHO. Resolución 001. (08, Enero, 2015). Guía para solicitar el certificado de carencia de informes por tráfico de estupefacientes y autorizaciones extraordinarias para el manejo de sustancias y productos químicos controlados. En: Presidencia de La República de Colombia. Bogotá D.C. 2019. 11-15 p.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE – REGIÓN METROPOLITANA. Control y Prevención de La Contaminación Industrial Galvanoplastia. [Sitio Web]. Santiago de Chile: 2000. La entidad [17, Diciembre, 2020]. 1-53 p. Disponible en: <https://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/control-y-prevencion-de-riesgos-en-galvanoplastia.pdf>.

Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El CONGRESO LATINGALVA. (3: 25-28, mayo, 2012: Chile). LATIZA (Asociación Latinoamericana de Zinc). Disponible en: http://www.latiza.com/archivos_publicar/presentacionesconferencia_2011/galvanizadomayo2012.pdf.

DELGADO ENRÍQUEZ, César Eduardo; BRAVO PALACIOS, Manuel Ange. Estudio de Prefactibilidad de una Planta de Galvanizado en Caliente para el Sector

Industrial Metal Mecánica. [en línea]. Perú: 2017. p.47 [Consultado 2, Diciembre, 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/621668>.

DELVASTO, P; CASAL RAMOS, J.A; GONZÁLES JORDÁN, O; DURÁN RODRÍGUEZ, N.C. Caracterización de Residuos Sólidos Procedentes de dos Procesos Distintos de Galvanizado en Caliente por Inmersión. 2012, Vol. 48, Nro 2, pp. 33-44 ISSN 0034-8570.

ESPAÑA, COMUNIDAD EUROPEA. Ley 16. (1, Julio, 2002). Prevención y Control Integrados de la Contaminación. En: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. España 2002. 833p.

FAJARDO VALDERRAMA, L.J. Remoción selectiva de metales pesados del agua residual proveniente del proceso de decapado. [en línea]. Bogotá D.C.:2014. p.5. [Consultado 27, Noviembre, 2019]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/62.

GARCÍA VEGA S.A.S. Galvanizado por Inmersión en Caliente. [Sitio Web]. Bucaramanga. [07, enero,2020]. Disponible en: <https://garciavega.co/galvanizado/>. HACKBARTH, Fabíola V., et al. Removal of hexavalent chromium from electroplating wastewaters using marine macroalga *Pelvetia canaliculata* as natural electron donor. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 290, p. 477-489.

HERNANDEZ ARIZALA, Diana and LEAL, Paula. Ingeniería básica de un sistema para el tratamiento de aguas residuales en Cárnicos Rico Jamón; Fundación Universidad de América, 2009.

INSTITUO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Toma de Muestras de Aguas Residuales. [En línea]. Bogotá: 2007. Versón: 03. [Consultado 17, febrero, 2020]. 1-17p. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. [Sitio Web]. Bogotá: IDU, Guía Práctica de Galvanizado por Inmersión en Caliente. [04-01-2020]. Disponible en: [https://www.idu.gov.co/web/content/7423/guia.galvanizado_24nov14+\(1\).pdf](https://www.idu.gov.co/web/content/7423/guia.galvanizado_24nov14+(1).pdf)

INSTITUTO DE TOXICOLOGIA Y DEFENSA. Protocolo de Toma de Muestras de Agua Residual. [En línea]. España: 2016. 3.p. [Consultado 28, febrero, 2020]. Disponible en: https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf.

Instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.
LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering calculations. McGraw Hill, 2007.p.6

MAAß, Peter; PEISSKER, Peter. Handbook of hot-dip galvanization.1. ed: Weinheim, Alemania. Wiley-VCH-Verlag, 2011. 49 p. ISBN9783527323241.
MINISTERIO DE AMBIENTE Y FUNDES COLOMBIA. Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnica. [Sitio Web]. Bogotá D.C. La entidad. [03, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.mvotma.gub.uy/ambiente/produccion-sostenible/guias-tecnicas/item/>.

MINVIVIENDA.REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANAMIENTO BÁSICO RAS. [en línea]. Bogotá D.C 2000. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>.

OTERO CALVIÑO, Natalia. Filtración de aguas residuales para reutilización, [En línea]. Monografía. Universidad de la Laguna, España 2009. P110. [Consultado 23, abril, 2020]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10239/cp273.pdf?sequence=1&is>.

PEREZ PEREA, C; JODRA, L.G.; P. GASOS. Métodos de Calculo de Espesadores por Ensayos Discontinuos. [En línea]. JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR. MADRID: 1957. p.1-30. [Consultado 16 febrero, 2020].

METODO DE CLOE Y CLEVER PARA EL CALCULO DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/003/41003509.pdf.

PORTO, Mariana Borges; COSTA, Josiel Martins; DE ALMEIDA NETO, Ambrósio Florêncio. Ni-W alloys and their anticorrosive properties: Ni removal efficiency from galvanic wastewater by electrodeposition. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 36, p. 1-7.

POZDNIAKOVA, Tatiana A., et al. Brown macro-algae as natural cation exchangers for the treatment of zinc containing wastewaters generated in the galvanizing process. *Journal of Cleaner Production*, 2016, vol. 119, p. 38-49.

ROMEO ROJAS, Jairo Alberto. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Teoría y principios del diseño; Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. p.1090.

SAMANIENO PEÑA, Hernan. Valorización de Efluentes de Decapado Acido Metálico. Recuperación del Zinc. [en línea]. Sevilla Universidad de Cantabria, 2006. P.21. [consultado en 22, febrero, 2020] Disponible en:

https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/10688/5de8.HSP_conclusiones.pdf?sequence=6&isAllowed=y.

SOLER URIBE, Emily Andre; PRIETO BERNAL, Winny Jimena. Evaluación de una propuesta de un Sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizantes. [En línea]. Monografía. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C 2019. [Consultado 11, febrero, 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7407>.

TAFUR CUERVO, Joaquín; LASTRA DELGADO, Juan; HERRERA BUILES, Francisco; ARROYAVE POSADA, Carlos Enrique. Indicadores de los costos de la corrosión en Colombia. [En línea]. Medellín 1998. [Consultado 08, Febrero, 2020]. Disponible en <http://hdl.handle.net/10495/5327>.

Universidad de Buenos Aires. Repositorio Institucional. [Sitio Web]. Bueno Aires. La entidad. [15, Febrero, 2020]. Disponible en: http://materias.fi.uba.ar/6729/apuntes/GESTION%20DE%20PROYECTOS_MATRIZ%20DE%20DECISION.pdf.

VARGAS, Mariacruz and ROMERO, Luis. Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p. 1-148.

ANEXOS

ANEXO A.

Caracterización Estado Actual Cubas de Decapado, Enjuague y Enfriamiento

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS FORMATO INFORME DE RESULTADOS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 055 ELABORADO: 2008 APROBADO: 2019 Página 1 de 3
Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

INFORME DE RESULTADOS No 055			
TÍTULO: Análisis de aguas residuales			
FECHA			PLAN DE MUESTREO No.: ----
DD	MM	AA	
24	09	2019	
INFORMACION DEL CLIENTE			
NOMBRE		DIRECCION	TELEFONO
GARCÍA VEGA S.A.S. (ING. JUAN SEBASTIÁN TRIVIÑO GARRIDO)		--	3215964798
MUESTRA			
TIPO DE MUESTRA:		Agua residual	
NOMBRE DE LA MUESTRA:		MUESTRA 1, MUESTRA 2, MUESTRA 3	
FECHA DE RECEPCIÓN		Agosto 23 de 2019	
PROCEDENCIA:		Agua residual	
CODIGO:		19-0199,19-0200,19-0201	
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		PR-M-01	
COTIZACIÓN No.		107-1	
FECHA DE ANALISIS		agosto 23 – septiembre 24 de 2019	
TOMA DE MUESTRA			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		Muestra traída al laboratorio	
PUNTOS DE MUESTREO		---	
FECHA DE MUESTREO		---	
TIPO DE MUESTREO		---	
INTERVALO PARA LA TOMA DE MUESTRA PUNTUAL		---	

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS FORMATO INFORME DE RESULTADOS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 055 ELABORADO: 2008 APROBADO: 2019 Página 2 de 3
Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

ANÁLISIS DE RESULTADOS				
MUESTRA 1				
CODIGO LAB.	PARÀMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0199	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	0,47
19-0199	**Cobre total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Cu	1,38
19-0199	**Hierro total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	g/L Fe	110,85
19-0199	**Níquel total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Ni	87,36
MUESTRA 2				
CODIGO LAB.	PARÀMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0200	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	1,86
19-0200	**Hierro total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	g/L Fe	4,425
MUESTRA 3				
CODIGO LAB.	PARÀMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0201	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	5,29
19-0201	**Zinc total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Zn	156,08

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 055 ELABORADO: 2008 APROBADO: 2019 Página 3 de 3
	FORMATO INFORME DE RESULTADOS	
Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

19-0201	**Plomo total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Pb	<0,1
---------	---------------	---	---------	------

*parámetro acreditado en el laboratorio del CEIAM

** parámetro subcontratado y acreditado

Nota: estos resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas. No se debe reproducir el informe, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.



CLAUDIA PATRICIA PICO
Profesional Químico P.Q.1742



YANETH QUINTERO LOPEZ
Directora laboratorio P.Q.1744

FIN DEL INFORME

"Laboratorio acreditado por el IDEAM para los parámetros Alcalinidad total, Acidez, Calcio Disuelto, Cloruros, Dureza total, Dureza Cálcica, DBO, DQO, Fenoles totales, Fosforo reactivo Total, Nitratos, Nitritos, sulfatos, Solidos suspendidos Totales, Solidos Totales, Dureza Magnésica, Fosforo Reactivo Soluble (Equivalente a Fósforo Soluble, Fosfato soluble, Ortofosfato Soluble, Ortofosfato), Nitrógeno Amoniacal, Solidos Disueltos, toma de muestras simple: pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Solidos sedimentables, Oxígeno Disuelto, Caudal, toma de muestra Compuesta: pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Solidos sedimentables, Oxígeno Disuelto, Corrosividad en residuos Sólidos, Corrosividad en residuos líquidos, Corrosividad en residuos Sólidos y líquidos determinación Reserva Acido – Alkali, Corrosividad en residuos Sólidos y líquidos Método de prueba de corrosión al acero, Punto de inflamación en Residuos Líquidos, Muestreo. Numeral 1.6.1.1 Muestras de suelos recolectadas con espátula, pala o cuchara, Numeral 1.5.14.4. Tubos de descarga o puertos de muestreo, según Resolución N° 1565".

Página 3 de 3

UIS-Sede Guatiguará Km. 2 Vía el Refugio, Piedecuesta Santander Colombia.
ceiam@uis.edu.co Tel.(7)6550108

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga-Santander.

ANEXO B.

Caracterización Prueba de Jarras Cubas de Decapado Enjuague (ALKA PI) y Enfriamiento

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS FORMATO INFORME DE RESULTADOS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 062 ELABORADO: 2008 APROBADO: 2019 Página 1 de 3
Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

INFORME DE RESULTADOS No 062			
TÍTULO: Análisis de aguas residuales			
FECHA			PLAN DE MUESTREO No.: ----
DD	MM	AA	
11	10	2019	
INFORMACION DEL CLIENTE			
NOMBRE		DIRECCION	TELEFONO
GARCÍA VEGA S.A.S. (ING. JUAN SEBASTIÁN TRIVIÑO GARRIDO)		--	3215964798
MUESTRA			
TIPO DE MUESTRA:		Agua residual	
NOMBRE DE LA MUESTRA:		Decapado (HCL), Enjuague ALKA PI, Agua de enfriamiento	
FECHA DE RECEPCIÓN		Septiembre 30 de 2019	
PROCEDENCIA:		Agua residual	
CODIGO:		19-0207, 19-0208, 19-0209	
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		Muestra traída al laboratorio	
COTIZACIÓN No.		122	
FECHA DE ANALISIS		Octubre1- octubre 10 de 2019	
TOMA DE MUESTRA			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		Muestra traída al laboratorio	
PUNTOS DE MUESTREO		---	
FECHA DE MUESTREO		---	
TIPO DE MUESTREO		---	
INTERVALO PARA LA TOMA DE MUESTRA PUNTUAL		---	

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 062 ELABORADO: 2008 APROBADO: 2019 Página 2 de 3
	FORMATO INFORME DE RESULTADOS	
Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

ANÁLISIS DE RESULTADOS				
Decapado (HCL)				
CODIGO LAB.	PARÀMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0207	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	6,54
19-0207	**Cobre total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Cu	0,30
19-0207	**Hierro total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Fe	17,09
19-0207	**Níquel total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Ni	2,09
Enjuague ALKA PI				
CODIGO LAB.	PARÀMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0208	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	7,52
19-0208	**Hierro total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Fe	0,22
Agua de enfriamiento				
CODIGO LAB.	PARÀMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0209	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	7,76
19-0209	**Zinc total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Zn	0,63

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga-Santander.

ANEXO C.

Neutralización Enjuague Hidróxido de Sodio / Kleanex Dec

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS FORMATO INFORME DE RESULTADOS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 063 ELABORADO: 2008 APROBADO: 2019 Página 1 de 3
Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

INFORME DE RESULTADOS No 063			
TÍTULO: Análisis de aguas residuales			
FECHA			PLAN DE MUESTREO No.: ----
DD	MM	AA	
11	10	2019	
INFORMACION DEL CLIENTE			
NOMBRE		DIRECCION	TELEFONO
GARCÍA VEGA S.A.S. (ING. JUAN SEBASTIÁN TRIVIÑO GARRIDO)		--	3215964798
MUESTRA			
TIPO DE MUESTRA:		Agua residual	
NOMBRE DE LA MUESTRA:		Enjuague-Hidróxido de Sodio, Decapado Kleanex Dec	
FECHA DE RECEPCIÓN		Septiembre 30 de 2019	
PROCEDENCIA:		Agua residual	
CODIGO:		19-0210,19-0211	
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		Muestra traída al laboratorio	
COTIZACIÓN No.		123	
FECHA DE ANALISIS		Octubre1- octubre 10 de 2019	
TOMA DE MUESTRA			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		Muestra traída al laboratorio	
PUNTOS DE MUESTREO		---	
FECHA DE MUESTREO		---	
TIPO DE MUESTREO		---	
INTERVALO PARA LA TOMA DE MUESTRA PUNTUAL		---	

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS FORMATO INFORME DE RESULTADOS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 063 ELABORADO: 2008 APROBADO: 2019 Página 2 de 3
	Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico

ANÁLISIS DE RESULTADOS				
Enjuague-Hidróxido de Sodio				
CODIGO LAB.	PARÁMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0210	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	5,67
19-0210	**Hierro total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Fe	19,53
Decapado Kleanex Dec				
CODIGO LAB.	PARÁMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
19-0211	pH	S.M. 4500 - H+ B	Unid. pH	7,88
19-0211	**Cobre total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Cu	0,11
19-0211	**Hierro total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Fe	1,98
19-0211	**Níquel total	S.M. 3030 E – EPA 3050 B S.M. 3111 B	mg/L Ni	0,66

*parámetro acreditado en el laboratorio del CEIAM

** parámetro subcontratado y acreditado

Nota: estos resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas. No se debe reproducir el informe, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.



CLAUDIA PATRICIA PICO
Profesional Químico P.Q.1742



YANETH QUINTERO LOPEZ
Directora laboratorio P.Q.1744

FIN DEL INFORME

Fuente: Universidad Industrial de Santander. Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales CEIAM. Bucaramanga-Santander.

ANEXO D.

Ficha Técnica y Seguridad Acondicionador de pH Lipesa 313



LIPESA 313

ALCALINIZANTE - NEUTRALIZANTE

- Producto líquido de uso fácil
- Alta concentración
- Aplicable a una gran variedad de procesos industriales
- Excelente relación costo-rendimiento

Usos Principales

LIPESA 313 ha sido especialmente formulado para ser aplicado en aguas de alimentación de calderas, aguas potables, residuales, de enfriamiento y en aquellos procesos donde se requiera aumentar el pH y la alcalinidad o se desee neutralizar soluciones ácidas.

Descripción General

LIPESA 313 es una formulación líquida basada en potasa cáustica con las siguientes características:

Color:	Incoloro
Olor:	Inodoro
Gravedad específica:	1,41 - 1,45 a 15,6 °C
pH:	>13,5 a 25 °C
Contenido activo:	40 – 45 KOH
Solubilidad:	100 % en agua

Dosis

La dosis de LIPESA 313 varía de acuerdo a los resultados que se desean alcanzar en cuanto a pH o alcalinidad. La cantidad de LIPESA 313 necesaria para producir un (1) ppm de alcalinidad total, como CaCO₃, es de 2,53 ppm como producto

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 313 puede ser alimentado puro o diluido en las líneas de alimentación, domo superior de las calderas o cualquier otro punto del sistema que garantice la obtención de los resultados deseados. LIPESA 313 se puede alimentar al proceso usando equipos de inyección de acero al carbono o cualquier otro material resistente a cáusticos.

Despacho y Almacenamiento

LIPESA 313 se despacha en tambores plásticos de 50, 208 y 1.000 litros. Puede ser almacenado por 12 meses.

Manejo y Seguridad

LIPESA 313 es un producto fuertemente cáustico y debe manejarse como tal. Debido a que el producto es corrosivo a la piel y ojos, se debe usar protección ocular, guantes, botas y delantal de goma. En caso de contacto con la piel y ropas, lavarse con abundante agua y neutralizar con una solución suave de vinagre, o ácido cítrico. En caso de contacto con los ojos, lavarse con abundante agua y acudir inmediatamente a un médico.

BC-06-08 – LCR

Rev.: 0

"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases.
La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.
Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."

LIPESA RIF: J-08010339-4

FGM007 REV.: 2 F. REV.: 16-03-06

Fuente: LIPESA S.A.S

ANEXO E.

Ficha Técnica y Seguridad Precipitador de Metales P8006L



BOLETÍN TÉCNICO

Precipitador de metales ChemTreat® P8006L

DESCRIPCIÓN GENERAL

ChemTreat® P8006L es una solución líquida de carga aniónica de alto índice de poli-dispersión, diseñada para eliminar metales pesados en su forma ionizada del agua (principalmente aguas residuales industriales). **P8006L** posee un efecto quelante que permite atrapar iones metálicos divalentes en solución (incluso en bajas concentraciones) y crear sales insolubles que pueden filtrarse del agua.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Trabaja en conjunto con coagulante y floculante mejorando estabilidad e índice de *Wilcomb*.
- Trabaja en un rango amplio de pH: 3,0 – 12,0.
- No afecta el pH del agua tratada, permitiendo un ahorro sustancial de agente neutralizante.

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

Apariencia:	Líquido translúcido
Color:	Rojo
pH @ 10%:	10.0 – 11.5
Gravedad específica:	1.05 – 1.15
Punto de congelamiento:	< -5 °C

Para obtener más información y detalles sobre los aspectos relativos a medidas seguridad, manipulación y primeros auxilios, consulte la FDS del **P8006L**.

ALIMENTACIÓN, DOSIFICACIÓN Y CONTROL

P8006L debe alimentarse de manera continua al proceso, cualquiera que sea su aplicación, en un punto de buena agitación y mezcla, debido a su poder inherente se debe aplicar a través de bomba dosificadoras de plástico o cualquier material resistente a sustancias corrosivas (plástico



PVC/PEHD/acero inoxidable mayor a 316L). El producto es totalmente soluble en agua, por tanto, su preparación es muy sencilla.

La dosis óptima debe ser determinada por pruebas de laboratorio y campo, las dosis típicas son:

- Precipitación Cu, Zn y Fe: 8 - 13 ppm
- Precipitación Pb, Hg, Cd: 3 - 6 ppm

En todo caso, el Representante Técnico de LIPESA le asesorara en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

COMPATIBILIDAD CON MATERIALES

P8006L es incompatible con acero al carbón en contacto directo. Para compatibilidad con otros materiales de construcción está disponible a petición, a través de un Representante Técnico de LIPESA.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

P8006L debe ser transportado y almacenado a condiciones entre 5 y 30 °C. Los contenedores deben permanecer cerrados y protegidos de la humedad, la luz solar directa, los calentadores de contacto, etc. Si el producto se almacena en su embalaje original sellado, la vida útil del producto es de doce (12) meses a partir de la fecha de fabricación.

Si el producto se congela, las propiedades del producto se verán afectadas y el material puede resultar dañado.

LP / DACA: 03-19 / Rev:0

Estos datos se proporcionan solo como información general. Son valores aproximados obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se consideran parte de las especificaciones del producto, ni expresan o implican garantía alguna con respecto a la exactitud de los mismos o a los resultados que se obtengan por el uso del material.



© 2018 Lipesa – Confidencial – No duplicar

LIPESA
Una empresa de la familia ChemBeats

Fuente: LIPESA S.A.S

ANEXO F.

Ficha Técnica Coagulante 1627



BOLETÍN TÉCNICO

Agente coagulante/floculante LIPESA 1627

DESCRIPCIÓN GENERAL

Lipesa 1627 es una formulación catiónica que ha sido especialmente formulada para ser utilizada en la clarificación de aguas potables, residuales y de procesos, en la deshidratación mecánica de lodos de perforación, y donde se requiera una floculación inmediata y un efluente libre de sólidos. **Lipesa 1627** elimina el color y la materia orgánica, y produce un excelente tamaño de flocs que facilita su separación por sedimentación o centrifugación.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Totalmente miscible en agua.
- Deshidrata lodos sin alterar la carga del efluente final.

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Apariencia:	Líquido translúcido
Color:	Ámbar
pH:	4.0 – 5.0
Gravedad específica:	1.28 – 1.34

Para obtener más información y detalles sobre los aspectos relativos a medidas seguridad, manipulación y primeros auxilios, consulte la FDS del **Lipesa 1627**.

ALIMENTACIÓN, DOSIFICACIÓN Y CONTROL

Lipesa 1627 se aplica en dosis que pueden variar de acuerdo con el tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis usuales se encuentran entre 0,1 y 30 ppm para clarificación, y 100 a 1000 ppm para deshidratación de lodos. En cualquier caso, su representante técnico-comercial lo asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada para su situación particular.



© 2018 Lipesa – Confidencial – No duplicar



Lipesa 1627 debe alimentarse de una manera continua al proceso, en un punto de buena agitación o mezcla, empleando equipos y materiales resistentes a la corrosión.

COMPATIBILIDAD CON MATERIALES

Lipesa 1627 no es compatible con aceros a concentraciones superiores al 10%. La compatibilidad con otros materiales de construcción está disponible a petición, a través de un representante técnico-comercial.

TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Lipesa 1627 debe ser transportado y almacenado a condiciones entre 4 y 35 °C. Los contenedores deben permanecer cerrados y protegidos de la humedad, la luz solar directa, los calentadores de contacto, etc. Si el producto se almacena en su embalaje original sellado, la vida útil del producto es de 12 meses a partir de la fecha de fabricación.

LP / DCCE: 10-18 / Rev.4

Estos datos se proporcionan solo como información general. Son valores aproximados obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se consideran parte de las especificaciones del producto, ni expresan o implican garantía alguna con respecto a la exactitud de los mismos o a los resultados que se obtengan por el uso del material.



© 2018 Lipesa – Confidencial – No duplicar

LIPESA
Una empresa de la familia 

Fuente: LIPESA S.A.S

ANEXO G.

Ficha Técnica Floculante Lipesa 1538



LIPESA 1538

POLÍMERO ANIÓNICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1,0 - 12,0
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1538 ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales. **LIPESA 1538** tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y muchos otros procesos como el papelerero y azucarero. **LIPESA 1538** cumple con los requisitos de la FDA para uso en producción de azúcar bajo la Regulación Federal 21CFR.173.5.

Descripción General

LIPESA 1538 es un polímero sólido de "muy alto peso molecular", fuertemente aniónico, con las siguientes características:

Forma:	Granular de flujo libre
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Viscosidad Brookfield (cP):	Mínimo 2000 al 0,5% Mínimo 1000 al 0,25% Mínimo 300 al 0,1%
Solubilidad:	Máxima en agua 0,5%

Dosis

La dosis de **LIPESA 1538** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10 – 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0,05 – 30 g/m³

En todo caso, el Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1538 se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de **LIPESA 1538** es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento
- Agitar suavemente durante 10 – 15 minutos
- Dejar en reposo durante 5 – 10 minutos
- Y finalmente, agitar por 15 – 20 minutos

Despacho y Almacenamiento

LIPESA 1538 se despacha en bolsas de 25 kg. y 750 Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. Tiempo de almacenamiento (vida útil): 24 meses a partir de la fecha de elaboración indicada en el envase.

Manejo y Seguridad

LIPESA 1538 no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucha agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un médico.

BD-06-15-NYR

Rev.: 8

*"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases.
La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.
Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."*

LIPESA RIF: J-08010339-4

FGM007 REV.: 3 F. REV.: 27-02-09

Fuente: LIPESA S.A.S

ANEXO H.

Ficha Técnica Flocculante Lipesa 1569A



LIPESA 1569 A

POLÍMERO CATIONICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1,0 - 13,0
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1569 A ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los orgánicos. **LIPESA 1569 A** tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y procesos varios. **LIPESA 1569 A** cumple con los requisitos para su uso en agua potable según la normativa NSF/ANSI Standard 60.

Descripción General

LIPESA 1569 A es un polímero sólido de "alto peso molecular", ligeramente catiónico, con las siguientes características:

Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
pH al 0,5%:	2,50 – 4,50
Densidad:	~ 0,800 g/m³
Solubilidad:	0,5 % en agua
Viscosidad (cP):	~ 560 al 0,5 % ~ 260 al 0,25 % ~ 120 al 0,1 %

Dosis

La dosis de **LIPESA 1569 A** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. La dosis típica es:

- Espesamiento y clarificación: 0,1 a 300 g/m³

En todo caso, el representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1569 A se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de **LIPESA 1569 A** es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 20 minutos.
- Dejar en reposo durante 5 – 10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 10 – 25 minutos.

La inyección del producto deberá hacerse en un punto de buena mezcla y en todo caso dependerá de sistema de tratamiento usado. El Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento del sitio adecuado para la inyección del producto, bien sea en estaciones de tratamiento o en aplicaciones especiales.

Despacho y Almacenamiento

LIPESA 1569 A se despacha en sacos de 25 kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. Tiempo de almacenamiento (vida útil): 24 meses a partir de la fecha de elaboración indicada en el envase.

Manejo y Seguridad

LIPESA 1569 A no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucha agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un médico.

BD-06-15-NYR
Rev.: 2

*"La aplicación o métodos de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por lo tanto la empresa no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación que esté relacionada con el manejo, uso o disposición del producto y sus envases.
La empresa no asume responsabilidad alguna por daños al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.
Los datos suministrados fueron obtenidos de fuentes confiables, sin embargo, no se expresa ni se implica garantía alguna con respecto a la exactitud de estos datos o los resultados que se obtengan por el uso del material."*

LIPESA RIF: J-08010339-4

Fuente: LIPESA S.A.S

Anexo I.

Ficha Técnica Neutralizante ALKA PI Provinas



ALKA PI
Código I-29, Versión 0

Solución alcalina para neutralización de aguas residuales ácidas

- Neutraliza las aguas ácidas generadas después del lavado de equipos como calderas, torres de enfriamiento, y demás.
- Completamente soluble en agua.
- Generación nula de espuma.
- Es un producto alcalino libre de fosfatos.
- No daña las líneas de conducción del agua residual.
- No genera vapores.
- No volátil.

Instrucciones de uso: Disponga de un volumen determinado de muestra del agua residual generada del lavado ácido del equipo (Aprox 1 litro). A continuación mida un volumen de **ALKA PI** de aproximadamente 1 mL y vaya agregando a la muestra de agua tomada. Agite o genere cierta turbulencia a la muestra para asegurar la mezcla del líquido y mida el valor del pH. Repita este paso hasta obtener un valor de pH de 7.0 a 8.0 en la solución, el cual es el valor permitido para vertimientos industriales. Una vez definido este valor determine la proporción necesaria aproximada para el volumen total de agua a ajustar y someta a neutralización. Verifique el valor final del pH del volumen total de agua antes de realizar el vertimiento.

Medidas de seguridad: En caso de contacto con los ojos lávelos inmediatamente con abundante agua y acuda al médico. Use siempre guantes adecuados y protección para ojos y cara. En caso de accidente o malestar acuda al médico inmediatamente y muéstrela la etiqueta. Es fuertemente corrosivo para piel, ojos y membranas mucosas. Los efectos pueden ser retardados. Reacciona con agua y otros materiales liberando calor. Desprende hidrógeno al contacto con aluminio, estaño o zinc

Consulte la etiqueta antes de usar este producto.

Cuando Piense en Químicos Piense en Provinas.

www.provinas.net - ventas@provinas.net
PBX (7) 6715599 Telefax: (7) 6712394 - Telemercadeo: (7) 6714654
Cels: 317-5138675 - 313-2923680 - Bucaramanga - Colombia



PRODUCTOS BIODEGRADABLES

Fuente: PROVINAS S.A.S

ANEXO J.
Ficha Técnica Cleaner FA

**INFORMACIÓN
TÉCNICA**



CLEANER FA

CLEANER FA, es un desengrasante de tipo ácido especialmente elaborado para el tratamiento de piezas en el proceso de galvanizado en caliente.

PROPIEDADES FISICO QUÍMICAS

Aspecto	Líquido incoloro/Amarillo
Densidad	1.35- 1.45
pH	0 - 1
Acidez total	12-17
Solubilidad en Agua	Completa
Naturaleza Química	Ácido

MÉTODO ANALÍTICO.

1. Tomar 1,0 ml de muestra y llevarlos a un erlenmeyer de 250 ml.
2. Adicionar 100 ml de agua desionizada.
3. Adicionar de 3 a 4 gotas de fenoltaleína.
4. Titular con SODA CAUSTICA 1.0N hasta la aparición de un color rosa claro estable.
5. Acidez: Volumen gastado de Soda 1.0N

CONDICIONES DE OPERACION

CONCENTRACION	428 g/l
TEMPERATURA	18 - 50 °C, para limpieza de piezas difíciles, con herrumbre y grasas pesadas.
TIEMPO	5 - 30 Minutos
EQUIPOS	Pueden emplearse tanques de acero dulce, siendo más aconsejable el acero inoxidable, polipropileno, etc. En la calefacción pueden emplearse serpentines o calentadores eléctricos de acero inoxidable.

MANEJO

Medios de extinción de fuego	CO ₂ o polvo químico seco
Riesgos de incendio y explosión	Ninguno conocido
Estabilidad	A temperatura y humedad controladas
Precaución	Evitar el mezclado con bases y álcalis.
Descomposición	Ninguna Conocida

PROCEDIMIENTO ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE DESECHOS

Almacenamiento	En un lugar cubierto y fresco sobre estibas o estanterías.
Fugas o derrames	Recoger con arena o diques de contención. Evitar mezcla con bases y álcalis.
Manejo de desechos	Neutralizar antes de su vertimiento

RIESGOS PARA LA SALUD

Contacto con los ojos	Irritación y quemaduras
Contacto con la piel	Irritación y quemaduras.
Ingestión	Irritación y quemaduras de órganos digestivos
Inhalación	Irritación y quemaduras del tracto respiratorio

PRIMEROS AUXILIOS

Ojos	Lavar con abundante agua por lo menos 15 minutos y acudir al médico
Piel	Remover la ropa impregnada y lavar con abundante agua el área afectada.
Ingestión	Beber abundante agua y pedir ayuda médica.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Ventilación	La necesaria
Protección respiratoria	Emplear máscara de vapores ácido para su manipulación.
Protección de los ojos	Emplear gafas de protección.
Protección de la piel	Uso de guantes y delantal plástico para manejo de productos químicos.
Limite de exposición	No disponibles

Todos los detalles y recomendaciones vienen precedidos de una larga experiencia Industrial, pero aún así, no nos permiten garantizar resultados sin una previa adaptación a las condiciones existentes en los diferentes casos, ni en cualquier circunstancia que esté fuera de nuestro directo control o de las estipulaciones especiales dadas por el Servicio Técnico.
La información suministrada: Propiedad de BYCSA S.A., esta limitada en su uso por las personas o firmas ligadas por contrato y por ello, queda prohibida expresamente su reproducción y comunicación total o parcial, a terceros que escapen al alcance de Protección del Registro de la Propiedad Industrial, sobre diseño, marcas patentes o modelos.

FT-FA-337
1(15/05/14)

Fuente: BYCSA S.A.S

ANEXO K.

Ficha Técnica Kleanex DEC

INFORMACIÓN TÉCNICA



KLEANEX DEC DECALAMINADOR PARA METALES FERROSOS

KLEANEX DEC es un producto ácido para el decapado de metales ferrosos con calaminas, óxidos e incrustaciones severas, eliminándolas rápidamente sin atacar el metal base teniendo además un limitado poder desengrasante.

UN 3264 IMO 8

PROPIEDADES FISICO QUÍMICAS

Aspecto	Líquido Amarillo Verdoso / incoloro
Estado físico	Líquido
Olor	Penetrante
Color	Amarillo Verdoso
Peso específico	1.10 - 1.18
Acidez Total	80 - 95
Solubilidad en agua	Completa
Naturaleza Química	Ácido

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Concentración	Listo uso, 50% V/V, 25% V/V
Temperatura	Ambiente
Tiempo de inmersión	Dependiendo del óxido, calamina o incrustación a remover.

EQUIPOS

Tanques: en polipropileno.
Calentamiento: con resistencias de Plomo o Teflón.

CONTROLES ANALITICOS

Determinación de acidez

- Tomar 10 cc de muestra y llevarlos a un erlenmeyer de 250 cc
- Adicionar 4 a 6 gotas de Fenolftaleína al 1%.
- Titular con SODA CAUSTICA 1.0 N hasta punto final rosa

FT-FA-204
6(03/10/14)

INFORMACIÓN TÉCNICA



PUNTUACION ACIDA = cc de Soda Cáustica 1 N

La puntuación ácida para las diferentes preparaciones es:

Preparación	Puntuación
Listo Uso	80 - 90 cc
50%V/V	40 - 50 cc
25%V/V	20 - 30 cc

Para aumentar en un punto la acidez de la solución se requieren 15 Cm.³/l de **KLEANEX DEC** concentrado.

Determinación de Hierro

La concentración máxima de Hierro no debe ser superior a 75 g/l cuando esto suceda y no se tenga un sistema de filtración adecuado para controlar y mantener el Hierro, se recomienda cambiar completamente la solución

MANEJO

Medios de extinción de fuego
Riesgos de incendio y explosión
Estabilidad
Precaución

CO₂ o polvo químico seco
Ninguno conocido
A temperatura y humedad controladas
Evitar el mezclado con compuestos sólidos reactivos.

PROCEDIMIENTO ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE DESECHOS

Almacenamiento
Fugas o derrames
Manejo de desechos

En un lugar cubierto y fresco
Lavar con abundante agua
Neutralizar y verter

RIESGOS PARA LA SALUD

Contacto con los ojos
Contacto con la piel
Inhalación

Quemaduras severas de las vías oculares
Picazón y enrojecimiento de la parte afectada. El contacto prolongado ocasiona severas quemaduras.
Irritación en las mucosas, vías respiratorias, sensación de ahogo, dolor de cabeza y

FT-FA-204
6(03/10/14)

ANEXO L.
Ficha Técnica FLUX HM

**INFORMACIÓN
TÉCNICA**



FLUX HM
TENSOACTIVO PARA GALVANIZADO EN CALIENTE

EL **FLUX HM**, es un producto que contiene tensoactivos cuyas propiedades y carga iónica le permiten gran sinergia con el fluxado generando:

- * Ecurrido más rápido al salir de la cuba de fluxado.
- * Mayor nivelación en la capa de fluxado.
- * Disminución de explosiones en la cuba.

PROPIEDADES

Es un producto altamente tensoactivo capaz de reducir tensión superficial al adicionarse en las proporciones señaladas.

UN N.A. IMO N.A.

PROPIEDADES FISICO QUÍMICAS

Aspecto	Líquido Viscoso traslúcido
Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Solubilidad en agua	Completa
Naturaleza Química	Levemente ácido
pH	5 - 7
Olor	Inodoro

CONDICIONES DE OPERACIÓN

El **FLUX HM** se adiciona al fluxado en una proporción de 1.5% v/v.

EQUIPOS

Tanques: Acero Dulce
Resistencias: Acero Inoxidable

FT-FA-178
1(19/05/11)

MANTENIMIENTO

El mantenimiento se realiza en función de una curva de calibración que varía entre 0.1%v/v y 2.0% v/v del **FLUX HM**, teniendo como variable de respuesta la tensión superficial en Dinás/cm² medida con el stalagmometro.

Se debe medir la tensión inicial y final del baño en donde esperamos encontrar una disminución en la tensión superficial de un 30%.

MANEJO

Medios de extinción de fuego	CO ₂ o polvo químico seco.
Riesgos de incendio y explosión	Ninguno conocido.
Estabilidad	Estable a temperatura y humedad controlada.
Precaución	Evitar el mezclado con álcalis y ácidos fuertes.
Descomposición	Con alto calentamiento.

PROCEDIMIENTO ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE DESECHOS

Almacenamiento	En un lugar cubierto y fresco.
Fugas o derrames	Lavar el piso con abundante agua y evitar mezcla con álcalis o ácidos fuertes.
Manejo de desechos	Diluir antes de su vertimiento.

RIESGOS PARA LA SALUD

Contacto con los ojos	Irritación.
Contacto con la piel	Irritación.
Ingestión	Irritación de órganos digestivos
Inhalación	Irritación en las mucosas y vías respiratorias en altas concentraciones.

PRIMEROS AUXILIOS

FT-FA-178
1(19/05/11)

ANEXO M.

Oferta Comercial Planta de Tratamiento Aguas Residuales SANIAGUAS



SANIAGUAS S.A.S

TECNOLOGIA EN PROCESOS PARA AGUA

NIT° 900.723.170-1

OFERTA COMERCIAL

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	V/R. UNIT.	V/R. TOTAL
1	Suministro de tanque rectangular reactor en material de PRFV "poliéster reforzado con fibra de vidrio", compuesto cámara de floculación activado por aireación, tanque aguas claras sedimentación y tanque pulmón para sistema de filtración, dimensiones: Largo 5,10 mts; Ancho 1,00 mts; Altura 2,00 mts incluye soportes para tubería de aireación, drenajes unión rosca NPT para purga de lodos Ø 2" en las cámaras, cono de precipitación en tanque de aguas claras,	UND	1	35.000.000	35.000.000
2	Suministro de tanque filtro en material de fibra de vidrio incluye válvula de control serie HD Ø 0,30mts Altura 1,00 mt incluye distribuidor de agua, colector y lechos filtrantes	UND	2	2.000.000	4.000.000
3	Suministro de tanque de lechos de secado fabricado en material de fibra de vidrio dimensiones: Ø 0,36 mts altura 1,00 mts entrada y salida unión PVC-P 2"	UND	1	1.800.000	1.800.000
4	Suministro de tanque de preparación de productos químicos en material de fibra de vidrio capacidad de 800 lts con cámaras	UND	1	1.800.000	1.800.000
5	Sistema de aireación eléctrico de baja potencia	UND	2	6.500.000	13.000.000
6	Difusores de aire en reactor	UND	4	150.000	600.000
7	Bomba dosificadora análoga para dosificación de productos químicos sulfato y cloro	UND	4	1.500.000	6.000.000
8	Sistema de Bombeo inicial y filtración	UND	2	1.375.000	2.750.000
9	Tablero eléctrico de control y protección equipos	UND	1	2.000.000	2.000.000

Carrera 3 No. 11-20, Soacha- Cund. Tel. 9012797

Cel. 3125899379 –

E-mail: saniaguas.n@hotmail.com

Visitenos en: <http://www.saniaguas.com/>



SANIAGUAS S.A.S

TECNOLOGIA EN PROCESOS PARA AGUA

NIT° 900.723.170-1

10	Accesorios de instalación PVC incluye válvulas, codos, tee entre otros para el correcto funcionamiento de la PTAR	UND	1	3.000.000	3.000.000
11	Instalación y transporte de planta de tratamiento incluye capacitación de operarios, manual de operación y mantenimiento.	UND	1	5.000.000	5.000.000
SUBTOTAL					74.950.000
ADMINISTRACIÓN E IMPREVISTOS			5%		3.747.500
UTILIDAD			10%		7.495.000
IVA / UTILIDAD			19%		1.424.050
TOTAL					87.616.550

CONDICIONES COMERCIALES

PLAZO DE ENTREGA: 8 Semanas fabricación; 2 Semanas transporte e instalación
GARANTÍA: 5 años por defectos de fabricación
LUGAR DE ENTREGA: **POR DEFINIR CAMBIA VALOR EN INSTALACIÓN SEGÚN EL CASO**
VALIDEZ OFERTA: 30 días
FORMA DE PAGO: 50% Como anticipo, con la orden de compra
40% Con el despacho de la planta previa inspección de los equipos en planta.
10% A la entrega de la planta en funcionamiento.

Cordialmente,

NELSON GABRIEL ROMERO NEIRA
GERENTE SANIAGUAS SAS.

Carrera 3 No. 11-20, Soacha- Cund. Tel. 9012797

Cel. 3125899379 –

E-mail: saniaguas.n@hotmail.com

Visítenos en: <http://www.saniaguas.com/>

Fuente: SANIAGUAS S.A.S