

Mera V., Anndy G.

DESARROLLO DE PROPUESTAS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA PLANTA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE LA EMPRESA ABB DE VENEZUELA

Tutores Académicos: Prof. María Rincones, Prof. José Fernández. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2002, 147 p.

Palabras Claves: Galvanizado en Caliente, Auditoría de Residuos, Ingeniería Ambiental, Minimización de Residuos y Emisiones.

Resumen. La planta de estructuras metálicas de la empresa ABB de Venezuela se encuentra actualmente en el marco de la implantación del Sistema de Gestión Ambiental para optar a la certificación de las normas ISO 14.000, por lo que el tema central de este Trabajo Especial de Grado es desarrollar las propuestas que permitan reducir la generación de residuos y minimizar el impacto al ambiente, logrando así una mejor calidad en su producto final.

La realización del proyecto se llevó a cabo siguiendo la metodología de una auditoría de residuos, la cual contempla tres fases: la primera comprende la preevaluación del estudio a realizar para la preparación de la auditoría, la segunda fase, de recolección de datos para realizar un balance de materiales y una última fase de desarrollo e implementación de propuestas, donde se traduce lo encontrado en los balances de materiales a un plan de acción para la reducción de residuos. Adicionalmente se revisaron las opciones para el manejo de residuos y la normativa ambiental vigente.

De la preevaluación, se estableció que la auditoría abarca todos los residuos generados en el proceso de galvanizado de la planta de estructuras metálicas,

teniendo como objetivo su minimización global, orientada hacia la prevención de la generación de residuos y por último hacia el control de los mismos.

Del balance de materiales, se determinaron como residuos problemáticos el ácido exhausto del decapado y del quemado, las aguas de piso, los lodos de hidróxido férrico y los lodos generados de las neutralizaciones de los efluentes ácidos, las emisiones de los gases ácidos del decapado y del quemado y los vapores generados en el baño de zinc. Partiendo de este resultado se propone como medida obvia principal de minimización de residuos, entre otras, la buena práctica de los procedimientos de operación ya que con ella se logra un ahorro en los costos de 4.184.000,00 Bs/año, con una producción promedio de 8.000 T de piezas galvanizadas. De igual manera, se considera como opciones importantes a la reducción de residuos a largo plazo la instalación de nuevas tecnologías, tales como campanas de extracción de gas, sistema de regeneración interna de flux y una mampara con filtros de manga; asegurando de esta manera la reducción de los residuos peligrosos generados en el proceso

Así mismo, se formuló como plan de acción un taller de concienciación ambiental, dirigido a todo el personal de la planta, cuyo contenido esté enfocado a que la calidad total significa la producción de bienes que satisfacen las necesidades de los clientes y que tienen impactos mínimos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Dada la importancia de la auditoría realizada en este trabajo se recomienda informar al personal calificado de la planta la situación actual, a fin de tomar las precauciones necesarias. De igual manera, promover la participación activa de la gerencia de la planta, con el fin de comprometer a todo el personal empleado y obrero con la nueva gestión ambiental.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
II.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
II.2.- OBJETIVOS	3
II.2.1.- Objetivo general.....	3
II.2.2.- Objetivos específicos.....	4
III.- MARCO TEÓRICO.....	5
III.1.- PROCESO DE GALVANIZADO.....	5
III.1.1.- Galvanización en caliente	5
III.1.2.- Diagrama de bloques del proceso de galvanizado.....	11
III.1.3.- Preparación de la pieza.....	11
III.1.3.1.-Decapado	11
III.1.3.2.-Lavado.....	23
III.1.3.3.-Flux:	24
III.1.3.4.-Secado.....	26
III.1.4.-Galvanización	26
III.1.4.1.-Galvanizado	26
III.1.4.2.-Pasivación.....	29
III.1.4.3.-Quemado	30

<i>III.2.- AUDITORÍA DE RESIDUOS</i>	30
<i>III.2.1.-Pre-evaluación</i>	32
<i>III.2.2.-Balance de materiales: entradas y salidas del proceso</i>	35
<i>III.2.3.-Desarrollo e implementación de propuestas</i>	41
<i>III.3.- OPCIONES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS</i>	47
<i>III.3.1.- Desechos gaseosos</i>	47
<i>III.3.2.- Desechos líquidos</i>	50
<i>III.3.2.1.-Disposición con tratamiento</i>	50
<i>III.3.2.2.-Recuperación de efluentes ácidos</i>	51
<i>III.3.2.3.-Disposición para otro uso químico</i>	53
<i>III.3.3.- Desechos sólidos</i>	54
<i>III.4.- NORMATIVA AMBIENTAL</i>	54
<i>IV.- METODOLOGÍA</i>	56
<i>IV.1.- BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN GENERAL</i>	56
<i>IV.2.- PREEVALUACIÓN</i>	56
<i>IV.3.- ELABORACIÓN DEL BALANCE DE MASA</i>	57
<i>IV.4.- DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS</i>	57
<i>V.- MARCO DE REFERENCIA Y ESQUEMA DESCRIPTIVO DE ABB</i>	58
<i>VI.- RESULTADOS DE LA AUDITORÍA DE RESIDUOS</i>	67
<i>VI.1.- PREEVALUACIÓN</i>	67
<i>VI.1.1.- Orientación y preparación de la auditoría</i>	67
<i>VI.1.2.- Identificación y definición de las operaciones unitarias y elaboración del diagrama de flujo del proceso</i>	69
<i>VI.2.- BALANCE DE MATERIALES: ENTRADAS Y SALIDAS DEL PROCESO</i> ..	74
<i>VI.3.- CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS PROBLEMÁTICOS</i>	83
<i>VI.4.- DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS</i>	89
<i>VI.4.1.- Examen de las medidas obvias de reducción de residuos</i>	89

VI.4.1.1.- Buenas prácticas de los procedimientos de operación.....	89
VI.4.1.2.- Minimización de la cantidad de baños de decapado agotados generada mediante inhibidores del decapado	92
VI.4.1.3.- Reparación y mantenimiento de las grúas	94
VI.4.1.4.- Minimización del aporte de óxidos de hierro a la operación de decapado	95
VI.4.2.- Desarrollo de opciones de reducción y/o tratamiento de residuos a largo plazo.....	97
VI.4.2.1.- Decapado	97
VI.4.2.2.- Flux	105
VI.4.2.3.- Galvanizado.	109
VI.4.2.4.- Quemado	112
VI.4.2.5.- Lodos.....	121
VI.4.3.-Consideraciones adicionales a la auditoría de residuos.....	125
VII.- DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN	132
VIII.- CONCLUSIONES	140
VIII.1.- PREEVALUACIÓN	140
VIII.2.- BALANCE DE MATERIALES	140
VIII.4.- DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE PROPUESTAS	141
VIII.5.- DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE ACCIÓN.....	142
IX.- RECOMENDACIONES.....	143
X.- BIBLIOGRAFÍA.....	145
XI.- ANEXO.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1: Capas producidas por la reacción Fe-Zn.</i>	<i>9</i>
<i>Figura N° 2: Diagrama de bloques del proceso de galvanizado.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura N° 3: Concentración del HCl en el decapado en función de la temperatura.</i>	<i>16</i>
<i>Figura N° 4: Efectos del tiempo en función de la concentración del baño de decapado</i>	<i>17</i>
<i>Figura N° 5: Disposición de las capas de óxido.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura N° 6: Penetración del ácido y remoción de la capa inferior de Wustita.</i>	<i>19</i>
<i>Figura N° 7: Reacción del ácido con la base de hierro.</i>	<i>19</i>
<i>Figura N° 8: Sistema de lavado de doble pared.</i>	<i>24</i>
<i>Figura N° 9: ABB Planta Yare.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura N° 10:Galpón de galvanizado</i>	<i>59</i>
<i>Figura N° 11: Operaciones de decapado y lavado en ABB.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura N° 12: Operaciones de flux y quemado en ABB</i>	<i>61</i>
<i>Figura N° 13: Operaciones de galvanizado y enfriamiento en ABB</i>	<i>61</i>
<i>Figura N° 14: Galpón de carpintería pesada</i>	<i>63</i>
<i>Figura N° 15: Taller mecánico</i>	<i>64</i>
<i>Figura N° 16: Planta de tratamiento</i>	<i>64</i>
<i>Figura N° 17: Tanques de almacenamiento (arriba), Patio de materia prima (abajo)</i>	<i>65</i>
<i>Figura N° 18: Mezclador de cal</i>	<i>66</i>
<i>Figura N° 19: Neutralización</i>	<i>66</i>
<i>Figura N° 20: Diagrama de Flujo del proceso de galvanizado</i>	<i>73</i>
<i>Figura N° 21: Diagrama de Flujo del proceso de galvanizado (generación de residuos).....</i>	<i>84</i>
<i>Figura N° 22: Sistema de regeneración interna del flux automatizado.</i>	<i>106</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N° 1: Composición típica de los gases emitidos de la cuba de Zinc.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla N° 2: Legislación Ambiental Venezolana Vigente.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla N° 3: Dimensiones de los equipos del proceso de galvanizado.</i>	<i>62</i>
<i>Tabla N° 4: Plan de trabajo.</i>	<i>69</i>
<i>Tabla N° 5: Balance de materiales (Entrada).</i>	<i>81</i>
<i>Tabla N° 6: Balance de materiales en el zinc.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla N° 7: Balance de materiales (Salida).</i>	<i>82</i>
<i>Tabla N° 8: Resultado de los análisis de las muestras de aire captadas dentro del galpón de galvanizado.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla N° 9: Resultado de los análisis físico-químico de las muestras de lodo.</i>	<i>86</i>
<i>Tabla N° 10: Resultado de los análisis del lixiviado de la muestra tratada.</i>	<i>88</i>
<i>Tabla N° 11: Valoración económica de la reducción de residuos por buenas prácticas en los procedimientos.</i>	<i>92</i>
<i>Tabla N° 12: Valoración económica de la reducción del baño de decapado de un tanque con el uso de un inhibidor.</i>	<i>93</i>
<i>Tabla N° 13: Valoración económica del mantenimiento de las grúas.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla N° 14: Resumen de las medidas obvias de minimización de residuos.</i>	<i>96</i>
<i>Tabla N° 15: Valoración económica para la regeneración de un tanque de ácido de decapado exhausto.</i>	<i>99</i>
<i>Tabla N° 16: Valoración económica de la neutralización de un tanque de ácido de decapado exhausto usando una lechada de cal.</i>	<i>100</i>
<i>Tabla N° 17: Resumen de las opciones de disposición final del ácido de decapado exhausto.</i>	<i>101</i>
<i>Tabla N° 18: Valoración económica de la reducción de las emisiones de gases ácidos en un baño de decapado.</i>	<i>103</i>

<i>Tabla N° 19: Resumen de las alternativas para la reducción de las emisiones gaseosas del decapado.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla N° 20: Resumen de la alternativa para la regeneración interna del flux.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla N° 21: Resumen de las alternativas para la reducción de residuos en el galvanizado.</i>	<i>111</i>
<i>Tabla N° 22: Valoración económica para la regeneración del tanque grande de ácido de quemado exhausto.</i>	<i>113</i>
<i>Tabla N° 23: Valoración económica para la regeneración del tanque pequeño de ácido de quemado exhausto.</i>	<i>114</i>
<i>Tabla N° 24: Valoración económica para la transferencia del ácido del tanque pequeño a una empresa como materia prima para la elaboración de flux.</i>	<i>115</i>
<i>Tabla N° 25: Valoración económica para la transferencia del ácido del tanque grande a una empresa como materia prima para la elaboración de flux.</i>	<i>116</i>
<i>Tabla N° 26: Resumen de las alternativas para la disposición final del ácido de quemado exhausto.</i>	<i>117</i>
<i>Tabla N° 27: Valoración económica de la reducción de las emisiones de gases ácidos en el tanque grande de quemado.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla N° 28: Valoración económica de la reducción de las emisiones de gases ácidos en el tanque pequeño de quemado.</i>	<i>119</i>
<i>Tabla N° 29: Resumen de las alternativas para la reducción de las emisiones gaseosas del decapado.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla N° 30: Valoración económica de la destrucción térmica para los lodos existentes en la planta.</i>	<i>122</i>
<i>Tabla N° 31: Valoración económica para la adquisición de un equipo de incineración.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla N° 32: Resumen de las opciones para la disposición final de los lodos.</i>	<i>124</i>
<i>Tabla N° 33: Resultado de los análisis físico-químico de las muestra de aguas</i>	<i>127</i>
<i>Tabla N° 34: Resumen de la acciones correctivas a seguir en las consideraciones adicionales.</i>	<i>131</i>

<i>Tabla N° 35: Puntos a considerar en el taller de concienciación ambiental.</i>	<i>134</i>
<i>Tabla N° 36: Plan de acción para la adecuación de la planta y la certificación ISO 14.000.....</i>	<i>136</i>

I.- INTRODUCCIÓN

La situación de creciente competitividad y excelencia empresarial que se ha derivado del proceso de globalización, ha hecho que el manejo de residuos que antes se encaminaba hacia el tratamiento de aguas de desecho al final de la tubería (mediante el diseño de plantas de tratamiento de residuos y la instalación de equipos de control de la contaminación para prevenirla), se enfoque de manera diferente: actualmente va dirigida hacia la prevención y reducción de los residuos. Las grandes empresas no escapan a esta realidad y es por esta razón que ABB de Venezuela ha implementado un proceso de desarrollo sustentable en todas sus plantas, que va desde la obtención de la materia prima hasta la colocación de productos y servicios de calidad a sus clientes.

La Planta de Estructuras Metálicas de ABB de Venezuela, ubicada en Yare, Edo. Miranda, ocupa una posición preponderante dentro de la industria eléctrica, debido a la fabricación de una gran variedad de torres para tendidos eléctricos y antenas de telecomunicaciones. Estos productos no sólo se destinan a satisfacer el mercado nacional, sino que también se dirigen al mercado internacional.

El propósito que persigue este Trabajo Especial de Grado es desarrollar las propuestas que permitan a la planta de Estructuras Metálicas reducir la generación de residuos y minimizar el impacto al ambiente, logrando así una mejor calidad en su producto final y una mayor confiabilidad del cliente, ya que éste es uno de los requisitos para la certificación ISO 14000.

La metodología que se lleva a cabo en una auditoría de residuos es la que permitirá el desarrollo de las propuestas requeridas en este Trabajo Especial de Grado. Adicionalmente también se tomarán en cuenta las normativas ambientales venezolanas vigentes para un proceso de este tipo, asegurando que las propuestas recomendadas cumplan con las exigencias ambientales nacionales.

II.- FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se plantean las bases que dan sustento a este Trabajo Especial de Grado, así como los objetivos que deben cumplirse durante la realización del mismo.

II.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ABB es una empresa suiza que cuenta con 120 sedes a nivel mundial, cuyo principal objetivo es el de ser una empresa competitiva en el mercado sabiendo que para ello debe cumplir con las exigencias del cliente. En su necesidad de encontrar la confianza del cliente, ABB certifica a todas sus sedes a nivel mundial con las normas ISO 9000, logrando así asegurar una excelente calidad en el acabado de sus productos, pero hoy en día la mentalidad del mundo industrial y del cliente ya no sólo esta dirigida a producir o comprar con calidad; se ha despertado una gran preocupación por el ambiente, producir minimizando el impacto es lo que ha llevado a muchas empresas a una revisión de sus procesos productivos para lograr este objetivo y seguir siendo una empresa competitiva.

ABB, para mantenerse líder en muchos de los mercados en los que se desenvuelve, tuvo que revisar sus objetivos y misión teniendo como único cambio significativo el de producir minimizando el impacto al ambiente. Ahora su misión, además de satisfacer a sus clientes con una excelente calidad en sus productos, también busca cumplir con las exigencias ambientales.

La manera en que ABB puede asegurarle a sus clientes que entre sus principales prioridades corporativas está la de considerar los aspectos ambientales en todas sus operaciones es certificándose con las normas ISO 14000. Hasta ahora

115 sedes se han certificado con estas normas, pero Venezuela es una de las sedes que aún no lo ha logrado.

Para la certificación no es necesario haber resuelto todos los problemas ambientales que puedan presentarse en la empresa, pero si es necesario tenerlos todos ubicados, saber cómo solucionarlos y asegurar que se cuenta con los recursos necesarios para resolverlos. Todo esto conlleva a que ABB de Venezuela haya puesto en marcha un plan para demostrar que su intención es desarrollar y ofrecer procesos, productos y servicios que causen el menor impacto ambiental, que sean seguros, reciclables, reutilizables o desechables de una manera ambientalmente aceptable.

Es en ABB de Venezuela, Planta Yare, donde el desarrollo de este plan se complica un poco, ya que existe un proceso químico del cual se generan múltiples residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Por lo tanto, es necesario iniciar un proyecto en el cual se desarrollen propuestas para el manejo de los residuos de esta planta, tema central de este Trabajo Especial de Grado, para posteriormente optar a la certificación de las normas ISO 14000.

II.2.- OBJETIVOS

En esta sección se define el objetivo general de este estudio, así como también los objetivos específicos que deberán alcanzarse al culminar el mismo.

II.2.1.- Objetivo general

Desarrollar propuestas que permitan el manejo ambientalmente apropiado de los residuos que se generan en la Planta de Estructuras Metálicas de la empresa ABB de Venezuela.

II.2.2.- Objetivos específicos

- *Identificar los efluentes que se generan en la planta para disponer adecuadamente de cada uno de ellos.*
- *Conocer la composición química de las aguas generadas y/o tratadas procedentes del área de galvanizado.*
- *Conocer la composición química de los lodos producidos en el proceso de neutralización de los ácidos exhaustos y de las aguas provenientes del área de galvanizado.*
- *Evaluar los vapores emitidos durante el proceso de galvanizado a fin de determinar la mejor disposición de los mismos.*
- *Plantear las posibles soluciones para el manejo adecuado de los desechos generados en la planta.*
- *Evaluar, técnica y económicamente, cada una de las soluciones planteadas con el fin de definir la más adecuada desde el punto de vista ambiental.*
- *Proponer la solución (o soluciones) más adecuada(s).*

III.- MARCO TEÓRICO

En esta sección se describirán brevemente todos los aspectos teóricos necesarios para la elaboración del Trabajo Especial de Grado, empezando por la definición de galvanización en caliente, posteriormente la descripción del proceso productivo, luego las consideraciones ambientales a tomar en cuenta en el proceso de galvanizado, así como todas las consideraciones necesarias en una auditoría de residuos y, por último, la normativa ambiental vigente a considerar al momento de desarrollar las propuestas.

III.1.- PROCESO DE GALVANIZADO^(1,2)

Existen dos procesos diferentes para galvanizar, los cuales son: galvanizado en frío y galvanizado en caliente. En ABB se utiliza este último, dividida en dos fases: la primera es la preparación de la pieza que comprende los pasos de decapado, lavado, flux y secado. La segunda fase es la galvanización la cual esta conformada por el galvanizado, la pasivación y el quemado.

III.1.1.- Galvanización en caliente⁽³⁾

Se conoce como galvanización en caliente los recubrimientos galvanizados que se obtienen mediante inmersión de las piezas o construcciones de acero en zinc fundido. Los recubrimientos de este tipo cubren la totalidad de las superficies de las piezas, incluidas las superficies interiores de los cuerpos huecos y quedan perfectamente adheridos a la superficie del acero a través de una serie de capas de aleaciones zinc-hierro, que proporcionan además una gran dureza y una excelente resistencia a la abrasión.

La galvanización toma su nombre de Luigi Galvani (1737-1798), uno de los primeros científicos interesados en la electricidad. La galvanización se denomina de esta manera porque cuando el zinc y el acero se ponen en contacto mutuo, en un medio húmedo, se produce una diferencia de potencial eléctrico. Si el recubrimiento de zinc, que aísla al acero del contacto con el ambiente, se daña en algún punto, esta diferencia de potencial dará lugar a una pila de corrosión en la que el zinc constituirá el ánodo de la pila y el acero el cátodo. En estas circunstancias el zinc se oxidará, mientras que el acero permanecerá inalterado.

En 1741, el químico francés Melouin descubrió que los recubrimientos de zinc protegían al acero de la oxidación, aunque no pudo aclarar el motivo. En 1837, el ingeniero francés Sorel patentó la galvanización en caliente. Sorel utilizó el término “galvanización” porque comprendió que era una corriente galvánica la que protegía al acero, incluso aunque el recubrimiento tuviera alguna discontinuidad.

A pesar de que este procedimiento se ha utilizado comercialmente desde entonces, todavía hoy es uno de los sistemas de protección del acero técnicamente más avanzados. Todos los procedimientos de protección del acero se basan en interponer una barrera aislante o establecer una celda galvánica. La galvanización ofrece ambos mecanismos de protección en un solo producto, que además es económico y fácil de aplicar.

Aunque el procedimiento de galvanización es sencillo, los procesos metalúrgicos que tienen lugar durante el mismo son bastante complejos. Los recubrimientos galvanizados se forman por reacción del zinc fundido con el acero. Para que esta reacción tenga lugar es necesario que las superficies de los materiales estén perfectamente limpias, para que puedan ser mojadas por el zinc fundido. Por ello, las primeras etapas del proceso de galvanización tienen por finalidad la

obtención de una superficie del acero químicamente limpia, mediante tratamientos de desengrase y decapado.

A la temperatura normal de galvanización (445-460°C) el zinc y el acero reaccionan rápidamente. Las piezas se extraen del baño de galvanización cuando se considera que la reacción se ha completado (normalmente después de unos pocos minutos) y aunque el recubrimiento de zinc queda ya formado en este período de tiempo, su estructura interna sigue evolucionando mientras el material está caliente.

El agente desoxidante de los metales Zn y Fe es el NH_4Cl , que a la temperatura del zinc se disocia como se muestra en la reacción I:

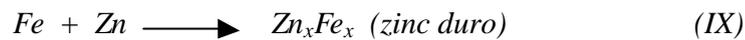
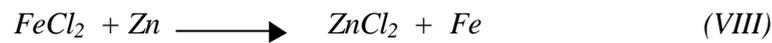
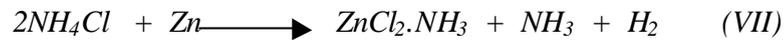


Por lo tanto, muy esquemáticamente, las reacciones de desoxidación son como se muestran a continuación:



Más detalladamente y para mejor entendimiento de todos los fenómenos que se producen, las reacciones son las siguientes:





Con estas reacciones se explican los siguientes argumentos:

- La desoxidación del Fe y del Zn (reacciones IV y V).
- Que un exceso de NH_4Cl provoca un consumo inútil de zinc (reacción VII) y un ataque sobre el hierro (reacción VI) para producir FeCl_2 .
- El olor a amoníaco (NH_3) perceptible durante el galvanizado (reacciones IV, V, VI y VII).
- La formación de hidrógeno (H_2) que quema o explota (reacciones VI y VII).
- La formación de cenizas, como $\text{ZnCl}_2 \cdot \text{NH}_3$ (reacciones V y VII) y como ZnCl_2 (reacción VIII).
- La formación de humos como H_2O y NH_3 y una serie de sales de zinc que tienen como fórmula $\text{ZnCl}_2 \cdot (\text{NH}_3)_x$ (donde x varía de 2-6) que habiendo alta presión de vapores, volatilizan.
- La formación de zinc duro (reacciones VIII y IX).

De la reacción VIII se observa como el cloruro de hierro(II) reacciona con el zinc fundido para poner en libertad hierro metálico que, combinándose con el zinc, da origen al zinc duro (Zn_xFe_x).

El galvanizado se efectúa en un baño de zinc fundido con alto grado de pureza (99,5% mínimo), en el fondo del cual viene incluida una capa de 20-25cm de

plomo para impedir que la pieza logre rozar el fondo y para facilitar la extracción del zinc duro. La temperatura a la cual se encuentra el baño de zinc es 445-455°C y el tiempo de inmersión debe ser entre 1 1/2 min a 2 min.

Durante la inmersión de las piezas se produce la reacción Fe-Zn; el hierro se mezcla en el zinc formando aleaciones y capas con porcentajes decrecientes de hierro hasta conseguir una capa de zinc puro. Este comportamiento se puede visualizar en la Figura N° 1.

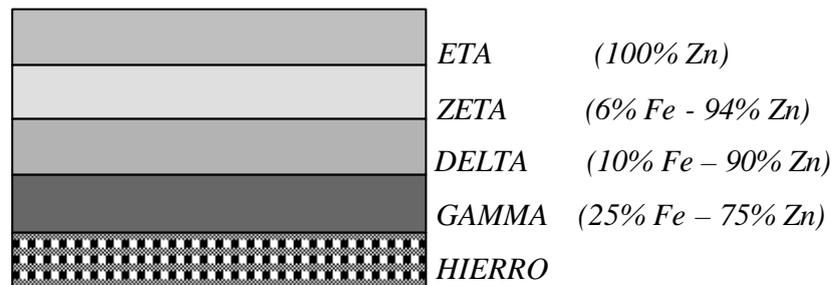


Figura N° 1: Capas producidas por la reacción Fe-Zn.

La velocidad de reacción (y consecuentemente el tiempo de inmersión y el espesor de zinc) es directamente proporcional a la composición química del hierro y la temperatura del baño de zinc; ésta aumenta con el incremento de la temperatura del baño y más con el alto porcentaje de los elementos de aleación del hierro (C-Si).

La alta reactividad y temperatura, que influyen directamente, llevan a formaciones de altas capas de aleación Fe-Zn, que frecuentemente llegan a la superficie de la pieza galvanizada dando origen al galvanizado gris. La reacción tiene la velocidad máxima durante los primeros dos minutos de inmersión para después presentar un comportamiento decreciente.

El tiempo de inmersión es directamente proporcional al espesor del zinc deseado y a la calidad (composición química) de la pieza a galvanizar y por eso es también función de su velocidad de reacción y también de la temperatura.

Como se puede notar, el proceso es un equilibrio donde se encuentran los parámetros sobre los cuales es posible una cierta influencia (temperatura del baño y tiempo de inmersión); corresponde a la práctica del operador saber intervenir a tiempo y apropiadamente.

Como la intención principal es obtener un galvanizado lúcido (estrato de zinc puro), además de galvanizar a baja temperatura, a veces es necesario intervenir con otros medios para bloquear la reacción Fe-Zn antes que aflore la superficie, tales como:

- *Aumentar la velocidad de extracción del zinc fundido de modo de vencer la viscosidad y obtener una más alta capa de zinc puro (no posible en las instalaciones con las que cuenta ABB).*
- *Enfriamiento veloz de la pieza a 350°C (posible con aire soplado).*

El zinc duro es una unión de hierro zinc, conteniendo 4% de Fe y 96% de Zn. Al presentar un punto de fusión elevado y un peso específico ligeramente más alto que el zinc, el zinc duro (también llamado mata) se deposita sobre la superficie del plomo fundido de donde debe ser extraído con frecuencia (dematización). Siendo dañino para la salida de un buen galvanizado y causa de un notable consumo de zinc, y por lo tanto de costos, es necesario anular las fuentes eliminables que lo producen e intentar de atenuar aquellas no eliminables.

Si se observa la reacción química IX antes expuesta, donde se produce el zinc duro, el hierro necesario llega de dos fuentes diversas: una del metal base y la otra de las sales de hierro (FeO-FeCl₂).

La reacción entre Zn y Fe base es solo parcialmente influenciable y es necesario regularla según su necesidad, sin excesos, porque es la reacción base del galvanizado.

III.1.2.- Diagrama de bloques del proceso de galvanizado

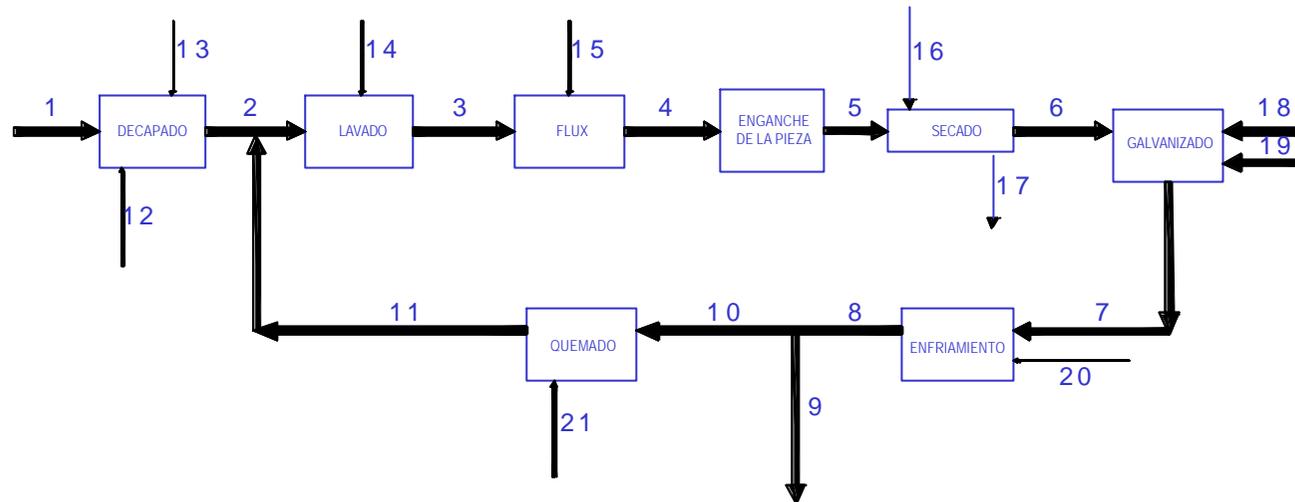
En la Figura N° 2 se presenta el diagrama de bloques del proceso de galvanizado. Tal como se mencionó anteriormente, el proceso de galvanizado se divide en dos etapas: la preparación de la pieza y la galvanización.

III.1.3.- Preparación de la pieza

A continuación se describen los pasos a seguir para la preparación de la pieza a galvanizar:

III.1.3.1.-Decapado

El decapado es la operación de remoción del óxido en la superficie de un metal. Los metales ferrosos tienen una superficie cubierta de óxido metálico, la cual debe ser removida antes de recubrir la pieza con el zinc. Un decapado efectivo removerá las trazas de óxido ocasionando que la pieza quede sin capas del mismo.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CORRIENTES	ACERO NEGRO	ACERO DECAPADO	ACERO LAVADO	ACERO CON FLUX	ACERO ENGANCHADO	ACERO SECADO	ACERO GALVANIZADO	ACERO GALVANIZADO ENFRIAMIENTO	PRODUCTO CONFORME	PRODUCTO NO CONFORME	ACERO QUEMADO
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
CORRIENTES	ÁCIDO VIRGEN (30%)	AGUA	AGUA	FLUX	AIRE CALIENTE	AIRE FRÍO	ZINC	PLOMO	AGUA	ÁCIDO VIRGEN	

Figura N° 2: Diagrama de bloques del proceso de galvanizado

Se pueden obtener velocidades idénticas de decapado con ácido sulfúrico o clorhídrico, manteniendo una conveniente selección de temperatura e intensidad del baño de decapado. Para decapar, generalmente se usan soluciones calientes diluidas de ácido sulfúrico, mientras que el ácido clorhídrico se usa comúnmente a temperatura ambiente para evitar las indeseables emanaciones de vapores. Experimentalmente, las velocidades más rápidas de decapado son obtenidas en baños de ácido sulfúrico caliente más que en baños de ácido clorhídrico a temperatura ambiente.

El ácido clorhídrico es altamente volátil y genera vapores a temperatura ambiente. La emanación de vapores aumenta con el incremento de temperatura de la solución. Los vapores pueden causar daños severos de corrosión en equipos y estructuras de construcción que se encuentren a los alrededores del tanque de decapado, además de que su alta toxicidad perjudica la higiene ocupacional, ocasionando irritaciones a nivel de las mucosas y de la piel si no se usa el equipo de protección adecuado para el manejo de este ácido. Por consiguiente, el ácido clorhídrico no es calentado a menos que esté disponible un sistema de ventilación. Las soluciones de ácido sulfúrico calentadas producen vapor de agua, lo cual produce un aumento de humedad y contribuye un poco a la corrosión, sin embargo la contribución no es tan significativa como la que aporta los vapores del ácido clorhídrico.

Los baños de ácido sulfúrico son calentados a 150-180 °F (66-82 °C), y aún cuando consumen más energía que los baños de ácido clorhídrico pueden ser empleados varios métodos de conservación de energía. Los tanques que contienen los baños de ácido pueden ser aislados y cubiertos durante los tiempos muertos.

Debido a que el ácido clorhídrico se compra a una concentración diluida del 30% comparada con la del ácido sulfúrico del 98%, es considerablemente mayor el

volumen de almacenamiento requerido a la hora de inventariar ambos ácidos. Se requieren materiales más resistentes a la corrosión para el manejo del ácido clorhídrico.

La diferencia entre escoger al ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico está en que los costos operativos con el ácido sulfúrico son mayores, debido al suministro permanente de energía que necesita para ser un agente decapante efectivo.

El tiempo requerido para remover el óxido depende no solo del grosor de la capa y del tipo de escama, también dependerá de otros factores como: temperatura del baño, concentración del ácido, concentración de hierro, agitación, selección del inhibidor y concentración.

Temperatura: La reacción del ácido sulfúrico toma lugar muy lentamente a temperatura ambiente mientras que el ácido clorhídrico decapa efectivamente a esa temperatura. Las velocidades de reacción para ambos ácidos aumentan a medida que aumenta la temperatura. Las velocidades de decapado más rápidas pueden ser obtenidas con el calentamiento del ácido sulfúrico más que con el ácido clorhídrico a temperatura ambiente.

Se emplea un rango de temperatura de 140-200 °F (60-93 °C) en los baños de ácido sulfúrico pero se recomienda usar un rango de 150-180 °F (66-85 °C). Sobre los 180 °F (82° C), el vapor y la niebla en la sala de decapado se incrementan a menos que el lugar esté provisto de un sistema de ventilación o que los tanques posean dicho sistema. La temperatura normal para usar el ácido clorhídrico para el decapado es de 70-100 °F (21-38 °C), la concentración inicial de este ácido en el decapado en función de la temperatura se muestra en la Figura N° 3.

Concentración del ácido: La concentración del baño de decapado es de un 14-16 % en peso en caso de utilizar ácido clorhídrico y de un 10-14 % en peso para el ácido sulfúrico. Por otro lado, tal y como se señala en la Figura N° 4, la velocidad de la reacción de decapado aumenta en función de la concentración de ácido clorhídrico. Así, a alta concentración de ácido ($\gg 200$ g/l HCl) el decapado es espectacularmente rápido por lo que suele darse un ataque al material base. Por debajo de los 150 g/l de clorhídrico, el tiempo de decapado es más uniforme y permite una gestión óptima de la acidez del baño.

Concentración de hierro: Si el baño de decapado es operado con adiciones repetidas de ácido para mantener la concentración de ácido libre aproximadamente constante, la velocidad de decapado decrecerá cuando la concentración de hierro disuelto se incremente. Si la concentración de hierro alcanza de 7 a 10%, la velocidad de decapado usualmente es demasiado baja para ser económica, a pesar del aumento en concentración del ácido con ácido nuevo.

Agitación: La velocidad de remoción de óxido se puede incrementar con la agitación del baño. Una película estacionaria de ácido, próxima a la superficie del óxido, posee una concentración en ácido libre que disminuye mientras la concentración de hierro disuelto aumenta. Ambos cambios disminuyen la velocidad de decapado. El decapado resultará más rápido si el ácido fresco es traído a la superficie y el ácido débil con el hierro disuelto es dispersado por todo el baño lejos del metal. La agitación puede ser obtenida por cualquier medio mecánico o por inyección de aire o vapor dentro del baño.

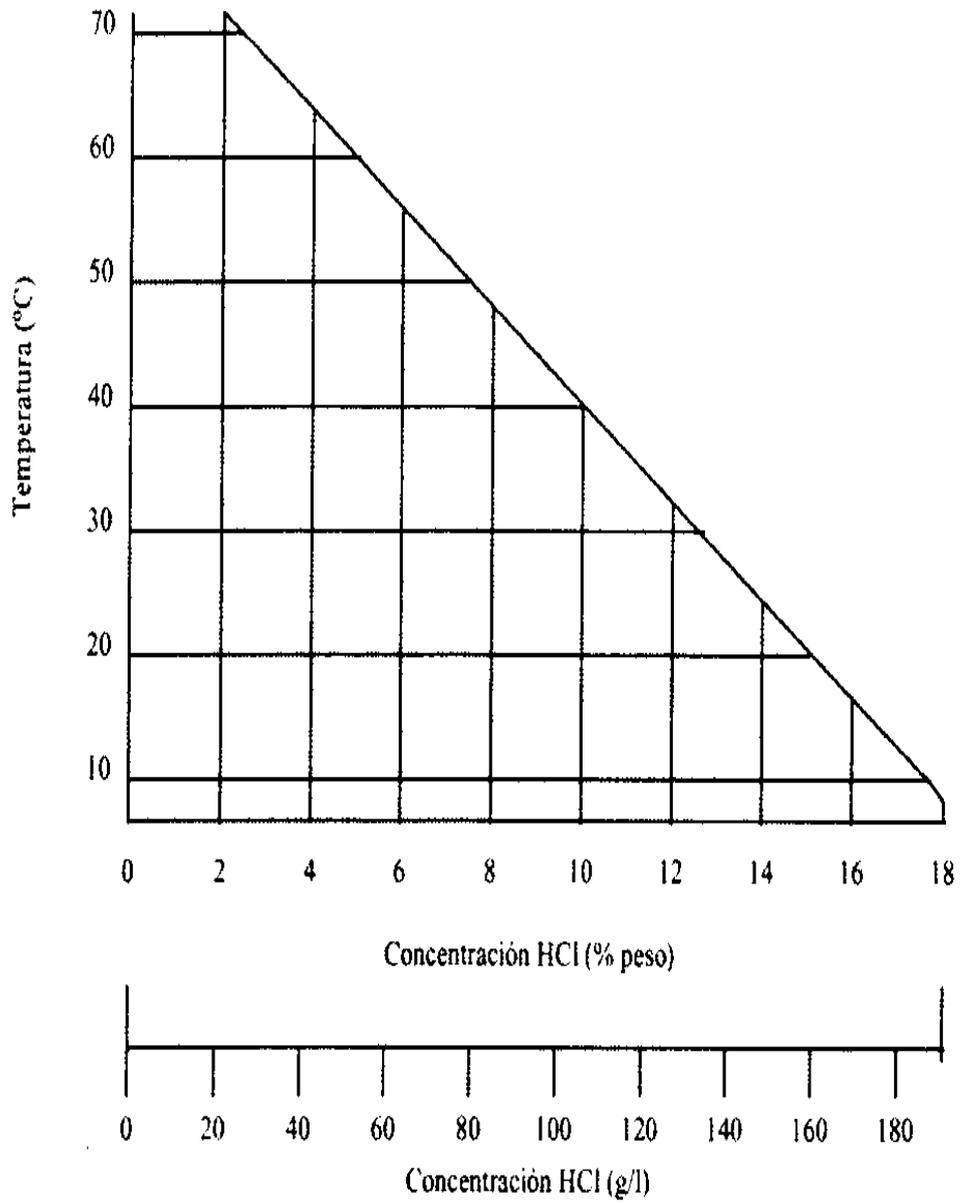


Figura N° 3: Concentración del HCl en el decapado en función de la temperatura.

Fuente: Galvanizing Handbook⁽²⁾.

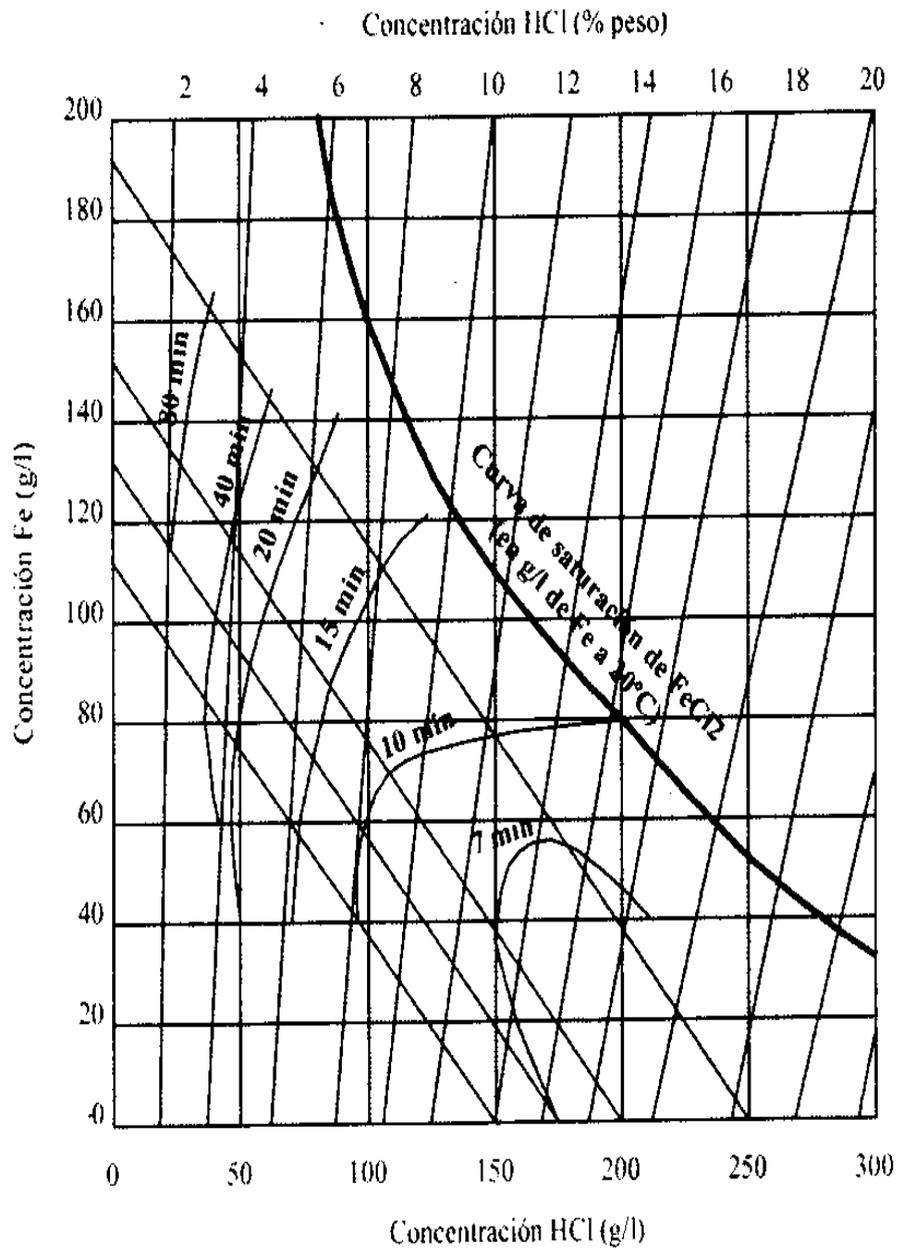


Figura N° 4: Efectos del tiempo en función de la concentración del baño de decapado

Fuente: Galvanizing Handbook⁽²⁾.

Selección del inhibidor y concentración: El sobre decapado ocurre cuando la solución de decapado ataca y disuelve la base de metal después de remover el óxido. El sobre decapado usualmente resulta porque la capa de óxido no es uniforme y se previene por la apropiada selección y uso de los inhibidores.

Esquemáticamente se puede decir que durante la laminación en caliente se forman sobre la superficie del hierro tres tipos de óxido:

FeO - óxido ferroso (wustita), soluble en ácido

Fe_2O_3 - óxido férrico (hematita), poco soluble en ácido

Fe_3O_4 - óxido ferroso – férrico (magnetita), poco soluble en ácido

En la Figura N° 5 se muestra la disposición de las capas de óxido presentes en la pieza metálica:

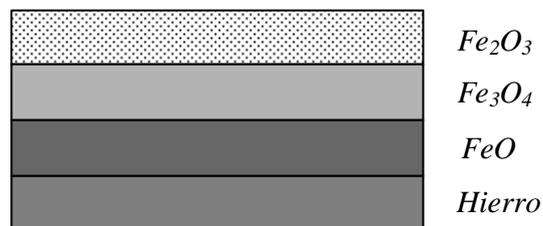


Figura N° 5: Disposición de las capas de óxido.

Las capas superficiales de hematita y magnetita, casi insolubles, presentan interrupciones. Esto permite al ácido penetrar y remover la capa inferior de wustita produciendo el desprendimiento de las capas superiores. Este efecto se puede apreciar en la Figura N° 6.

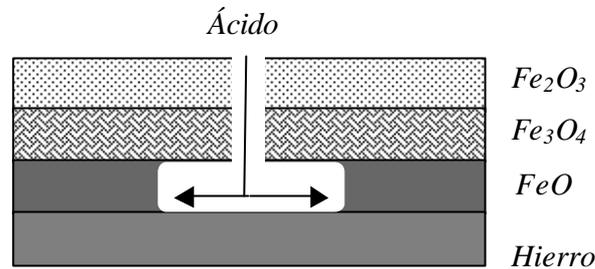


Figura N° 6: Penetración del ácido y remoción de la capa inferior de Wustita.

Resulta evidente que la velocidad del decapado es directamente proporcional al número de interrupciones y a la continuidad de la capa de FeO. La formación de FeO depende esencialmente de la permanencia a la temperatura de laminación de hierro, de la duración de esta temperatura y del tiempo de enfriamiento, por lo cual puede que la capa de FeO sea nula ó casi nula. En este caso la separación del óxido insoluble será causada por la reacción del ácido con la base de hierro que lo sostiene, tal como se muestra en la Figura N° 7.

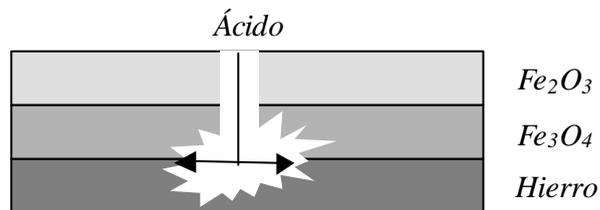
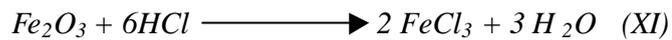
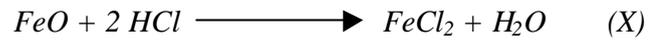


Figura N° 7: Reacción del ácido con la base de hierro.

Del mismo modo la velocidad del decapado se reduce porque el hierro es mucho menos soluble que el FeO. Se explica de este modo también el hecho por el cual el hierro, largamente expuesto a los agentes atmosféricos, resulta difícil de decapar; de hecho el FeO se transforma lentamente en Fe₃O₄.

Las reacciones que se producen durante el decapado clorhídrico son las siguientes:



Las principales reacciones son la X y la XIII, mientras que la XI y la XII son descartadas, siendo Fe_2O_3 y Fe_3O_4 casi insolubles.

El cloruro férrico (FeCl_3) que se forma, se reduce a cloruro ferroso (FeCl_2) por el hidrógeno que se desarrolla de la reacción XIII.



La velocidad del decapado puede aumentarse elevando la temperatura del baño, agitando la solución decapante ó haciendo borbotear oxígeno. Usando estos métodos en el proceso, se favorece también la reacción nociva XIII.

Mientras la reacción X es muy útil para el decapado, es necesario evitar, o mejor aún, reducir al mínimo la reacción XIII, porque es causa de varios inconvenientes, como:

a) *Generación de hidrógeno con la consiguiente ebullición de la solución decapante y por esto la formación de vapores nocivos de hidrógeno y ácido clorhídrico en el ambiente de trabajo.*

b) *Endurecimiento superficial del hierro por absorción de hidrógeno con la consiguiente fragilidad.*

c) *La formación de bolsas de gas, donde la forma o la posición del material lo permita, lo que interrumpe el decapado en el área correspondiente.*

d) *Enlodamiento de la pieza por el mal acabado de las operaciones sucesivas, porque el lodo adherido sobre la superficie ferrosa esta constituido de sales insolubles que no se desprenden con la simple inmersión en agua. Dichas sales provienen de combinaciones complejas de los elementos de aleación con el hierro y la solución decapante.*

Para limitar los efectos dañinos provocados por la reacción hierro-ácido, se requiere:

a) *Usar inhibidores (productos especiales de varios tipos capaces de bloquear la reacción XIII).*

b) *Reducir al mínimo el tiempo de decapado.*

c) *Mantener la temperatura del baño bajo los 21°C.*

d) *No usar baños con concentración de ácido muy alto.*

e) *No extender excesivamente el grado de agotamiento del baño.*

Estas precauciones deben ser razonablemente aplicadas según los medios disponibles (cuba de decapado, medios de levantamiento, etc.) y el tiempo de producción.

Los materiales muy oxidados (gruesas y abundantes inclusiones de óxido de laminación ó bien oxidación por larga exposición a agentes atmosféricos) y por ende difícilmente decapables, deben ser decapados en dos etapas (o más), es decir un

primer decapado (1 h. aproximadamente), lavado, depósito y secado al aire al menos 8 h y después el segundo decapado.

En el primer decapado se hace una primera remoción preliminar de las capas de óxido. Durante el período de depósito, la humedad y el oxígeno atmosférico atacan sobre el perímetro las zonas no decapadas de FeO que se diluye durante el segundo decapado, provocando el desprendimiento de los óxidos insolubles.

Un baño de decapado debe ser preparado con una concentración de HCl variable entre 180 a 200 g/l, (16,8 a 18,3%; igual a 11-12 °Bé). Tal concentración permite satisfacer todos los parámetros de interés como: velocidad de decapado y concentración en FeCl₂ en la fase final de utilización del baño

El uso de soluciones más diluidas provoca una caída en la velocidad de decapado; soluciones más concentradas, son causa de pérdida de ácido. La reacción de equilibrio real es:



Procede más rápidamente la reacción directa, cuanto menor es la cantidad de FeCl₂, puesto que aún está presente en la solución una cantidad significativa de HCl libre. La excesiva concentración en FeCl₂ provoca también un excesivo enlodamiento de la pieza y por consiguiente un mal decapado.

El nivel inicial de la cuba debe ser tal que debe permitir la correcta inmersión del material hasta finalizar el baño sin recargas intermedias. Por este motivo el material debe ser escurrido cuidadosamente sobre el estanque, ya que de lo contrario se observaría una disminución del nivel. En todo caso no es aconsejable la

recarga de ácido virgen en una cuba de decapado, en casos excepcionales agregar agua y HCl en la justa proporción.

El uso de una concentración inicial constante de ácido, simplifica los controles analíticos, en efecto, basta verificar uno de los parámetros para reconocer, con buena aproximación, el valor de los otros. Finalmente, se puede decir que aún cuando el decapado es una operación química simple, requiere una particular atención para obtener buenos resultados.

III.1.3.2.-Lavado

El material decapado debe ser cuidadosamente lavado antes del flujo, y es recomendable un doble lavado en tina de agua corriente. La cantidad de agua mínima necesaria debe ser tal que después de su segundo lavado su pH sea mayor a 4. Esta es la condición mínima esencial para tener la seguridad que sobre la pieza no permanecerá cantidad alguna de sales de hierro soluble, ni de ácido que pueda alterar el baño de flujo.

Usando el lavado en contracorriente en dos etapas se reduce sustancialmente el consumo de agua que si se hace en ccorriente. En la Figura N° 8 se observa un sistema de lavado de doble pared, el cual es el más eficiente y reducirá al mínimo la cantidad de agua requerida.

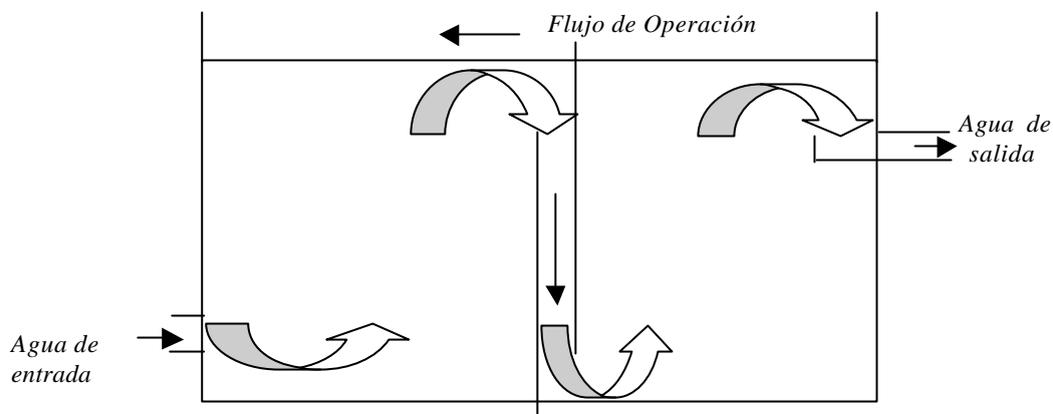


Figura N° 8: Sistema de lavado de doble pared.

III.1.3.3.-Flux:

El objeto principal del flux es impedir la formación de óxido sobre la superficie de la pieza decapada y lavada durante el secado en horno, así como también eliminar la eventual presencia de óxido aún presente en el momento de la inmersión en el zinc derretido (la reacción hierro-zinc se produce sólo con los dos metales puros).

El flux es una solución que contiene una concentración de 550-600 g/l de $ZnCl_2$ y 50-60 g/l de NH_4Cl , una densidad de 40-42^S °Bé y un pH entre 4-4,5. Puede ser preparado usando sales existentes en el mercado ($ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl - ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$) y disolviéndolas con agua.

La solución, si es usada tal cual, debe ser diluida para llevar la densidad a 40-42 °Bé y allí se deben agregar 50-60 g/l de NH_4Cl ; la dilución no aplica para

* Unidad equivalente de densidad, se calcula a través de $^{\circ}Be = 145 - \frac{145}{ge}$ para sustancias más ligeras que el agua y como

$^{\circ}Be = \frac{140}{ge} - 130$ para sustancias más pesadas que el agua, donde ge es la gravedad específica de la sustancia en estudio.

reforzar un flux ya existente agotado en su densidad, en ese caso es determinante la adición del NH_4Cl . Es preferible usar las sales comerciales para la preparación del flux para así evitar la presencia de hierro en la solución, el cual es la principal causa de la formación del zinc duro.

Un contenido de hierro en el flux menor o igual 15 g/l no produce una consecuencia sensiblemente dañina sobre la producción de zinc duro, por lo cual, operando con las debidas precauciones, es posible mantener el porcentaje de hierro dentro del valor antes indicado. Es aconsejable en el uso del flux, además de la concentración indicada, una temperatura de 40-60°C.

Las ventajas del calentamiento se pueden resumir así:

- *Una mejor y más veloz cristalización del ZnCl_2 , lo que da la posibilidad de aumentar el tiempo de reposo de la pieza antes del galvanizado.*
- *El flux puede ser neutralizado más velozmente con inclusiones de zinc, cuando, por lavado defectuoso después del decapado, el pH desciende bajo el valor de 3.*
- *Aporte de calorías suplementarias al secado.*
- *Permite trabajar con concentraciones ligeramente más bajas (36-38 °Bé) y por lo tanto una mejor producción de cenizas sobre el baño de zinc.*

En el baño de flux, deberán ser regularmente controladas las siguientes variables: densidad (40-42 °Bé), acidez (pH=4-4,5), concentración de Fe (< 15 g/l) y temperatura (40-60 °C).

III.1.3.4.-Secado

Las piezas sometidas al flux deben ser pasadas por el horno de secado para evitar estallidos de zinc durante su inmersión en el zinc fundido. Durante el secado, sobre la superficie de la pieza se forma una película de $ZnCl_2$ y NH_4Cl cristalizada, adherente y continua que protege la pieza de la oxidación.

Es importante durante esta operación, que la pieza no se caliente a una temperatura superior a la de fusión de la película protectora de cloruros, si esto sucediera, vendría la inmediata oxidación de la pieza y por consiguiente un galvanizado defectuoso.

III.1.4.-Galvanización

A continuación se describen los pasos a seguir para la obtención de la pieza galvanizada.

III.1.4.1.-Galvanizado

Es recomendable el galvanizado a baja temperatura, se debe tratar de no superar los 455 °C. También es importante que los tiempos de inmersión sean breves, es decir, que sean los mínimos tiempos indispensables para obtener el espesor deseado de zinc.

Las reacciones entre Zn y Fe provenientes de sus sales son en cambio eliminables totalmente o casi en su totalidad. La reacción IV es la única aceptable porque es fundamental para un buen galvanizado, más cuantitativamente es omisible.

El daño principal es causado por la reacción VI (exceso de NH_4Cl) y globalmente por la reacción VIII, que es la suma de todo el FeCl_2 proveniente de las reacciones IV y VI de un flujo contaminado y de las sales de hierro insolubles (y no eliminadas con el lavado) presentes sobre las superficies de las piezas; el cual es provocado por un decapado muy prolongado.

Por otra parte, estas últimas sales tienen un punto de fusión muy alto y por eso es difícil extraerlas de la superficie de la pieza (especialmente de las caras planas inferiores), también se produce una notable cantidad de cenizas, lo que ocasiona un galvanizado defectuoso (manchas negruzcas).

Todas las causas que llevan a la formación de matas (dentro del cual se debe agregar también la reacción entre el zinc y la cuba de contención) son notables y positivamente influenciadas por la alta temperatura. Por ejemplo, la formación de matas a $470\text{ }^\circ\text{C}$ es casi el doble que a $450\text{ }^\circ\text{C}$. Por otra parte, superando los $475\text{ }^\circ\text{C}$ el zinc duro se dispersa en el zinc fundido, contaminando el baño y obteniendo por esto un galvanizado defectuoso (superficie rugosa por inclusiones de zinc duro, que posteriormente son orígenes de centros de corrosión).

Durante el galvanizado se forman sobre la superficie del baño una serie de sales de zinc, que dan origen a las cenizas. Estas mezclas de sales (ZnCl_2 del flujo) son aportadas, en parte por formación durante el galvanizado ($\text{ZnCl}_2\cdot\text{NH}_3$ reacciones V y VII, ZnCl_2 reacción VIII) y en parte causadas por la oxidación del zinc (ZnO).

La ceniza tiende a mezclarse en el zinc fundido, por ello, durante su remoción se encuentra una notable pérdida de zinc metálico. Para reducir al mínimo esta formación es necesario:

- *Usar el flux a baja concentración de ZnCl_2 .*
- *Evitar los excesos de NH_4Cl (reacción VII).*

- *Usar flujos no contaminados de hierro y evitar el sobre decapado (reacción VIII)*
- *Galvanizar a baja temperatura para no incentivar la oxidación del zinc.*
- *Mantener la ceniza el mayor tiempo posible en el baño para favorecer el deslizamiento del zinc metálico incluido.*
- *Durante el paleteo de la superficie de zinc, hacer escurrir las goteras de zinc con ligeras vibraciones.*

La reducción de la ceniza, aparte de reducir los costos pasivos, lleva como consecuencia también un mejor galvanizado. En efecto, si las cenizas fuesen formadas exclusivamente de ZnO, estas se presentarían arenosas y secas y por lo tanto difícilmente desprendibles de las piezas galvanizadas; contrariamente, la elevada presencia de ZnCl₂ y especialmente de NH₄Cl, sales fundidas a la temperatura del zinc, confiere a la ceniza un aspecto grasoso y pastoso, y por eso tiende fácilmente a acoplarse a la pieza galvanizada.

La presencia de cenizas sobre la pieza (y sobre máquinas y herramientas), aparte de contaminar la solución pasivante siguiente, causa posteriormente un ataque al zinc con formaciones de óxido blanco, haciendo tomar al mismo una coloración gris-negrusca.

Durante el galvanizado se agregan al zinc pequeñas cantidades de aluminio (máx. 0,03%), con la intención de aumentar la fluidez del baño y de obrar como abrillantador. Por otra parte mejora la solidez del depósito, tiende a impedir la formación de capas con gran espesor de aleación Fe-Zn y mejora la elasticidad del depósito durante el retiro (enfriamiento).

Para galvanizadores que usan el flujo sobre el baño, una cantidad de aluminio mayor al 0,03% es nociva, por reacción Al-flujo, en cuanto a que este resulta viscoso y duro. Para galvanizadores "en seco", la cantidad de Al puede alcanzar 0,15%. Durante el galvanizado el aluminio se transforma en parte en AlCl_3 volátil y en parte en Al_2O_3 infusible, granuloso o ineficaz y causa incrustaciones sobre la pieza. A veces, estos altos porcentajes de aluminio son útiles para obtener galvanizado con mejores propiedades mecánicas que permiten operaciones del doblado de la pieza. El agregado de aluminio debe ser hecho bajo la superficie del baño, mediante un cestillo de hierro, usando aluminio puro o mezcla de ZnAl.

III.1.4.2.-Pasivación

Después del galvanizado, la pieza pasa por una solución acuosa caliente (65°-80°C) conteniendo 2 g/l de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ para impedir por algún tiempo la formación de óxido blanco. Con el fin de que esta solución sea realmente eficaz, es necesario activarla con 5-10 g/l de H_2SO_4 y a su vez darle al menos dos lavados en agua corriente para eliminar la presencia de ácido; pero esto implicaría la incorporación de dos operaciones unitarias adicionales que serían la del baño de H_2SO_4 y un segundo lavado, acarreando más costos operativos; es preferible por esto omitir la inclusión de ácido.

Además de pasivación, el enfriamiento en agua tiene también el objeto de bloquear las capas de aleación Fe-Zn y obtener un galvanizado limpio, quedando eliminadas también las eventuales presencias de flux arrastrado por la pieza. Por esto es necesario cambiar frecuentemente el agua de enfriamiento para evitar acumulación excesiva de cloruros, que cristalizándose sobre la pieza por efectos de la evaporación dan origen a la corrosión. Para este objeto, es útil tener a la salida de la cuba de enfriamiento un ventilador que permita un secado mecánico de la pieza y así disminuir la posibilidad de cristalización de las sales presentes.

Es útil en fin, usar agua poco dura y no superar los 80 °C; la alta temperatura favorece la descomposición del bicromato de sodio con formación de sales complejas insolubles, que se depositan en el fondo del estanque como fango y también sobre la pieza dando a estos un feo aspecto amarillento.

III.1.4.3.- Quemado

El producto final que no cumple con las especificaciones de calidad requeridas se sumerge en un baño de ácido clorhídrico virgen, con la finalidad de remover el zinc y posteriormente este baño es usado para la preparación de flujo, dicha pieza se reincorpora a la línea de producción en la fase de lavado.

III.2.- AUDITORÍA DE RESIDUOS⁽⁵⁾

En el pasado, el manejo de residuos se encaminaba hacia el tratamiento de aguas de desecho, “al final de la tubería”, mediante el diseño de plantas de tratamiento de residuo y la instalación de equipos de control de la contaminación, a fin de prevenir la contaminación del medio ambiente.

En los últimos tiempos ha surgido una filosofía diferente, dirigida hacia la prevención y reducción de los residuos. Ahora las preguntas son: ¿Cómo se puede prevenir la generación de este residuo?, ¿Cómo se puede reducir este residuo?, ¿Se puede reutilizar o recuperar este residuo?

Este cambio gradual de tratar los residuos hacia prevenirlos tiene las siguientes ventajas:

- *Se reducen las cantidades de residuos;*

- *Se reducen los consumos de materia primas, por consiguiente los costos;*
- *Se reducen los costos de tratamiento de residuos;*
- *Se reduce la contaminación potencial;*
- *Se mejoran las condiciones de trabajo;*
- *Se mejoran las eficiencias de proceso.*

Con el objeto de prevenir la generación de residuos se necesita examinar el proceso para identificar el origen de sus residuos, los problemas operativos inherentes a su proceso y aquellas áreas donde pueden hacerse mejoras.

Una auditoría de residuos es el primer paso de un programa subsecuente diseñado para alcanzar una optimización máxima de los recursos y un mejor rendimiento del proceso. Es un enfoque de sentido común para identificación del problema y su solución. Brinda una visión global de la fábrica, establecimiento o proceso para facilitar el contenido de los flujos de materiales, y dirigir su atención a las áreas donde puede ser efectiva la reducción de residuos, trayendo en consecuencia, posibles ahorros de costos.

Llevar a cabo una auditoría de residuos implica observar, medir, registrar datos, recolectar y analizar muestras de residuos. Para ser efectiva requiere hacerse metódica y exhaustiva, junto con el apoyo completo de la administración y los operadores.

Una buena auditoria de residuos:

- *Define fuentes, cantidades y tipos de residuos que se generan;*
- *Compara información sobre operaciones unitarias, materias primas, consumo de agua y residuos;*

- *Resalta las ineficiencias del proceso y las áreas donde la administración es deficiente;*
- *Ayuda a establecer metas para la reducción de residuos;*
- *Permite el desarrollo de estrategias rentables de administración de residuos;*
- *Eleva el interés entre la fuerza de trabajo con respecto a los beneficios de la reducción de residuos;*
- *Incrementa sus conocimientos sobre el proceso y*
- *Contribuye a mejorar la eficiencia del proceso.*

El procedimiento está constituido por tres fases: una fase de pre-evaluación para la preparación de la auditoría; una fase de recolección de datos para realizar un balance de materiales; y una fase de desarrollo e implementación de propuestas donde se traduce lo encontrado en los balances de materiales a un plan de acción para la reducción de residuos.

El procedimiento presentado a continuación debe constituir la base de una investigación.

III.2.1.-Pre-evaluación

A continuación se presentan los pasos a seguir para lograr la preparación de la auditoría.

Paso 1: Orientación y preparación de la auditoría

Una preparación exhaustiva para una auditoría de residuos es un requisito previo para un estudio eficiente y rentable. Es de particular importancia ganar el

apoyo de la alta administración para la auditoría y para la implementación de los resultados; de otra manera, no habrá una acción real.

Debe identificarse el equipo de auditoría de residuos. El número de personas requerido para un equipo auditor dependerá del tamaño y la complejidad del proceso a investigar. Una auditoría de residuos de una fábrica pequeña puede realizarse por una sola persona, con colaboración de los empleados. Un proceso más complicado puede requerir por lo menos 3 ó 4 personas. Involucrar al personal de cada etapa de las operaciones de fabricación incrementará la concienciación de los empleados sobre la reducción de residuos y promoverá el aporte y apoyo al programa.

Una auditoría de residuos requerirá probablemente recursos externos, tales como instalaciones de laboratorios analíticos y posiblemente equipos para muestreo y mediciones de flujo.

Es importante seleccionar el enfoque de la auditoría en la etapa de preparación. Puede suceder que la auditoría de residuos cubriera un proceso completo, o bien concentrarse en una selección de operaciones unitarias dentro de un proceso. El enfoque dependerá de los objetivos de la auditoría de residuos. Se pudiese desear buscar una minimización global de los residuos o bien concentrarse en residuos particulares, por ejemplo:

- *Pérdidas de materia prima.*
- *Residuos que ocasionan problemas de procesamiento.*
- *Residuos considerados como peligrosos o para los cuales exigen regulaciones.*
- *Residuos para los cuales los costos de disposición son elevados.*

Un buen punto de partida para diseñar una auditoría de residuos es determinar los principales problemas/residuos que presenta el proceso o sector industrial en particular.

Paso 2: Selección de las operaciones unitarias

El proceso estará constituido por varias operaciones unitarias. Una operación unitaria puede definirse como un área de proceso o un equipo donde se introducen los materiales, ocurre una función y se extraen los materiales, posiblemente en diferente forma, estado o composición.

Un estudio inicial del local debe incluir un recorrido por toda la planta, con el objeto de ganar un entendimiento sólido de todas las operaciones del proceso y sus interrelaciones. Esto ayudará al equipo auditor a decidir la manera de describir el proceso en términos de operaciones unitarias. Durante esta inspección general inicial, es útil registrar observaciones visuales y verbales, y elaborar esquemas de la distribución física del proceso, sistemas de drenaje, ventilación, tuberías y otras áreas de transferencia de materiales. Estos ayudan a asegurar que no se pasen por alto factores importantes.

El equipo auditor de residuos necesita comprender las variables de función y de proceso, asociados con cada operación unitaria. Así mismo, se debe cotejar toda la información disponible sobre las operaciones unitarias y el proceso en general, posiblemente en archivos separados.

Paso 3: Construcción de diagramas de flujo del proceso

Al conectar entre sí en un diagrama de bloques cada una de las operaciones unitarias, se puede preparar un diagrama de flujo de proceso.

Para procesos complejos se puede preparar un diagrama de flujo general que ilustre las áreas principales del proceso y, en hojas de papel separadas, preparar diagramas de flujo detallados para cada una de esas áreas. Seguidamente se debe decidir el nivel de detalle que se requiere para alcanzar los objetivos.

III.2.2.-Balance de materiales: entradas y salidas del proceso

Un balance de materiales puede definirse como una contabilización precisa de las entradas y salidas de una operación. Esta fase describe un procedimiento para la recopilación y administración de los datos de entrada y salidas. Aunque el procedimiento se establece por pasos, debe enfatizarse que la información de la salida puede ser recopilada al mismo tiempo, o antes, que los datos de la entrada; depende de que el auditor organice su tiempo de manera eficiente.

Paso 1: Determinación de las entradas

Las entradas a un proceso u operación unitaria pueden incluir materias primas, productos químicos, agua, aire y energía. Las entradas al proceso y a cada operación unitaria necesitan ser cuantificadas.

Como primer paso para cuantificar el consumo de materias primas, se debe examinar los registros de adquisiciones / compras; esto rápidamente da una idea de la magnitud de las cantidades involucradas. En muchas situaciones, las operaciones unitarias donde ocurren las mayores pérdidas de materia prima son en el almacenamiento y transferencia de las mismas. Se debe observar estas operaciones junto con los registros de compras, para determinar la entrada neta real al proceso.

Hay que considerar las pérdidas por evaporación, fuga, goteos de tanques enterrados de almacenamiento, pérdida de vapor a través de válvulas de alivio de presión en los tanques de almacenamiento y contaminación de materias primas. Frecuentemente estas pueden rectificarse de manera muy simple.

Si no se dispone de información precisa sobre las tasas de consumo de materias primas, para las operaciones unitarias individuales, entonces se necesitarán medidas para determinar cantidades promedio. Las mediciones deben hacerse durante un intervalo de tiempo apropiado. Por ejemplo, si un proceso toma una semana en realizarse, las mediciones deben ser hechas durante un período de por lo menos tres semanas; estas cifras pueden ser luego extrapoladas para tener valores mensuales o anuales.

En esta etapa se debe tomar en cuenta la entrada de energía a una operación unitaria. Sin embargo, el uso de energía merece una auditoría completa en sí. Para propósitos de auditoría de residuos basta con tomar nota de la fuente de energía y si se pudiese, o no, la reducción del residuo para disminuir a su vez los costos de la energía. Si el consumo de energía es un factor particularmente prominente, tal vez se debería recomendar que se lleve a cabo una auditoría de energía.

El agua se emplea con frecuencia en el proceso de producción para enfriamiento, lavado de gases, lavado en general, enjuague de productos y limpieza a vapor. Este consumo de agua debe también cuantificarse como entrada. Algunas operaciones unitarias pueden recibir residuos reciclados de otras operaciones unitarias, los cuales también representan a su vez una entrada.

Paso 2: Registro de consumo de agua

El consumo de agua, diferente al de reacciones de proceso, es un factor que debe cubrirse en todas las auditorías de residuos. El uso de agua para lavar, enjuagar y enfriar a menudo se pasa por alto, aunque representa una área donde las reducciones de residuos pueden con frecuencia lograrse de forma sencilla y económica.

Es necesario efectuar un programa de monitoreo para evaluar el consumo de agua en cada operación unitaria. De nuevo, las mediciones deben cubrir un período de tiempo suficientemente largo para asegurar que todas las acciones sean monitoreadas. Es importante poner atención a las acciones intermitentes tales como limpieza con vapor y lavado de tanques. El uso del agua es con mucha frecuencia indiscriminada durante estas operaciones. Se tiene que estar al tanto de cuando se llevarán a cabo estas acciones, de tal forma que puedan realizarse mediciones detalladas.

Paso 3: Medición de los niveles actuales de reutilización y/o reciclaje de residuos

Algunos residuos se prestan a reutilización directa en producción y pueden ser transferidos de una unidad a otra, otros requieren alguna modificación antes de ser adecuados para reutilizarse en un proceso dado. Estas corrientes de residuos reutilizadas deben ser cuantificadas.

Si los residuos reutilizados no están documentados apropiadamente puede ocurrir un conteo doble en el balance de materiales, particularmente a nivel del proceso o de planta completa; esto es; un residuo será cuantificado como salida de un proceso y como entrada a otro.

La reutilización o reciclaje de residuos debe reducir la cantidad de agua nueva y materias primas requeridas para un proceso dado. Mientras se observan las entradas a las operaciones unitarias, se puede pensar en las oportunidades para reutilizar y reciclar las salidas de otras operaciones.

Paso 4: Cuantificación de las salidas de proceso

Para calcular la segunda mitad de balance de materiales, deben cuantificarse las salidas de las operaciones unitarias y de todo el proceso. Las salidas incluyen producto principal, subproductos, aguas de desecho, residuos gaseosos (emisiones a la atmósfera), residuos líquidos y sólidos que necesitan ser almacenados y/o enviados fuera del local para su disposición y residuos reutilizables o reciclables.

La evaluación de la cantidad de producto principal o de producto útil es un factor clave en la eficiencia del proceso o de la operación unitaria. Si el producto es enviado fuera del local para su venta, entonces la cantidad producida es probable que esté documentada en los registros de la compañía. Sin embargo, si el producto es un intermediario que constituye la entrada a otro proceso u otra operación unitaria, la salida puede no ser tan fácil de cuantificar. Las tasas de producción tendrán que ser medidas por un período de tiempo. De forma similar, la cuantificación de los subproductos puede requerir medición.

Paso 5: Contabilización de las aguas de desecho

En muchos sitios se descargan cantidades significativas de agua, tanto limpia como contaminada, hacia el drenaje o hacia una corriente de agua. En muchos casos esta agua de desecho tiene implicaciones ambientales e incurre en costos de

tratamiento. Además, el agua de desecho puede eliminar materias primas valiosas sin hacer uso de las áreas de proceso.

Por consiguiente, es extremadamente importante saber cuánta agua de desecho esta dirigiéndose al drenaje y que contiene. Los flujos de cada operación unitaria, así como el proceso global, requieren ser cuantificados, muestreados y analizados.

Paso 6: Contabilización de las emisiones gaseosas

Para llegar a un balance de materiales preciso se requiere cuantificar algunas emisiones gaseosas asociadas al proceso. Es importante considerar las emisiones gaseosas actuales y potenciales, asociadas con cada operación unitaria, desde el almacenamiento de materias primas hasta el del producto.

Las emisiones gaseosas no siempre son obvias y pueden ser difíciles de medir. Donde la cuantificación sea imposible, pueden hacerse estimaciones utilizando información estequiométrica.

Paso 7: Contabilización de residuos para disposición fuera de la planta

El proceso puede producir residuos que no puedan ser tratados en la planta. Estos necesitan transportarse fuera de la planta para su tratamiento y disposición. Los residuos de este tipo usualmente son líquidos no acuosos, lodos o sólidos.

Con frecuencia, es costoso transportar y tratar los residuos para disposición fuera de planta. Por consiguiente, la minimización de estos residuos resulta en beneficio directo en los costos.

Paso 8: Estructuración de la información de entradas y salidas para las operaciones unitarias

Una de las leyes básicas que se aplican en ingeniería química es el balance de materiales, que establece que el total de lo que entra al proceso debe equivaler al total de lo que sale. Por lo tanto, se debe preparar un balance de materiales a la escala apropiada y para el nivel de detalle requerido en el estudio; por ejemplo, se podría necesitar un balance de materiales para cada operación unitaria o puede ser suficiente uno para todo el proceso.

La preparación de un balance de materiales está destinada a ganar una mejor comprensión de las entradas y las salidas, especialmente residuos, de una operación unitaria tal que las áreas donde se carece de información o ésta es incompleta puedan identificarse. Los desbalances requieren una investigación más a fondo. No se debe esperar un balance perfecto, el balance inicial debe ser considerado como una evaluación aproximada que debe ser revisada y perfeccionada.

Es probable que no toda la información recopilada para el balance de materiales sea necesaria, es por ello que se debe estructurar los datos de entradas y salidas para cada operación unitaria y entonces decidir si se necesita incluir todos los datos en el balance o no.

Paso 9: Evaluación del balance de materiales

Los totales individuales y sumados que componen el balance de materiales, deben revisarse para detectarse faltas de información o imprecisiones; si se tiene un desbalance significativo de materiales se requiere investigar con mayor profundidad. Por ejemplo, si las salidas son menores que las entradas, se tiene que buscar las

pérdidas potenciales o descargas de residuos (tales como evaporación). Las salidas podrían aparentar ser mayores que las entradas, si se cometen errores grandes de medición, estimación o si se pasan por alto algunas entradas.

En esta etapa hay que revisar las operaciones unitarias con el fin de identificar dónde pueden estar ocurriendo pérdidas inadvertidamente. Puede ser necesario repetir algunas actividades de recolección de datos.

Es necesario ser consistente y exhaustivo para obtener un balance de materiales satisfactorio. El balance de materiales no solo refleja la adecuada recolección de los datos, sino que debido a su naturaleza propia, asegura que se tenga un entendimiento sólido del proceso involucrado. Idealmente las entradas deben equivaler a las salidas, pero en la práctica esto rara vez será el caso y se requiere algo de criterio para determinar que nivel de precisión es aceptable.

III.2.3.-Desarrollo e implementación de propuestas

En esta fase se busca obtener todas las opciones, aplicables al caso, de reducción de residuos partiendo de los datos obtenidos del balance de materiales, para ello se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Examen de las medidas obvias de reducción de residuos

Puede ser imposible implementar las medidas de reducción de residuos obvias antes de proceder a obtener el balance de materiales. Se debe considerar la información del balance de materiales junto con observaciones visuales hechas durante todo el período de recolección de datos, con el fin de señalar áreas u operaciones donde ajustes sencillos en el procedimiento pudieran mejorar en gran medida la eficiencia del proceso al reducir pérdidas innecesarias. Se pueden

alcanzar reducciones significativas de residuos al perfeccionar la operación, mejorar el manejo y en general, teniendo más cuidado.

Paso 2: Caracterización de residuos problemáticos

Con los balances de materiales de cada operación unitaria se pueden señalar las áreas problemáticas inherentes al proceso, así como también se pudo haber destacado el origen de los residuos con alto costo de tratamiento o indicar qué residuos están ocasionando problemas de proceso y en cuáles operaciones. El balance de materiales debe usarse para enfocar sus prioridades hacia una reducción de residuos a largo plazo.

En esta etapa, valdría la pena considerar las causas subyacentes de por qué se generan los residuos y los factores que conducen a éstos; por ejemplo, tecnología deficiente, falta de mantenimiento e incumplimiento de los procedimientos de la compañía. Puede necesitarse muestreo y caracterización adicionales de los residuos, implicando un análisis más a fondo, para determinar las concentraciones exactas de los contaminantes.

Paso 3: Segregación

La segregación en sí no es propiamente parte de una secuencia de pasos para una auditoría de residuos, sino una más de las numerosas medidas que pueden conducir hacia las actividades de reducción de residuos. Sin embargo, es la más importante de tales opciones y constituye un asunto universal que necesita ser encarado.

La segregación de los residuos puede ofrecer mejores oportunidades para el reciclaje y la reutilización con los consiguientes ahorros en costos de materias

primas. Los residuos concentrados y simples son probablemente de más valor que los residuos diluidos o complejos.

Mezclar los residuos puede aumentar los problemas de contaminación. Si se mezcla un residuo muy concentrado con una gran cantidad de efluente débil y relativamente no contaminado, el resultado es un volumen mayor de residuo que requiere tratamiento. El residuo concentrado podría ser reciclado, reutilizado o bien podría necesitar tratamiento físico, químico y biológico para cumplir los niveles permitidos de descarga, mientras que el efluente más débil pudiera reutilizarse o solamente requerir sedimentación antes de la descarga.

Por consiguiente, la segregación de residuos puede proporcionar más oportunidad para el reciclaje y la reutilización, mientras que reduce costos de tratamiento al mismo tiempo.

Paso 4: Desarrollo de opciones de reducción de residuos a largo plazo

Los problemas de residuo que no puedan resolverse por ajustes simples de procedimiento o mejoras en las prácticas de mantenimiento del sitio, requerirán cambios más sustanciales a largo plazo.

Es necesario desarrollar posibles opciones de prevención para los problemas de residuos. Los cambios en el proceso, o en la producción, que puedan incrementar su eficiencia y reducir la generación de residuos incluyen:

- *Cambios en el proceso de producción continuo o en contraposición al proceso por lotes o discontinuo;*
- *Cambios en equipo e instalaciones;*
- *Cambios en el control de proceso – automatización;*

- *Cambios en las condiciones del proceso tales como tiempos de retención, temperaturas, agitación, presión, catalizadores;*
- *Uso de dispersantes en vez de disolventes orgánicos, donde sea apropiado;*
- *Reducción de la cantidad o tipo de materias primas empleadas en la producción;*
- *Sustitución de materias primas mediante el uso de residuos como materias primas, o en el empleo de otras diferentes que produzcan menos residuo, o un residuo menos peligroso;*
- *Sustitución por procesos de tecnología más limpia.*

La reutilización de residuos con frecuencia puede ser implementada si es posible concentrar o purificar materiales de calidad suficiente. Las tecnologías tales como ósmosis inversa, ultra filtración, electrodiálisis, destilación, electrólisis e intercambio iónico puede hacer que los materiales puedan ser reutilizados y reducir o eliminar la necesidad de tratamiento de residuos.

Se debe tomar en cuenta una gran variedad de tecnologías donde sea necesario el tratamiento de residuos. Estas incluyen procesos de tratamiento físico, químico y biológico. En algunos casos el método de tratamiento puede también recuperar materiales valiosos para su reutilización.

Paso 5: Evaluación ambiental y económica de opciones de reducción de residuos

Con el objeto de decidir qué opciones deben desarrollarse para formular un plan de acción de reducción de residuos, cada opción debe ser tomada en cuenta en términos de los beneficios ambientales y económicos.

- a) *Evaluación ambiental: Con frecuencia se da por hecho que la reducción de un residuo traerá beneficios ambientales. Esto generalmente es cierto; sin embargo, hay excepciones a la regla. Por ejemplo, reducir un residuo puede producir incrementos de los desbalances de pH o puede producir otro que sea más difícil de tratar, provocando una desventaja ambiental neta. En muchos casos, los beneficios pueden ser obvios, pero en otros casos las ventajas ambientales pueden ser menos tangibles. La creación de un centro de trabajo más limpio y más higiénico incrementará la eficiencia de la producción, pero esto puede ser difícil de cuantificar.*
- b) *Evaluación económica: Debe efectuarse un análisis económico comparativo de las opciones de reducción de residuos y la situación existente. Donde no puedan cuantificarse los beneficios o los cambios (por ejemplo, reducciones en obligaciones futuras, costos de salud y seguridad ocupacional) debe crearse alguna forma de evaluación cualitativa.*

Las evaluaciones económicas de opciones para reducir residuos, deben involucrar una comparación de los costos de operación, a fin de mostrar en dónde se realizarían los ahorros. En muchos casos, es apropiado comparar los costos de tratamiento de residuos bajo las condiciones existentes, con aquellas implicadas en la opción para reducir residuos.

El tamaño de la planta de tratamiento y los procesos requeridos para ellos pueden alterarse significativamente al implementar opciones de reducción de residuos. Esto debe considerarse en una evaluación económica.

Paso 6: Desarrollo e implementación de un plan de acción

Las medidas de reducción de residuos inmediatas y las de largo plazo, anteriormente identificadas, deben constituir la base para el plan de acción de reducción de residuos.

Se debe desarrollar un plan de acción que funcione y a su vez preparar el terreno para su aplicación. Su implementación debe ser precedida por una explicación de la idea principal que sustenta una auditoría de residuos: la prevención de residuos tiene sentido. Es necesario convencer a aquellos que van a trabajar, con los nuevos procedimientos, que el cambio en la filosofía de tratamientos de aguas de desecho hacia la prevención de residuos tiene sentido y sirve para mejorar la eficiencia.

La auditoría de residuos debe ser una actividad regular que intente desarrollar un enfoque específico de auditoría de residuos para su propia situación, manteniéndose al tanto de los avances tecnológicos que puedan conducir a la reducción de residuos y al desarrollo de productos “más limpios”.

El entrenamiento de la gente que trabaja en el proceso, para que se lleve a cabo una auditoría de residuos, ayudará a elevar la concienciación entre los empleados. Sin el apoyo de los operadores las acciones de reducción de residuos no tendrán efecto, esta es la gente que realmente puede hacer la diferencia en el desempeño del proceso.

III.3.- OPCIONES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS.^(6,7)

Tomando como base el uso de las herramientas y al componente ambiental afectado (aire, agua, suelo), se muestra a continuación las opciones más comunes para el manejo de los residuos generados en el proceso de galvanizado.

III.3.1.- Desechos gaseosos^(2,4)

En general los gases de cloruro de amonio emitidos del baño de zinc tienen la siguiente composición presentada a continuación; no obstante, la composición de los gases pueden variar completamente dependiendo de como opere la planta.

Tabla N° 1: Composición típica de los gases emitidos de la cuba de Zinc.⁽¹⁾

Componente	Composición (%peso)
Cloruro de Amonio	68,0
Óxido de Zinc	15,8
Cloruro de Zinc	3,6
Zinc	4,9
Amoniaco	1,0
Aceite	1,4
Agua	2,5
Carbón	2,8

Por otra parte, las partículas de los gases tienen típicamente menos de 5 micrones de diámetro, siendo el tamaño promedio de partícula el de 1,5 micrones, con aproximadamente un 90 por ciento en peso mayores de los 0,8 micrones.

De acuerdo a esto, el control de los gases en una planta de galvanizado puede ser realizado por un exhaustivo sistema de ventilación local adicional, es decir, ya que los procesos de galvanizado no pueden ser modificados lo suficiente como para producir aire con una calidad satisfactoria, los equipos pueden ser usados para separar las partículas en el gas del aire.

Para el control de las emisiones de una caldera de galvanizado, los gases generados deben ser conducidos a un dispositivo de control eficiente. El local en el cual se encuentran las plantas de galvanizado por cargas, se hace necesario usar una campana alta o un salón tipo campana. La cantidad de volumen requerido a ventilar se incrementa considerablemente con la altura de la campana; además, el tamaño del colector debe ser lo suficientemente largo como para alojar los grandes volúmenes de aire requeridos.

La campana con ranura puede ser usada para operaciones donde el área de generación de vapores es pequeña. Las velocidades necesarias a través de la ranura, para vencer las corrientes de aire térmicas de una caldera grande son altas. Cuando se usa una campana con ranura, la cantidad de ventilación requerida es más pequeña que la que se requiere con las campanas altas, y los dispositivos de control son correspondientemente más pequeños.

Las campanas bajas permiten proporciones de ventilación más bajas, para una adecuada captura de los gases y pueden usarse dispositivos de control más pequeños.

En los talleres típicos de galvanizado en caliente usan una grúa monorriel que facilita el movimiento del material dentro y fuera de la caldera. Considerando que se deben instalar unas cortinas secas incombustibles, que actúen de campana o de contenedor de gases encima de la caldera de galvanizado, éstas deben colgarse

tan cerca del lado de la caldera como se pueda, tomado en cuenta que deben ser consistente con el tamaño de la pieza que se requerirá girar durante el proceso en el tanque. Las cortinas pueden colgar dentro de los 6 y 7 pies (1,8-2,1 m) del suelo y pueden ser recogidas temporalmente cuando una pieza larga vaya a ser manipulada.

Con los ductos colectores bien diseñados para remover los gases y el aire entrampado en el espacio sobre la caldera, una velocidad promedio del aire de 50-70 pie/min (0,25-0,36 m/s) bajo los bordes, generalmente será suficiente para proveer que no haya corrientes de aire fuertes causadas por puertas abiertas o ventanas cercanas.

Cuando es necesario remover las partículas finas de humo del aire, existen varios tipos de filtros de alta eficiencia o dispositivos de control que pueden ser considerados. Éstos incluyen dispositivos de filtro tejido, normalmente conocido como filtros de bolsa, dispositivos de partícula aglomerada, precipitadores electrostáticos y limpiadores con gotas a presión en el rango de 50 a 100 pulgadas de agua (12.4-24.9 KPa).

La eficacia de los filtros de bolsa puede ser 99 % para la remoción de partículas entre 0.5 y 1 micra. La eficacia del precipitador electrostático es aproximadamente 90 % para partículas de 0.5 micras y mejora aproximadamente 96 % para partículas de 1 micra. Los limpiadores con gotas a presión menor de 10 pulgadas de agua (2.5 KPa) son ineficaces. La eficiencia a 60 pulgadas de agua (14.9 KPa) es aproximadamente 96 a 98% para los tamaños de las partículas anteriores. Los limpiadores húmedos producirán una solución ácida además de los sólidos removidos del aire. La solución ácida creará otro problema en la disposición.

III.3.2.- Desechos líquidos^(1,6)

Las opciones de tecnología para la disminución de la contaminación incluyen los siguientes aspectos a considerar:

III.3.2.1.-Disposición con tratamiento

A continuación se presentan las diferentes alternativas para el tratamiento del agua residual proveniente del proceso de galvanizado.

a) Neutralización y precipitación: La manera más común y más simple de tratar ácidos desechados es neutralizar con algún químico alcalino como soda cáustica o cal. Un neutralizador económico serían los químicos residuales en soluciones de limpieza alcalinas que deben desecharse.

En la neutralización de la solución ácida desechada se forma hierro e hidróxido de zinc que son gelatinosos y lentos de precipitar. Puede emplearse la técnica de asentamiento por gravedad para remover los grandes volúmenes de precipitado del líquido tratado. La proporción del asentamiento depende en los tipos de químicos usados en el tratamiento anterior y las condiciones con las que ellos fueron aplicados. La remoción de los sólidos es una función del tiempo de retención, del tamaño de partícula, de la densidad de los sólidos y de la superficie del depósito de sedimentación.

Los polielectrolitos orgánicos refuerzan la coagulación y aceleran significativamente la precipitación completa. Pueden seleccionarse agentes floculantes específicos y sus concentraciones, para ser compatibles con la carga eficaz en las partículas suspendidas. El tiempo adicional en el ciclo del proceso es crítico, desde que los aglomerados complejos pueden separarse y

disminuir la efectividad del asentamiento, si el exceso de mezclado ocurre antes de que la solución tratada entre en el recipiente de asentamiento.

Los equipo de filtración o las centrífugas pueden ser considerados para remover inicialmente los precipitados o para pulir la solución, después que el volumen de hidróxidos metálicos han sido removidos por la sedimentación.

b) Solidificación: El término solidificación define colectivamente tecnologías de disposición que encapsulan los desechos en una matriz sólida de un producto terminado. Los métodos de encapsulación rodean físicamente los desechos con un agente de solidificación. Ambas técnicas reducen la permeabilidad de los desechos.

Los desechos fijos generalmente pueden disponerse en un relleno sanitario adecuado. Varias compañías están activamente envueltas en servicios de tratamiento y/o investigación.

III.3.2.2.-Recuperación de efluentes ácidos

Se dispone de múltiples métodos para la regeneración de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. Los que se presentan a continuación son preferiblemente aplicables para las galvanizadoras típica; algunos se han usado con éxito en otras operaciones de acabado de metal y pueden tener aplicación en la recuperación de ácidos de las soluciones de decapado.

a) Purificación: Las soluciones de ácido sulfúrico pueden ser purificadas usando los principios básicos de solubilidad y cristalización de hierro y sales de zinc. La eficiencia de la purificación depende de que el nivel de impureza total sea tan alto como el consecuente práctico para mantener una

proporción de decapado aceptable. Las concentraciones de impurezas deben ser preferentemente sobre 8 %. Cuando el nivel del ácido sulfúrico libre está alrededor de 5%, puede sostener aproximadamente 14 a 16 % de impurezas metálicas en solución a 140 °F (60 °C) o más alto. Sin embargo, cuando la temperatura de la solución se disminuye a 68 °F (20 °C) sólo 8 % es soluble.

Las impurezas metálicas formadas en la solución a las más altas temperaturas se cristalizarán fuera. La suma de ácido fresco después de la cristalización inicial, para producir un 15% de concentración en ácido libre, permitirá a sólo un 6% de impurezas permanecer en la solución. Disminuyendo la temperatura a 60 °F (16 °C) causará que sólo 4.5% de impurezas metálicas sean solubles.

b) Intercambio iónico: Los iones del metal pueden ser removidos de las soluciones ácidas gastadas, de la misma manera que los componentes del agua dura son removidos en el tratamiento de suavización del agua. Hay varios conceptos para lograr la purificación y estos involucran el uso de resinas de intercambio iónico, que pueden seleccionarse para metales específicos o todos los metales de la solución. Los metales se libran de la resina de intercambio iónico por un proceso conocido como regeneración química. El ácido purificado puede devolverse al tanque de decapado.

c) Recuperación electrolítica (electroplating): Las técnicas de electroplating son aplicadas en el tratamiento de soluciones gastadas, para recuperar metales valiosos en soluciones, o para la limpieza de los efluentes antes de la descarga. El proceso consiste en pasar las soluciones desechadas a través de un tanque que contiene cátodos y ánodos insolubles. La corriente directa aplicada al sistema, a través del electrolito de la solución desechada, genera iones de metal como hierro o zinc para galvanizar fuera en el cátodo. Al

mismo tiempo, se desprenderá oxígeno en el ánodo. El metal recogido en el cátodo debe ser dispuesto de manera apropiada.

d) Electrodialisis: La electrodialisis separa los iones del metal de los desechos de las soluciones de decapado. El equipo consiste en tres celdas, las cuales están separadas por membranas semi-permeables. Las soluciones de desecho son introducidas en la celda central. Los iones del metal están cargados positivamente y son arrastrados a través de la membrana dentro de la celda del cátodo por electrólisis.

Estos iones del metal son luego procesados de una manera apropiada. En el caso de ácido sulfúrico, los iones sulfato son arrastrados a la celda del ánodo atravesando la membrana y luego se realimentan en la solución de decapado de ácido sulfúrico. Si se tratan soluciones de ácido clorhídrico, se genera cloro en forma de gas en el compartimiento del ánodo que necesita control especial.

III.3.2.3.-Disposición para otro uso químico

Varias compañías pueden tener interés en las soluciones de desecho de ácido de decapado por el valor químico aún disponible (algunos pueden tener sólo interés si está o no el zinc presente). Varias consideraciones posibles incluyen lo siguiente:

- Valor del agente reduciendo el hierro en solución ácida sulfúrica o clorhídrica.*
- Interés de la planta municipal de aguas residuales en el valor del cloruro ferroso.*
- El valor de contenido de zinc en ácido clorhídrico en la preservación de la madera.*
- Interés agrícola en el valor del zinc en cualquier ácido. El contenido de hierro normalmente no presentará ningún problema.*

- *El valor del zinc en cualquier ácido para el alimento animal. El hierro normalmente no será un problema. El plomo debe estar debajo de 100 partes por millón en la mayoría de los casos.*
- *El valor de la concentración de zinc para los pesticidas.*
- *El valor del zinc en la inhibición de corrosión para agua de enfriamiento.*
- *El uso químico industrial del zinc en cualquier ácido.*

III.3.3.- Desechos sólidos^(1,6)

La mata y las cenizas que son generadas durante la galvanización, comúnmente son negociadas como materia prima para otro proceso; ésta es la disposición final más utilizada para este tipo de desecho.

La forma más simple de desechar los lodos es disponiéndolos en un relleno sanitario que cuente con el respectivo proceso para su tratamiento final. Otra alternativa de disposición es añadir componentes adicionales para obtener una mezcla de cemento, el cual puede ser aprovechado para fines de construcción. Por último, los lodos también pueden ser sometidos a una destrucción térmica. Para poder aplicar alguna de las opciones mencionadas, es necesario que los mismos sean previamente estabilizados para disminuir las concentraciones de los lixiviados a niveles permisibles mediante la adición de productos comerciales específicos.

III.4.- NORMATIVA AMBIENTAL

A continuación se presenta la normativa ambiental a considerar para la realización de este Trabajo Especial de Grado. En la tabla N° 2 se presentan los decretos ambientales aplicables en el desarrollo de este Trabajo, así como los artículos relacionados.

También se tomarán en cuenta las normas ISO 14000⁽⁹⁾ para asegurar que la documentación que se genera, de la propuesta, esté acorde a lo que se exige al momento de la certificación en las mismas.

Tabla N° 2: Legislación Ambiental Venezolana Vigente⁽⁸⁾.

Decreto N°	Título	Artículos Aplicables
638	<i>Normas Sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica.</i>	3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 21.
883	<i>Normas para la Clasificación y el Control de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos.</i>	3, 4, 8, 9, 10, 16, 19.
2216	<i>Normas para el Manejo de los Desechos Sólidos de Origen Domestico, Comercial, Industrial o de Cualquier otra Naturaleza que no sean Peligrosos.</i>	5, 6, 8, 9, 10, 20, 23, 24.
2289	<i>Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos.</i>	4-45, 119-128.
2635	<i>Reforma Parcial del Decreto N° 2289.</i>	Todo

IV.- METODOLOGÍA.

En esta sección se presenta la metodología seguida para lograr el cumplimiento de los objetivos previstos al inicio de este Trabajo Especial de Grado, la cual se basa en la auditoría de residuos anteriormente descrita.

IV.1.- BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN GENERAL.

- *Ubicar y recopilar información correspondiente al proceso de galvanizado en caliente, residuos generados, auditoría de residuos, técnicas de manejo de desechos y normativa ambiental.*

IV.2.- PREEVALUACIÓN.

- *Estudiar y comprender el proceso global y las operaciones unitarias utilizadas en la planta mediante el empleo de planos asociados y la descripción del proceso.*
- *Consultar al equipo de producción acerca de las condiciones normales de operación, descarga de residuos y operaciones generadoras de residuos no planificadas.*
- *Elaborar un diagrama de flujo estableciendo el nivel de detalle necesario para la continuación del estudio.*

IV.3.- ELABORACIÓN DEL BALANCE DE MASA.

- *Determinar y cuantificar las entradas al proceso tomando en cuenta la reutilización y reciclado de corrientes.*
- *Cuantificar los productos, sub-productos, contabilizar el agua de desecho, las emisiones gaseosas y los residuos fuera de la planta.*
- *Organizar y estructurar los datos recopilados para cada operación unitaria.*
- *Señalar y caracterizar los residuos problema.*

IV.4.- DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS.

- *Identificar las medidas obvias de reducción de residuos.*
- *Estudiar la posibilidad de segregar los residuos.*
- *Identificar las medidas de reducción de residuos a largo plazo.*
- *Efectuar la evaluación ambiental y económica de las opciones de reducción de residuos, señalando las opciones viables.*
- *Diseñar e implementar un plan de acción para reducir residuos con el fin de lograr mejorar la eficiencia del proceso.*

V.- MARCO DE REFERENCIA Y ESQUEMA DESCRIPTIVO DE ABB

La planta de estructuras metálicas de ABB, se encuentra ubicada en el kilómetro 7 de la carretera de San Fco. de Yare, Edo. Miranda. El principal producto de la empresa es la construcción de torres de tendidos eléctricos de alta tensión y antenas de telecomunicaciones. En la Figura N°9 se muestra las instalaciones de la planta desde una vista aérea.



Figura N° 9: ABB Planta Yare

Entre las instalaciones de la planta se encuentra un galpón industrial, como se muestra en la Figura N° 10, en el que está ubicado el proceso de galvanizado. Este proceso tiene una capacidad máxima de producción de 18000 T/año pero actualmente opera a 8000 T/año.



Figura N° 10:Galpón de galvanizado

El galpón cuenta con dos grúas de cap. 10 T cada una, el proceso comienza sujetando las piezas, que van a ser galvanizadas, en la grúa mediante la cual son transportadas inicialmente a la primera etapa. El proceso de galvanizado se divide en dos etapas: la preparación de la pieza y la galvanización.

Las operaciones unitarias que conforman las etapas del proceso son las mismas señaladas anteriormente en las secciones III.1.3 y III.1.4, con la única excepción que en el lugar de la pasivación se utiliza una operación de enfriamiento con agua, sin afectar la calidad del producto, la ventaja de éste cambio es que se elimina el uso del cromo VI el cual es un elemento muy tóxico.

En la Figura N° 11 se muestran las operaciones de decapado(tanques anteriores) y lavado(tanques posteriores) ubicadas dentro del galpón.



Figura N° 11: Operaciones de decapado y lavado en ABB

De igual manera se puede apreciar en la Figura N° 12 las operaciones de flux (izquierda) y quemado (derecha).



Figura N° 12: Operaciones de flux y quemado en ABB

Finalmente en la figura N° 13 se muestran las operaciones de galvanizado (izquierda) y enfriamiento (derecha).



Figura N° 13: Operaciones de galvanizado y enfriamiento en ABB

Las dimensiones y la capacidad de cada uno de los equipos anteriormente ilustrados, son indicados a continuación en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Dimensiones de los equipos del proceso de galvanizado.

<i>Equipos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Medidas</i>
<i>Tanque de Decapado</i>	<i>2</i>	<i>13,65 x 1,40 x 1,30 m</i> <i>Altura de llenado: 1,00 m</i> <i>Contenido: 19,11 m³</i>
<i>Tanque de Lavado</i>	<i>2</i>	<i>13,66 x 1,40 x 1,30 m</i> <i>Altura de llenado: 1,00 m</i> <i>Contenido: 19,11 m³</i>
<i>Tanque de Flux</i>	<i>1</i>	<i>10,17 x 1,15 x 1,20 m</i> <i>3,33 x 0,40 x 1,20 m</i> <i>Altura de llenado: 1,00 m</i> <i>Contenido: 13 m³</i>
<i>Tanque de Galvanizado</i>	<i>1</i>	<i>10 x 1,10 x 1,50 m</i> <i>Altura de llenado: 1,45 m</i> <i>Contenido: 15,95 m³</i>
<i>Tanque de Enfriamiento</i>	<i>1</i>	<i>11,80 x 1,30 x 0,80 m</i> <i>Altura de llenado: 0,70 m</i> <i>Contenido: 11,65 m³</i>
<i>Tanque de Quemado Grande</i>	<i>1</i>	<i>10,06 x 1,40 x 1,62 m</i> <i>Altura de llenado: 1,00 m</i> <i>Contenido: 15,77 m³</i>
<i>Tanque de Quemado Pequeño</i>	<i>1</i>	<i>2,45 x 1,30 x 1,20 m</i> <i>Altura de llenado: 1,00 m</i> <i>Contenido: 3,19 m³</i>

Adicionalmente la planta cuenta con un galpón industrial de carpintería pesada dividido en seis módulos de producción, en los cuales se realizan todos los trabajos de tornería, doblado, soldadura, perforación y numeración de las pieza y mantenimiento de las máquinas. Parte de las instalaciones de este galpón se muestran en la Figura N°14.



Figura N° 14: Galpón de carpintería pesada

Así mismo, la planta cuenta con otras instalaciones como lo son:

- *Un taller mecánico en el cual se realizan todos los trabajos de mecánica automotriz a los montacargas, camiones y unidades de la planta, ver Figura N° 15.*



Figura N° 15: Taller mecánico

➤ Una planta de tratamiento para el agua de la operación de lavado presentada en la Figura N°16.



Figura N° 16: Planta de tratamiento

➤ *Patio de tanques para el almacenamiento del ácido clorhídrico exhausto y el ácido clorhídrico al 30% y el patio de almacenamiento de la materia prima. En la Figura N° 16 se puede apreciar estas instalaciones.*



Figura N° 17: *Tanques de almacenamiento (arriba), Patio de materia prima (abajo)*

➤ *Un área de neutralización para los efluentes ácidos o tóxicos que se generan en el proceso, como por ejemplo las aguas del lavado del piso del galpón de galvanizado, el lodo proveniente del tratamiento del flux, el ácido exhausto, entre otros. Estos efluentes son neutralizados con una solución de cal la cual es preparada en un mezclador como el presentado en la Figura N° 18, las instalaciones completas de la neutralización se muestran en la Figura N° 19.*



Figura N° 18: Mezclador de cal



Figura N° 19: Neutralización

VI.- RESULTADOS DE LA AUDITORÍA DE RESIDUOS

Después de seguir la metodología establecida para llevar a cabo una auditoría de residuos, descrita en el marco teórico de este Trabajo Especial de Grado, se presenta el enfoque y la orientación de la auditoría de residuos, a partir de la cual se establecen los objetivos y alcances de la misma, una vez logrado lo anteriormente mencionado y después de una previa recopilación de información se obtiene la descripción del proceso, la cual facilita la posterior elaboración del diagrama de flujo. Así mismo, se muestran los resultados obtenidos en el desarrollo del balance de materiales, los cuales conllevan al auditor a la identificación y caracterización de los residuos generados en la planta. Finalmente ya cuantificados, identificados y caracterizado los residuos, se presenta la implementación de medidas obvias de minimización, las propuestas de las soluciones tecnológicas para la reducción de residuos y las consideraciones adicionales a la auditoría de residuos.

VI.1.- PREEVALUACIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en esta fase de la auditoría.

VI.1.1.- Orientación y preparación de la auditoría

El plan de trabajo que se muestra a continuación fue el establecido para lograr el buen desempeño de la auditoría de residuos, para ello se determinó que la auditoría abarcaría todos los residuos generados en el proceso de galvanizado de la planta de estructuras metálicas, teniendo como objetivo una minimización global de los residuos que allí se generan, orientada hacia la prevención de su generación y por último hacia el control de los mismos. Por su complejidad, el tiempo establecido

para la realización de la auditoría fue de ocho meses, la cual fue realizada por una sola persona con la colaboración de los empleados y obreros.

El personal de la planta fue informado de la auditoría que se estaba realizando y adicionalmente se les motivó a participar, por ser ellos clave importante para la recolección de los datos de proceso. La auditoría se llevó a cabo de lunes a viernes en un horario de 8:00 am hasta las 5:00 pm, siendo este un horario de operación normal de la planta capaz de asegurar de esta manera la cuantificación de los residuos. Se revisó la documentación existente referente al proceso, se indagó si este estudio se había realizado antes en otra planta similar perteneciente a la empresa o si alguna vez se cuantificó cualquiera de los residuos generados. Los datos encontrados fueron bastante escasos, sin embargo se consiguió completa la información sobre la descripción del proceso y condiciones de operación.

El auditor, mediante el desarrollo de su gestión logró involucrar al personal que allí labora para incrementar la concienciación de los empleados sobre la reducción de residuos y promover el aporte y apoyo al programa. Para la realización de la auditoría se hizo necesario la utilización de recursos externos, tales como el laboratorio de análisis químicos de la planta y de una consultora ambiental (AMBIOCONSULT) para la realización de los muestreos, mediciones y caracterizaciones de los residuos sometidos a estudio.

A continuación se presenta en la Tabla N° 4 el plan de trabajo ejecutado por el auditor, elaborado con la finalidad de recopilar la información necesaria para alcanzar los objetivos de la preevaluación como lo son el enfoque, la orientación de la auditoría, la identificación de las operaciones unitarias y el diagrama de flujo del proceso.

Tabla N° 4: Plan de trabajo

<i>Actividad</i>	<i>Duración</i>	<i>Objetivo</i>
<i>Identificación del equipo de la auditoría de residuos.</i>	<i>2 días</i>	<i>Organizar al equipo auditor, equipo técnico y a los empleados de producción.</i>
<i>Selección del enfoque de la auditoría.</i>	<i>1 día</i>	<i>Conocer el objetivo de la auditoría.</i>
<i>Informar al personal de la planta el propósito de la auditoría.</i>	<i>1 día</i>	<i>Maximizar la cooperación entre todas las partes involucradas.</i>
<i>Identificar los recursos financieros y los recursos externos.</i>	<i>2 semanas</i>	<i>Asegurar la existencia de recursos para llevar a cabo la auditoría.</i>
<i>Recorrido a la planta y recopilación de información.</i>	<i>1 semana</i>	<i>Familiarizarse con el proceso obteniéndose un entendimiento sólido del mismo.</i>
<i>Identificación y definición de las operaciones unitarias.</i>	<i>3 semanas</i>	<i>Identificar y definir las operaciones unitarias para el desarrollo de la auditoría.</i>
<i>Elaboración del diagrama de flujo.</i>	<i>3 días</i>	<i>Fácil ubicación y mejor comprensión del proceso para posteriormente elaborar el balance de materiales.</i>

VI.1.2.- Identificación y definición de las operaciones unitarias y elaboración del diagrama de flujo del proceso

Se realizó un recorrido por toda la planta con el objeto de ganar un entendimiento profundo de todas las operaciones unitarias que conforman el proceso de galvanizado, así mismo se elaboró un esquema de la distribución física del proceso con su respectiva descripción para no pasar por alto factores importantes.

Partiendo de la información recaudada en esta fase de la auditoría, se describe el proceso de galvanizado en ABB.

a) Preparación de la pieza

A continuación se describen los pasos a seguir para la preparación de la pieza a galvanizar:

*El proceso de **decapado** es por inmersión de las piezas en ácido clorhídrico. Este ácido se encuentra contenido, a temperatura ambiente, en dos cubas de 19,11 m³ cada una. La concentración del baño de decapado es de 170 g/l, el tiempo de decapado es variable y depende del operador y de la cantidad de óxido que presente la pieza. El ácido es removido cuando alcanza una concentración de 70 g/l ó una concentración en hierro de 140 g/l; en estas condiciones ya no es posible seguir decapando. No se utilizan inhibidores y por lo general, las piezas primero se sumergirán en el tanque de menor concentración en ácido y luego en el de mayor concentración.*

*El **lavado** es en contracorriente en dos etapas reduciendo así sustancialmente el consumo de agua que si se hace en cocorriente. Para ello se utiliza agua corriente, contenida en dos cubas de 19,11 m³ cada una. El pH del segundo lavado no debe ser menor a 4, esta operación trabaja con un sistema de tratamiento continuo (recirculación). La solución utilizada en la recuperación del agua es soda cáustica.*

*El **flux** es una solución que contiene una concentración de 550-600 g/l de ZnCl₂ y 50-60 g/l de NH₄Cl, con una densidad de 40-42 °Bé y un pH entre 4 y 4,5, se encuentra contenido en un tanque. Una vez que el flux alcanza una concentración de 15 g/l de hierro se le aplica un tratamiento que consiste en agregar peróxido de hidrógeno, cloruro de amonio y la porción de cloruro de zinc se obtiene llevando al agotamiento el HCl virgen con zinc (ó zinc duro); con el zinc recuperado de las*

piezas de desecho ó de los utensilios. La densidad en grados °Bé que se obtiene es función de la concentración inicial del ácido.

Otra manera de reponer el flux gastado es obteniéndolo por vía comercial, que tiene la ventaja de evitar la presencia de hierro en la solución, el cual es la principal causa de la formación del zinc duro; para el caso de ABB están siempre obligados a tener ácido para la limpieza de equipos, herramientas y de las piezas deshojadas; durante este proceso de limpieza, en el ácido se genera cloruro de zinc, lo que hace más factible la elaboración del flux internamente, disminuyendo de igual manera la generación de los desechos internos.

*En la operación previa al **secado** los baños preparados tienen una temperatura de fusión de 260 °C, por lo tanto la temperatura utilizada en la etapa de secado es de 180 °C asegurando de esta manera que se forme una película de flux sobre la pieza , se usa aire como fluido de calentamiento.*

b) Galvanización

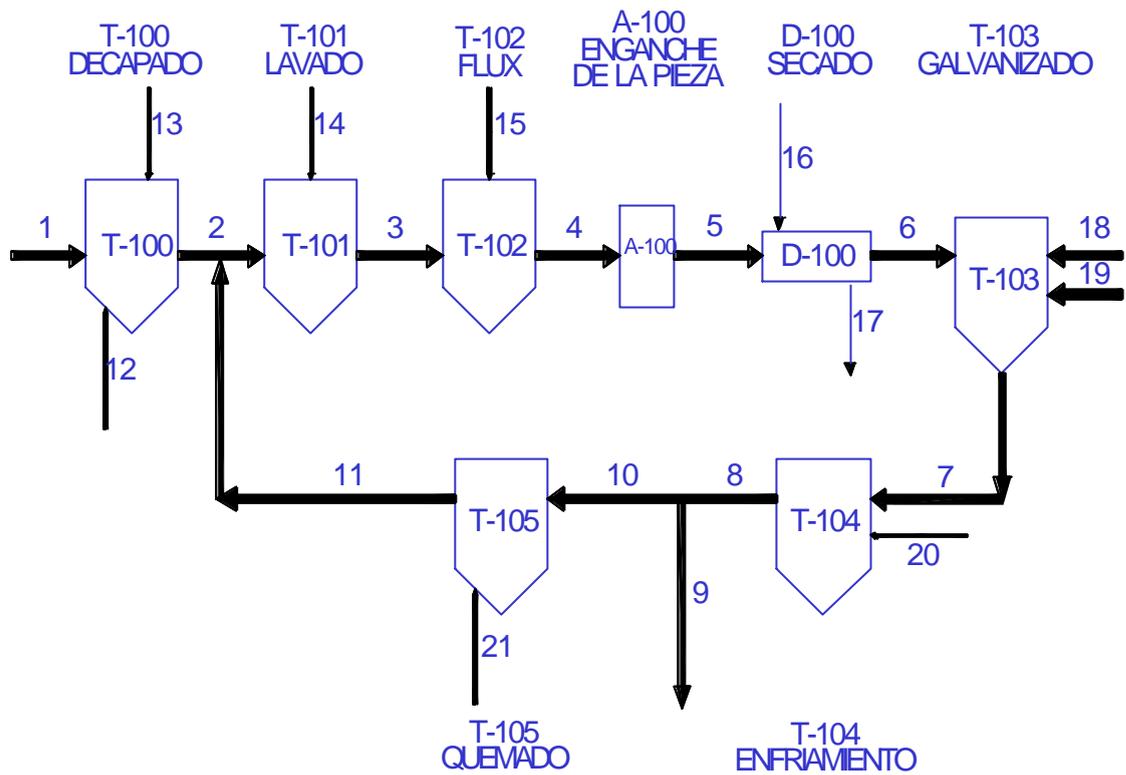
En esta etapa el proceso cuenta con un tren de galvanizado, mediante el cual se transportan las piezas hasta obtener el producto final. A continuación se describen los pasos a seguir para la obtención de la pieza acabada.

*La temperatura de **galvanizado** es de 450-460 °C. Los tiempos de inmersión son los mínimos tiempos indispensables para obtener el espesor deseado de zinc, el zinc fundido se encuentra en un tanque. La eliminación del zinc sobrante en la pieza se lleva a cabo mediante la sacudida de la pieza con una paleta. Con respecto a la ceniza, se mantiene el mayor tiempo posible en el baño para favorecer el deslizamiento del zinc metálico incluido; durante el paleteamiento de la superficie de zinc se hacen escurrir las goteras de zinc con ligeras vibraciones.*

Hasta el mes de agosto se utilizaba la **pasivación** como operación unitaria después del galvanizado, pero esta ha sido sustituida por el **enfriamiento** ya que se obtienen los mismos resultados exigidos por control de calidad. Además, desde el punto de vista ambiental es más favorable el enfriamiento ya que se realiza con agua corriente, la pieza pasa por una cuba con agua para impedir por algún tiempo la formación de óxido blanco. Adicionalmente se tiene a la salida de la cuba de enfriamiento un ventilador que permite un secado mecánico de la pieza.

Para desgalvanizar el producto final que no cumple con las especificaciones de calidad requeridas se sumerge en un baño de ácido clorhídrico virgen, denominado **quemado**, posteriormente es usado para la preparación de flux, dicha pieza se reincorpora a la línea de producción en la fase de lavado. El baño de ácido clorhídrico virgen se encuentra en dos tanques de diferentes tamaños, uno cuenta con una capacidad de 15,77 m³ y el otro de 3,19 m³.

Finalmente, con la ayuda del esquema elaborado y de la descripción del proceso se obtuvo el diagrama de flujo, que se muestra en la Figura N° 20, el nivel de detalle del mismo es el necesario para alcanzar los objetivos planteados.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CORRIENTES	ACERO NEGRO	ACERO DECAPADO	ACERO LAVADO	ACERO CONFLUX	ACERO ENGANCHADO	ACERO SECADO	ACERO GALVANIZADO	ACERO GALVANIZADO ENFRIAMIENTO	PRODUCTO CONFORME	PRODUCTO CONFORME	ACERO QUEMADO
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
CORRIENTES	ACIDO VIRGEN (30%)	AGUA	AGUA	FLUX	AIRE CALENTE	AIRE FRIO	ZNC	FLOVO	AGUA	ACIDO VIRGEN	

Figura N° 20: Diagrama de Flujo del proceso de galvanizado

VI.2.- BALANCE DE MATERIALES: ENTRADAS Y SALIDAS DEL PROCESO

Para lograr estructurar el balance de materiales fue necesario contabilizar las entradas, el consumo de agua, la reutilización y/o reciclaje de los residuos, las salidas, las aguas de desecho, las emisiones gaseosas y los residuos para la disposición fuera de la planta.

Para recopilar los datos se examinaron los registros de consumo de materia prima para el proceso de galvanizado, reportes de producción diaria y mensual, consumo de agua y registros de generación de residuos. Así mismo, para aquellos que no se encontraban reportados, se hizo necesario el desarrollo de un sistema de registro (ver Anexo), el cual fue llenado con la información obtenida en las mediciones de los niveles de los tanques durante un período de cinco semanas, para cuantificar las pérdidas se realizó un procedimiento in situ estableciendo el volumen escurrido por un cierto número de piezas sumergidas, así como también se le hizo un seguimiento al proceso por seis meses conjuntamente con los operadores de las respectivas operaciones unitarias y los supervisores del proceso.

A continuación se presentan los datos recopilados, las consideraciones que se tomaron en cuenta y los resultados obtenidos en el balance de materiales por cada una de las operaciones unitarias del proceso de galvanizado.

Decapado: Para la elaboración de un baño de decapado se necesita ácido clorhídrico al 30% y agua corriente, el ácido es obtenido por vía comercial. Los detalles de esta operación se muestran a continuación:

- Promedio mensual de producción: 668.994 Kg.*
- Promedio mensual de consumo de ácido clorhídrico al 30%: 37.044 Kg.*
- Concentración inicial del baño en HCl : 170 g/l.*
- Concentración final del baño en HCl : 70 g/l.*

- *Concentración final del baño en hierro: 140 g/l.*
- *Volumen del tanque lleno: 19,11 m³.*
- *Densidad del ácido clorhídrico al 30%: 1,19 Kg/l.*
- *Para la preparación de un baño de decapado se utiliza 14.560 Kg de ácido clorhídrico al 30% y 6,87 m³ de agua.*
- *El tiempo promedio de vida útil de un baño de decapado es de tres semanas, este depende de la cantidad de material procesado y de su grado de oxidación. Se retira y se repone uno de los dos baños, el que esté más exhausto de ellos.*
- *Se supone que al retirar el baño de decapado exhausto el nivel se encuentra a 5 cm por debajo del nivel inicial.*
- *Las pérdidas por arrastre son de 0,48 Kg de HCl_{sol}/T de piezas galvanizadas.*

Partiendo de los puntos anteriormente señalados se tiene como resultado:

- *El consumo de ácido clorhídrico al 30% es de 55,37 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *El consumo de agua es de 0,0260 m³/T de piezas galvanizadas.*
- *La generación de ácido exhausto es de 75,67 Kg/T de piezas galvanizadas.*

El ácido exhausto generado lo retira un gestor para su uso posterior como materia prima para otro proceso. En esta operación se genera hidrógeno en forma de gas que al desprenderse arrastra ácido clorhídrico, trayendo como consecuencia la presencia de neblina ácida en el área. La cuantificación de esta neblina no pudo ser posible ya que la empresa no contaba con los recursos necesarios para su medición.

Lavado: Esta operación cuenta con un sistema de recirculación y recuperación, lo cual permite minimizar en gran medida el consumo de agua. Seguidamente se presenta los detalles de esta operación.

- Promedio mensual de producción: 668.994 Kg.
- Volumen del tanque lleno: 19,11 m³.
- Cada vez que se realiza el tratamiento al flux se vacía un tanque, ya que este es uno de los equipos que conforman el sistema de tratamiento interno del flux. El tiempo promedio que se realiza este tratamiento es de 9 meses.
- Las pérdidas por arrastre son de 7×10^{-4} m³/T de piezas galvanizadas.

Por lo descrito anteriormente se obtuvo que el consumo de agua es de 3,1807 m³/T de piezas galvanizadas.

Flux: El flux es una materia prima conformada por una sal doble, compuesta por cloruro de zinc (ZnCl₂) y cloruro de amonio (NH₄CL). A continuación se presentan los detalles para esta operación.

- Promedio mensual de producción: 668.994 Kg.
- La concentración de la sal es 550-600 g/l de ZnCl₂ y 50-60 g/l de NH₄CL.
- Promedio mensual de consumo de flux: 3.800 Kg.
- Volumen del tanque lleno: 13 m³.
- Densidad del flux: 40 °Be.
- Cuando el baño alcanza una concentración en hierro de 15 g/l se regenera el baño de flux, generándose un lodo de hidróxido férrico (Fe(OH)₃).
- Para el tratamiento del flux se utiliza cloruro de amonio y peróxido de hidrógeno.
- El tiempo de vida útil de un baño de flux es 9 meses aproximadamente.
- La densidad del lodo es de 1,05 Kg/l.

➤ *Las pérdidas por arrastre se registran en 0,847 Kg/T de piezas galvanizadas.*

Por lo señalado anteriormente se obtuvo como resultado lo siguiente:

- *Consumo de flux: 5,68 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Consumo de cloruro de amonio: 0,45 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Consumo de peróxido de hidrógeno: 0,52 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Generación de lodos: 0,59 Kg/T de piezas galvanizadas.*

Los lodos se someten a un proceso de neutralización con una solución de cal, con el objeto de disminuir su toxicidad. Luego estos lodos son almacenados en una fosa dispuesta para tal fin.

Galvanizado: *El zinc fundido se mantiene en el baño de galvanizado a unos 450 °C. Durante la inmersión de la pieza en el baño, reacciona el flux adherido a la pieza con el zinc fundido, produciéndose una serie de emisiones en forma de gas o de humo, cuya composición dependerá de la del baño de flux. Debido a que la empresa no cuenta con los equipos apropiados para la toma de muestra de estos residuos, no se pudo hacer una caracterización para ellos, por lo tanto se indicarán los componentes promedios principales de estas emisiones, tomados de la bibliografía utilizada para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, suponiendo que se emplean baños de flux convencionales.*

Los detalles de esta operación se muestran a continuación.

- *Promedio mensual de producción: 668.994 Kg.*
- *Promedio mensual de consumo de zinc: 59.258,20 Kg.*
- *Volumen del tanque lleno: 15,95 m³.*
- *Promedio mensual de generación de cenizas de zinc: 13.470,67 Kg.*
- *Promedio mensual de generación de matas de zinc: 7.048 Kg.*

- *Contenido de zinc en la pieza: 6%.*
- *Contenido de zinc en la mata: 95%.*
- *Contenido de zinc en las cenizas: 80%.*
- *Los componentes de las emisiones de esta operación son: zinc (5-20%), cloro (30-50%), amoníaco (15-40%) y hierro (<1%).⁽¹²⁾*
- *El contenido del humo no depurado durante el proceso de galvanizado puede llegar a superar los 100 mg/m³.⁽¹²⁾*

Partiendo de lo anteriormente señalado se obtuvo como resultado:

- *Consumo de zinc: 88,58 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Cantidad de matas de zinc generadas: 10,54 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Cantidad de cenizas de zinc generadas: 20,14 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Cantidad de zinc en la pieza: 60 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Cantidad de zinc en la mata: 10,01 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Cantidad de zinc en la ceniza: 16,11 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Cantidad de zinc en el ácido de quemado exhausto, en los vapores y polvos: 2,46 Kg/T de piezas galvanizadas.*

Las matas y las cenizas son intercambiadas comercialmente por zinc.

Enfriamiento: *En esta operación únicamente se reportaron pérdidas por evaporación a una tasa de 1.000 l/d. Los detalles se presentan a continuación.*

- *Promedio mensual de producción: 668.994 Kg.*
- *Volumen del tanque lleno: 11,65 m³.*
- *Se supone que diariamente el nivel del tanque disminuye 5 cm.*
- *Toda el agua que se pierde es por evaporación.*

Por lo anteriormente mostrado se puede determinar que el consumo de agua en esta operación es de 0,0300 m³/T de piezas galvanizadas.

Quemado: Esta operación se realiza en dos tanques de capacidades distintas que contienen únicamente ácido clorhídrico al 30%; los detalles de esta operación se presentan a continuación:

- Promedio mensual de producción: 668.994 Kg.*
- Promedio mensual de piezas quemadas: 5.509 Kg.*
- Consumo mensual de ácido clorhídrico al 30%: 12.220 Kg.*
- Concentración inicial del baño en HCl: 357 g/l.*
- Concentración final del baño en HCl: 109,35 g/l.*
- Concentración final del baño en zinc: 160-200 g/l.*
- Volumen del tanque grande lleno: 15,77 m³.*
- Volumen del tanque pequeño lleno: 3,19 m³.*
- Tiempo de vida útil del tanque grande: 4 meses.*
- Tiempo de vida útil del tanque pequeño: 2 semanas.*
- Relación entre piezas quemadas y piezas producidas: 0,024.*

De los datos anteriormente mostrados se obtuvo los siguientes resultados:

- Consumo de ácido clorhídrico al 30%: 53,23 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- Generación de ácido de quemado exhausto en el tanque grande: 11,74 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- Generación de ácido de quemado exhausto en el tanque pequeño: 30,30 Kg/T de piezas galvanizadas.*

En esta operación al igual que en el decapado también se genera neblina ácida, que tampoco fué cuantificada por las mismas razones expuestas anteriormente.

Lavado del piso: Debido al mal escurrimiento de las piezas en el baño de decapado, lavado, baño de flux, baño de quemado y a las fallas que presentan las grúas se hace necesario lavar el piso. Los detalles de esta operación se presentan a continuación.

- Promedio mensual de producción: 668.994 Kg.
- El lavado del piso tiene una duración de 30 min. aproximadamente.
- Caudal utilizado para lavar el piso: 0,0010 m³/s.
- Se supone que la frecuencia con la que se lava el piso del galpón es de seis veces al mes.

De acuerdo a lo anteriormente señalado se tiene que el consumo de agua en el lavado del piso es de 0,0161 m³/T de piezas galvanizadas, luego esta agua se recoge en un tanque para posteriormente ser neutralizada con una solución de cal. Finalmente los lodos originados de la neutralización se almacenan en una fosa dispuesta para tal fin.

Para una mejor comprensión de lo expuesto en esta sección se presentan en la Tabla N° 5 los requerimientos de materia prima para cada una de las operaciones unitarias consideradas.

Tabla N° 5: Balance de materiales (Entrada).

<i>Operación unitaria</i>	<i>Materia prima</i>	<i>Cantidad / T de pzas. Galvanizadas</i>
<i>Decapado</i>	<i>Ácido clorhídrico (30%)</i>	<i>55,37 Kg</i>
	<i>Agua</i>	<i>0,0260 m³</i>
<i>Lavado</i>	<i>Agua</i>	<i>3,1807 m³</i>
	<i>Flux</i>	<i>5,68 Kg</i>
<i>Baño de Flux</i>	<i>Cloruro de amonio</i>	<i>0,45 Kg</i>
	<i>Peróxido de hidrógeno</i>	<i>0,52 Kg</i>
<i>Galvanizado</i>	<i>Zinc</i>	<i>88,58 kg</i>
<i>Enfriamiento</i>	<i>Agua</i>	<i>0,0300 m³</i>
<i>Quemado</i>	<i>Ácido clorhídrico (30%)</i>	<i>53,23 Kg</i>

En la Tabla N° 6 se presenta el balance del zinc, al ser ésta la materia prima de mayor valor agregado y sobre la cual se centran los esfuerzos de minimización. En dicha tabla se puede apreciar que el mayor consumo de zinc se encuentra en la pieza, seguidamente se reporta en la mata y en las cenizas.

Tabla N° 6: Balance de materiales en el zinc.

<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Contenido de zinc(%)</i>	<i>Cantidad de zinc</i>
<i>Piezas</i>	<i>1.000 Kg</i>	<i>6</i>	<i>60 Kg/T</i>
<i>Mata</i>	<i>10,54 Kg/T</i>	<i>95</i>	<i>10,01 Kg/T</i>
<i>Cenizas</i>	<i>20,14 Kg/T</i>	<i>80</i>	<i>16,11 Kg/T</i>
<i>Quemado exhausto</i>	<i>----</i>	<i>----</i>	<i>2,46 Kg/T</i>
<i>Polvo</i>	<i>----</i>	<i>----</i>	

Así mismo, en la Tabla N° 7 se presentan las cantidades de los subproductos generados en el proceso. Finalmente, de las Tablas N° 5,6 y 7 se observa que todas las operaciones unitarias merecen especial atención, a excepción del enfriamiento, ya que generan residuos tóxicos y/o peligrosos.

Tabla N° 7: Balance de materiales (Salida)

Operación unitaria	Residuo	Cantidad / T de pzas galvanizadas	Composición
<i>Decapado</i>	<i>Acido exhausto</i>	<i>75,67 Kg</i>	<i>HCl residual, agua,</i>
	<i>Gases</i>	<i>*</i>	<i>cloruro de hierro.</i>
	<i>Pérdidas por arrastre.</i>	<i>0,48 Kg</i>	<i>HCl gaseoso.</i> <i>HCl residual, agua.</i>
<i>Lavado</i>	<i>Pérdidas por arrastre.</i>	<i>7x10⁴ m³</i>	<i>Agua, HCl residual, cloruro de hierro.</i>
<i>Baño de flux</i>	<i>Lodos de Fe(OH)₃</i>	<i>0,59 Kg</i>	<i>ZnCl₂, NH₄Cl, sales</i>
	<i>Pérdidas por arrastre.</i>	<i>0,847 Kg</i>	<i>de hierro.</i>
<i>Galvanizado</i>	<i>Mata</i>	<i>10,54 Kg</i>	<i>Zinc, hierro.</i>
	<i>Cenizas</i>	<i>20,14 Kg</i>	<i>Zinc, flux, ZnO.</i>
	<i>Vapores</i>	<i>*</i>	<i>NH₃, sales de zinc.</i>
	<i>Polvo</i>	<i>*</i>	<i>Zinc, flux, ZnO.</i>
<i>Quemado (tanque grande)</i>	<i>Acido exhausto</i>	<i>11,74 Kg</i>	<i>HCl residual, ZnCl₂</i>
	<i>Gases</i>	<i>*</i>	
<i>Quemado (tanque pequeño)</i>	<i>Acido exhausto</i>	<i>30,30 Kg</i>	<i>HCl residual, ZnCl₂</i>
	<i>Gases</i>	<i>*</i>	
<i>Lavado del piso</i>	<i>Aguas ácidas</i>	<i>0,0161 m³</i>	<i>Agua, HCl residual, sales de zinc, sales de hierro.</i>

** No se determinó*

VI.3.- CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS PROBLEMÁTICOS

Para un mejor entendimiento de esta sección se presenta en la Figura N°21 el diagrama de flujo del proceso en el que se indica la generación de los residuos.

De los resultados obtenidos del balance de materiales se señalan como residuos problemáticos los siguientes:

➤ *El ácido exhausto, proveniente de los baños de decapado y de quemado constituye actualmente uno de los mayores problemas de eliminación en los talleres de galvanizado por inmersión. La alta generación de estos baños para el caso del decapado se debe a diversos factores, como lo son: elevadas concentraciones de ácido clorhídrico en el baño, alto grado de oxidación y sobredecapado de las piezas. En el caso del ácido de quemado los factores son: deficiencias en las etapas anteriores del proceso trayendo como consecuencia un acabado deficiente del producto final y sobrequemado de las piezas.*

➤ *Los gases y vapores generados en el decapado, en el galvanizado y en el quemado representan un gran problema ambiental por lo que, para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado y como parte requerida para la implantación del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14.000, la empresa se vió en la necesidad de realizar una evaluación de tipo personal (exposición laboral y zona respiratoria) y ambiental para la determinación de los riesgos existentes. Los resultados obtenidos de este estudio son los mostrados en la Tabla N°8.*

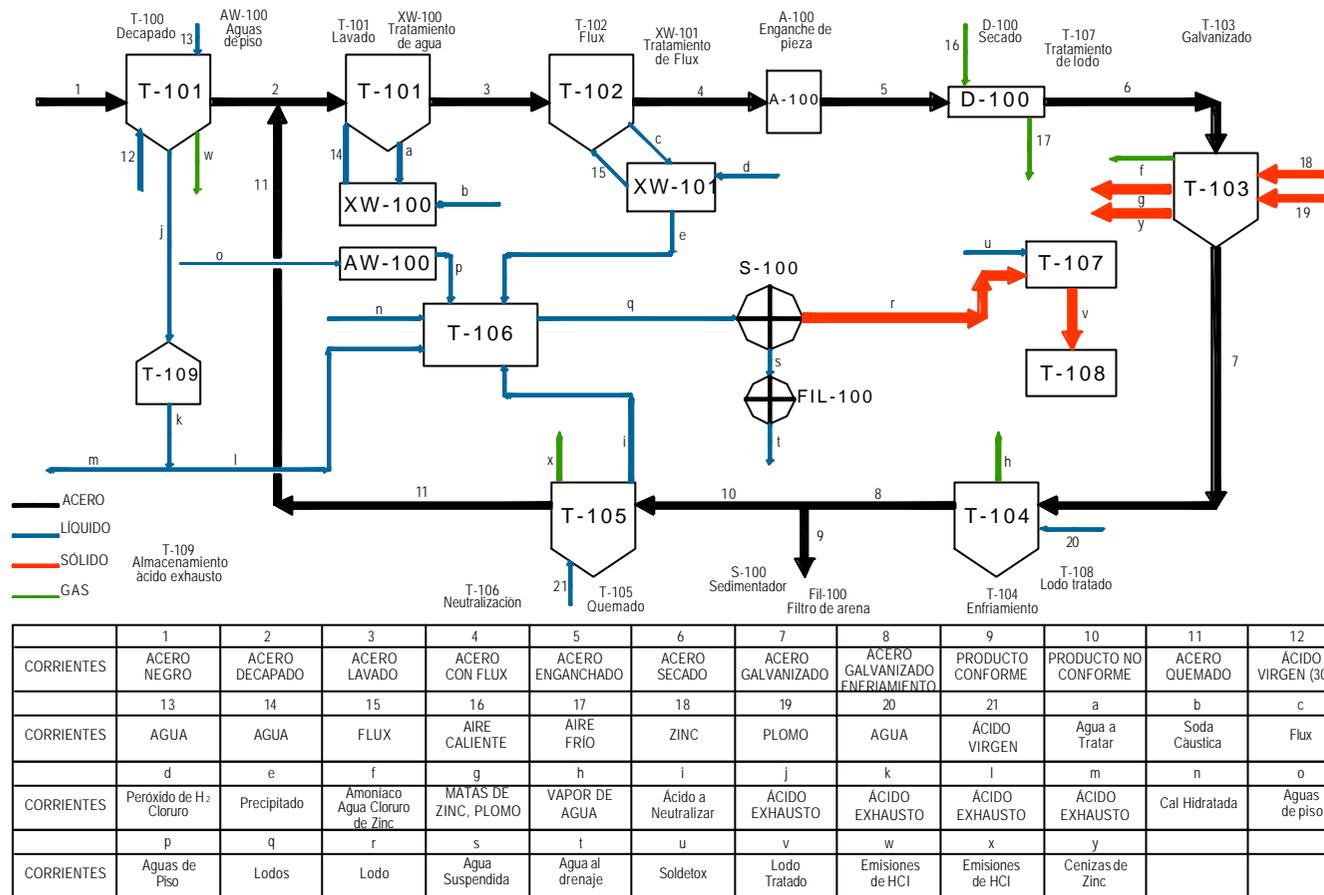


Figura N° 21: Diagrama de Flujo del proceso de galvanizado (generación de residuos)

Tabla N° 8: Resultado de los análisis de las muestras de aire captadas dentro del galpón de galvanizado.

<i>Constituyente</i>	<i>Exposición Laboral (mg/m³)</i>	<i>Zona respiratoria (mg/m³)</i>	<i>Sitio de Muestreo</i>	<i>Niveles permisibles norma COVENIN N° 2253-97</i>
<i>Ácido Clorhídrico</i>	<i>10,78</i>	<i>6,10</i>	<i>Zona de decapado</i>	<i>7,46</i>
<i>Amoníaco</i>	<i>1,46</i>	<i>-----</i>	<i>Tanque de galvanizado</i>	<i>18</i>
<i>Zinc</i>	<i>-----</i>	<i>0,05</i>	<i>Área de galvanizado</i>	<i>5</i>
<i>Plomo</i>	<i>-----</i>	<i>0,10</i>	<i>Área de galvanizado</i>	<i>0,05</i>
<i>Cromo</i>	<i>-----</i>	<i>0,013</i>	<i>Área de galvanizado</i>	<i>0,5</i>

Fuente: Informe Técnico “ Inspección Ambiental a ABB Planta Yare”⁽¹⁶⁾

De la tabla anteriormente mostrada, se aprecia que es de real importancia atacar de manera eficaz la emanación de los gases de ácido clorhídrico, que se desprenden de los tanques de decapado y de quemado, ya que las concentraciones en el ambiente exceden los valores permisibles por la normativa ambiental, causando serios daños tanto ambientales como a nivel de higiene ocupacional. Otra de las emisiones de alta prioridad de reducción es la emisión de plomo que se genera por el mal manejo de las cenizas de zinc, al momento de ser retiradas del baño de zinc. Así mismo se observa que el resto de los parámetros están dentro del rango que exige la normativa.

➤ *Además de los residuos anteriormente señalados los lodos generados en el tratamiento del flux constituyen otro residuo problemático. Actualmente estos lodos*

son neutralizados, al igual que las aguas de piso, con una solución de cal generándose nuevos lodos pero con otros componentes; adicionalmente también se encuentran los lodos ya existentes en la planta proveniente de neutralizaciones anteriores. Una vez que se obtienen estos lodos a partir de la solución de cal, se estabilizan con una mezcla en polvo con la finalidad de minimizar en lo posible el grado de toxicidad de sus lixiviados. A todos estos lodos se les sometió a una caracterización; los resultados de los análisis físico-químico de las muestras son presentados en la Tabla N°9.

Tabla N° 9: Resultado de los análisis físico-químico de las muestras de lodo.

Parámetros	Muestra pre-tratada	Muestra tratada	Decreto N° 2635	
			Artículo 49	Artículo 50
<i>TPH Hidrocarburos totales petróleo (%)</i>	0,03	0,03	< 3%	£ 1%
<i>Cloruros totales (mg/kg)</i>	55.559	53.181	---	< 2.500
<i>pH (Unid) medido en el lab.</i>	5,5	8,1	6 - 9	5 - 8
<i>Bario total (mg/Kg)</i>	64,4	283	40.000	20.000
<i>Mercurio total (mg/Kg)</i>	0,15	0,06	10	1
<i>Selenio total (mg/Kg)</i>	0,24	0,14	10	2
<i>Hierro total (mg/Kg)</i>	78.225	96,3	---	---
<i>Cromo total (mg/Kg)</i>	863	1,58	500	300
<i>Plomo total (mg/Kg)</i>	1.873	24,91	500	150
<i>Zinc total (mg/Kg)</i>	27.932	25.514	500	300

Fuente: Informe Técnico " Inspección Ambiental a ABB Planta Yare"⁽¹⁶⁾

Se observa de la Tabla N°9 que para la muestra de lodo pre-tratada los niveles de cloruro, cromo, plomo y zinc exceden los niveles permisibles establecidos

por la norma; la presencia de cloruro se debe a que el origen de estos lodos viene dado por la neutralización de ácido exhausto y aguas de piso. El cromo aparece de la neutralización de la pasivación que es una solución acuosa diluida de bicromato de sodio. Cabe recordar que esta solución se dejó de usar en el proceso desde el mes de agosto del año 2001 y en el lugar de esta operación unitaria está el enfriamiento que se realiza con agua corriente después del galvanizado.

El vaciado del baño de zinc se hace dentro de las mismas instalaciones del proceso de galvanizado, se realiza el cambio de tanque y se acondiciona nuevamente la capa de plomo que va en el fondo; este procedimiento hace que se depositen trazas de plomo y zinc sobre el piso que luego se remueven cuando se lava el piso y van directamente al tanque de aguas de piso.

En la muestra tratada se puede notar que la mezcla estabilizadora contribuye en la disminución del cromo y del plomo al punto en que los valores llegan a estar dentro del rango de los niveles permisibles por la norma.

La Tabla N°10 muestra que los metales están por debajo de los límites permisibles, no obstante cabe destacar que los niveles de plomo se encuentran muy cercanos a los establecidos por la norma. Así mismo es de notar que las concentraciones de cloruro y de zinc (elementos incluidos en el anexo “B” del decreto N° 2635) están por encima de los 1000 ppm, por lo cual estos lodos deben considerarse como desechos peligrosos según lo establecido en el artículo 50 del decreto anteriormente mencionado.

Tabla N° 10: Resultado de los análisis del lixiviado de la muestra tratada.

<i>Parámetros</i>	<i>Muestra Tratada</i>	<i>Decreto N° 2635 Anexo “D”</i>
<i>pH (Unid)</i>	<i>8,1</i>	<i>---</i>
<i>Arsénico (mg/l)</i>	<i>< 0,05</i>	<i>5,0</i>
<i>Bario (mg/l)</i>	<i>0,581</i>	<i>100</i>
<i>Cromo VI (mg/l)</i>	<i>1,349</i>	<i>5,0</i>
<i>Cadmio (mg/l)</i>	<i>0,158</i>	<i>1,0</i>
<i>Mercurio (mg/l)</i>	<i><0,05</i>	<i>0,2</i>
<i>Níquel (mg/l)</i>	<i>0,932</i>	<i>5,0</i>
<i>Plomo (mg/l)</i>	<i>3,39</i>	<i>5,0</i>
<i>Plata (mg/l)</i>	<i><0,050</i>	<i>5,0</i>
<i>Selenio (mg/l)</i>	<i><0,050</i>	<i>1,0</i>

Fuente: Informe Técnico “ Inspección Ambiental a ABB Planta Yare ”⁽¹⁶⁾

➤ *Por último, la mata es un residuo sólido que consiste en una aleación de zinc-hierro, cuya composición es aproximadamente 95% de zinc y 5% de hierro. La principal causa de formación de mata es la reacción entre la propia pieza y el zinc fundido. La ceniza es el óxido de zinc que se forma sobre la superficie del baño de zinc fundido. El contenido de zinc fundido en la ceniza puede superar el 80% del peso total de la misma. Estas cenizas se producen por la perturbación de la superficie del zinc fundido en contacto con el aire. También se forma esta ceniza por reacción con el flux que puedan contener las piezas, por lo que su composición principal será cloruro de zinc y óxido de zinc. La eliminación incorrecta de esta ceniza puede conducir a pérdidas significativas de zinc.*

VI.4.- DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTAS

En este capítulo se presentan a continuación las medidas obvias de reducción de residuos, que son aquellas que no necesitan de una inversión representativa de dinero. De igual manera se muestran las opciones de reducción y/o tratamiento de residuos a largo plazo, las cuales son aplicadas a aquellos que no pudieron ser reducidos por completo con las medidas obvias propuestas, estas opciones requieren de una inversión representativa ya que proponen en su mayoría implementaciones de nuevas tecnologías.

VI.4.1.- Examen de las medidas obvias de reducción de residuos

Las medidas obvias de reducción de residuos que se muestran a continuación, se encuentran por orden de prioridad de implementación:

VI.4.1.1.- Buenas prácticas de los procedimientos de operación

Es muy importante que el jefe y los supervisores del área de galvanizado sean muy rigurosos con el cumplimiento de los procedimientos de operación, ya que una de las principales causas por la que se registran las pérdidas por arrastre y generación de residuos, es por el incumplimiento de los procedimientos correspondientes por parte del personal asignado. Un parámetro que es punto de control importante en el proceso son los tiempos de inmersión y escurrimiento en cada una de las operaciones unitarias.

Una debida supervisión del proceso, traerá como consecuencia una disminución fundamental en las pérdidas por arrastre y en la generación de algunos de los residuos. A continuación algunas recomendaciones más puntuales para la mejora de cada una de las operaciones unitarias del proceso:

➤ *Decapado: La concentración inicial que se registró para los baños de decapado en esta auditoría fue de 170 g/l, sin embargo el baño fue preparado para que tuviese una concentración de 230-240 g/l, concentración corroborada por el analista de la planta. Este error viene determinado porque la muestra tomada es puntual y no hay una homogeneidad previa a la misma, es por ello que al momento del análisis se reporta un valor no representativo. Por tal motivo se debe agitar el baño y tomar una muestra compuesta pudiéndose obtener valores más representativos en los análisis.*

Además, a altas concentraciones de ácido y puesto que los tiempos de inmersión no se pueden ajustar a la velocidad inicial de reacción, el ataque al acero base es inminente, incrementándose así rápidamente la concentración de hierro en el decapado.

En consecuencia, se estima que la reducción de la concentración del ácido de 230-240 g/l a 150 g/l permite consumir un 21% menos de ácido clorhídrico al realizarse la operación de decapado desde un inicio en unas condiciones más controladas en cuanto al tiempo de reacción se refiere, obteniéndose resultados satisfactorios.

De igual manera se recomienda trabajar a menores concentraciones para mejorar las condiciones de trabajo por razones de salud laboral y la estabilización de la velocidad de decapado.

➤ *Lavado: El arrastre de hierro al baño de zinc fundido provoca la formación de matas de zinc, es por ello que es muy importante asegurar un buen lavado de las piezas según los procedimientos.*

➤ *Flux: Es de vital importancia que al momento de hacerle el tratamiento al flux se regule la presencia de cloruro de amonio, ya que si se encuentra en exceso provoca*

la formación de humo al sumergir las piezas en el baño de zinc fundido; se recomienda una concentración de sales de 300-350 g/l para reducir las emisiones en el galvanizado. También es muy importante controlar el pH, recomendado para esta operación en 4,5, ya que de esta manera se descarta prácticamente la posibilidad de que se arrastren iones de hierro al baño de zinc fundido, evitándose la formación de matas de zinc, producto no deseado.

➤ *Galvanizado: Las velocidades muy lentas de extracción permiten que el zinc no aleado que queda sobre la superficie reaccione con el sustrato de acero y se formen más compuestos Zn-Fe. Por eso es importante la constante remoción del zinc sobrante.*

La temperatura del baño no debe superar los 480-490°C, ya que se produciría el ataque del zinc líquido a las paredes de hierro del baño, produciéndose grandes cantidades de matas de zinc, reduciéndose además la duración del recipiente en el que tiene lugar el galvanizado. Debe cuidarse de utilizar zinc refundido, tampoco se obtiene ningún beneficio si se utiliza zinc de alta pureza ya que se acelerará el ataque del zinc a las paredes, reduciendo la vida útil del recipiente.

Las matas de zinc deben retirarse del baño a intervalos regulares, ya que de no hacerlo, se produciría la perforación de la pared del recipiente cerca de la base, con la consiguiente pérdida del zinc y la destrucción del recipiente.

Al momento de realizar una valoración económica de estas medidas de reducción de residuo, puede observarse que no amerita una inversión inicial, así como tampoco acarrea costos adicionales, lo que conlleva a que la valoración económica pueda presentarse solo en función de la reducción de los costos corrientes, como se muestra en la Tabla N°11.

Tabla N° 11: Valoración económica de la reducción de residuos por buenas prácticas en los procedimientos.

<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs/T de piezas galvanizadas)</i>
<i>Ácido de decapado</i>	<i>0,48 Kg/T</i>	<i>190,00 Bs/Kg</i>	<i>91,20</i>
<i>Agua</i>	<i>7x10⁴ m³/T</i>	<i>711,18 Bs/m³</i>	<i>0,50</i>
<i>Flux</i>	<i>0,847 Kg/T</i>	<i>510,00 Bs/Kg</i>	<i>432,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>523,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>523,00</i>

Se puede observar en la Tabla N°11 que la reducción de costos que se logra operando con buenas prácticas de operación, es de 523,00 Bs/T de piezas galvanizadas, es decir que anualmente se reducirían los costos en 4.184.000,00 Bs. para una producción promedio anual de 8.000 T. Adicionalmente la buena práctica de los procedimientos trae como consecuencia un mejor desempeño de la demás operaciones. Así mismo, se estima que la reducción de las pérdidas por arrastre en esta medida es del 99%.

VI.4.1.2.- Minimización de la cantidad de baños de decapado agotados generada mediante inhibidores del decapado

El empleo de inhibidores es una medida de minimización fundamental que se aplica en la mayoría de las empresas. El espesor de las capas de óxido sobre una pieza de acero que vaya a ser galvanizada no suele ser homogéneo, por lo que las piezas deberán permanecer en el baño de decapado hasta que haya sido eliminado el último rastro de óxido, es decir, superficies ya decapadas siguen estando expuestas al ácido (sobredcapado), lo cual repercute en un aumento del consumo de ácido. Para evitar que las superficies de acero sigan decapándose una vez eliminado el óxido, se utilizan los inhibidores de decapado.

En las empresas de galvanizado por inmersión se emplean normalmente inhibidores de decapado a base de hexametilentetramina, la erosión del material puede reducirse de esta forma hasta un 98%, mientras que el ahorro en ácido debido al empleo de inhibidores del decapado dependerá en gran medida del grado de oxidación que presenten las piezas.

La empresa Aleaveca ofrece un producto inhibidor llamado "Ironsave", perteneciente a la línea de productos SOPRIN, el cual protege la superficie metálica, reduce el consumo de ácido y la pérdida de metal. Aleaveca asegura que este producto, permite duplicar o triplicar la vida de los baños de decapado. En la Tabla N°12 se muestra la valoración económica para la reducción de ácido de decapado exhausto en un tanque, cabe señalar que esta opción no tiene costos adicionales al de la inversión.

Tabla N° 12: Valoración económica de la reducción del baño de decapado de un tanque con el uso de un inhibidor.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs/tanque)</i>
<i>Inhibidor</i>	<i>40,13 Kg</i>	<i>2.000 Bs/Kg</i>	<i>80.260,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>80.260,00</i>
<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs/tanque)</i>
<i>HCl (30%)</i>	<i>14.560 Kg</i>	<i>190,00 Bs/Kg</i>	<i>2.766.400,00</i>
<i>Agua</i>	<i>6,87 m³</i>	<i>711,18 Bs/m³</i>	<i>4.885,80</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>9.562,50 Bs/9 horas</i>	<i>9.562,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>7.312,50 Bs/9 horas</i>	<i>7.312,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.788.160,80</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>2.707.900,80</i>

Puede observarse en la tabla anterior que el uso de un inhibidor, en este caso el “Ironsave”, permite el ahorro de 2.707.900,80 Bs. suponiendo que la acción del inhibidor duplique la vida de un baño de decapado. Cabe mencionar que la vida útil de un baño de decapado sin la aplicación del inhibidor, con una producción promedio, es de tres semanas, partiendo de este hecho ABB anualmente se ahorraría 23.468.466,00 Bs. con una inversión de 695.586,00 Bs.

El uso del inhibidor además de reducir el consumo de ácido en un 50% y los costos para la formulación del baño de decapado, permite una adecuada protección al metal en diferentes tipos de acero, produce una superficie más lisa después del decapado, evitando una mayor absorción durante el galvanizado y reduce el efecto de hidrogenación de la pieza. Adicionalmente se disminuye la generación de ácido exhausto en un 50% implicando menores costos de tratamiento de este residuo.

Con la finalidad de tratar de disminuir más los costos de inversión y corrientes, se recomienda que se haga una evaluación más exhaustiva, a nivel de costos y de calidad, de los diferentes inhibidores comerciales ofertados en el país, ya que esta empresa fue escogida para la valoración económica de esta medida de reducción, debido a que ABB mantiene relaciones comerciales con la misma.

VI.4.1.3.- Reparación y mantenimiento de las grúas

El departamento de mantenimiento debe elaborar un programa para la evaluación continua de las grúas, ya que este es el equipo con el cual las piezas son transportadas por toda la primera fase del proceso. El deterioro de las grúas obliga a los operadores a sacar las piezas de la línea de operación ya que hay ciertas posiciones que la grúa no puede adoptar por sus condiciones mecánicas actuales.

Mantener las grúas en buen estado no sólo asegura un proceso más eficiente, ya que permite el aprovechamiento de su capacidad máxima, sino que también disminuye el riesgo de que ocurra un accidente laboral trayendo esto como consecuencia problemas económicos y legales a la compañía según sea la magnitud del accidente. Adicionalmente, el buen estado de las mismas trae como consecuencia una disminución del 50% en el consumo de agua en el lavado del piso.

Para la valoración económica de esta medida no se pudo obtener la inversión ya que ello requería una evaluación de las grúas por parte del personal de mantenimiento, actividad que para el momento de realizar la auditoría no estaba en el cronograma de dicho departamento. Por ende sólo se pudo obtener la reducción de costos corrientes por año la cual asciende a un monto de 46.084,46 Bs., la valoración económica es mostrada a continuación en la Tabla N°13.

Tabla N° 13: Valoración económica del mantenimiento de las grúas.

<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs)</i>
<i>Agua</i>	<i>64,80 m³/año</i>	<i>711,18 Bs/m³</i>	<i>46.084,46</i>
<i>TOTAL</i>			<i>46.084,46</i>

VI.4.1.4.- Minimización del aporte de óxidos de hierro a la operación de decapado

Debe asegurarse en lo posible el almacenamiento correcto de las piezas a galvanizar y su colocación óptima, de modo que no existan contactos prolongados de la superficie a tratar con el agua, evitando que se oxiden parcialmente las piezas y por lo tanto, permiten un tiempo uniforme y reducido de decapado.

A continuación se presenta en la siguiente tabla un resumen de las medidas obvias de minimización de residuos expuestas anteriormente.

Tabla N° 14: Resumen de las medidas obvias de minimización de residuos

Medida de reducción	Objetivo	Reducción de residuos	Ahorro de costos Bs/año	Inversión o beneficio
<i>Buena práctica de los procedimientos de operación.</i>	<i>Reducir las pérdidas por arrastre de las operaciones de decapado, lavado y flux.</i>	<i>Se reducen en un 99% por T de pzas. galvanizadas. Se reduce a 0,0048 Kg en el decapado, $7 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ en el lavado y 0,0085 Kg en el flux.</i>	<i>4.184.000,00</i>	<i>No requiere inversión de capital, sin embargo requiere del desarrollo de comunicación del personal.</i>
<i>Uso de inhibidores de decapado.</i>	<i>Reducir el consumo de HCl virgen y la generación de HCl exhausto.</i>	<i>Se logra una reducción del 50% por T de pzas. galvanizadas. Se reduce a 27,69 Kg de HCl virgen y 37,84 Kg de HCl exhausto.</i>	<i>23.468.466,00</i>	<i>Se requiere una inversión de 695.586,00 Bs/año</i>
<i>Reparación y mantenimiento de las grúas.</i>	<i>Reducir el consumo de agua en el galpón.</i>	<i>Se reduce en un 50%. por T de pzas. galvanizadas el consumo de agua en el lavado del piso. Se reduce a $0,0081 \text{ m}^3$ de agua.</i>	<i>46.084,46</i>	<i>Se requiere una inversión de capital que no pudo ser cuantificada. Disminuye el riesgo de ocurrencia de un accidente laboral.</i>
<i>Minimización del aporte de óxidos de hierro al decapado.</i>	<i>Reducir la producción de HCl exhausto.</i>	<i>Reduce la producción de ácido exhausto, no pudiendo ser cuantificado.</i>	<i>----</i>	<i>Permite un tiempo uniforme y reducido de decapado.</i>

VI.4.2.- Desarrollo de opciones de reducción y/o tratamiento de residuos a largo plazo

Para los residuos que no se lograron eliminar con las medidas anteriormente señaladas y para aquellos que todavía no les ha sido propuesto una solución, a continuación se plantearán una serie de opciones que pueden incrementar la eficiencia del proceso y la disminución total o parcial de los residuos restantes, para alguno de los casos se proponen soluciones tecnológicas.

VI.4.2.1.- Decapado

En esta sección se presentarán las opciones para la disposición final del ácido exhausto y las alternativas para reducir las emisiones de gases ácidos.

Seguidamente se presentan las opciones para la disposición final del ácido de decapado exhausto las cuales son: Contratación de los servicios de un gestor autorizado, regeneración por el proceso de separación al vacío y neutralización con una solución de cal

a) Contratación de los servicios de un gestor autorizado.

Actualmente los baños de decapado exhausto son retirados por un par de empresas para la obtención de cloruro férrico, para esto ninguna de las dos partes recibe ingreso monetario alguno. La demanda de cloruro férrico en el mercado no es muy alta, por lo que se corre el riesgo de que en cualquier momento estas empresas dejen de retirar el HCl exhausto, ya que dejaría de ser rentable para ellos. Además estas empresas no poseen ninguna certificación que los acredite como una opción ambientalmente segura y pertinente, referida al proceso que manejan para la disposición final de este ácido, trayendo como consecuencia que ABB no pueda asegurar, ante una auditoría ambiental, una disposición final adecuada de este

residuo; es por ello que es necesario buscar otras opciones para la disposición del mismo.

De allí que se tratara de buscar gestores autorizados, por los órganos competentes, como primera opción para procesar este residuo. De esta búsqueda no se tuvo ningún resultado satisfactorio ya que se determinó que las únicas empresas interesadas son con las que actualmente tienen el compromiso. Por ende la opción de buscar gestores que estén realmente aptos para realizar dicha actividad queda descartada.

b) Regeneración del ácido exhausto por el proceso de separación al vacío.

La empresa Zn Fundiciones ofrece un proceso para regenerar el ácido exhausto en un 80 %, los detalles del proceso no se encuentran disponibles ya que es información confidencial de la empresa, lo único que se sabe es que es tecnología italiana y que posee una planta de tratamiento para procesar todos los efluentes que se obtienen de la regeneración del ácido. Adicionalmente cuentan con tanques especiales para el almacenamiento y transporte del ácido, tanto exhausto como regenerado.

El costo de este servicio será el mismo que paga ABB por comprar el ácido virgen, preparar el baño de decapado y retirarlo una vez que llega a la condición de exhausto. En la Tabla N°15 se muestra una valoración económica para el caso de que la cantidad a regenerar sea el contenido de un tanque de decapado.

Tabla N° 15: Valoración económica para la regeneración de un tanque de ácido de decapado exhausto.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Regeneración ácido exhausto</i>	<i>18,15 m³</i>	<i>153.348,50 Bs/m³</i>	<i>2.783.275,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.783.275,00</i>
<i>Costos adicionales</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>2.437,50 Bs/3 horas</i>	<i>2.437,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.437,50</i>
<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>HCl (30%)</i>	<i>14.560 Kg</i>	<i>190,00 Bs/Kg</i>	<i>2.766.400,00</i>
<i>Agua</i>	<i>6,87 m³</i>	<i>711,18 Bs/m³</i>	<i>4.885,80</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>9.562,50 Bs/9 horas</i>	<i>9.562,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>7.312,50 Bs/9 horas</i>	<i>7.312,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.788.160,80</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>2.448,30</i>

Se puede apreciar en la tabla anterior que esta opción implica un ahorro de costos de 2.448,30 Bs./tanque, a los que actualmente se tienen. Cabe destacar que el ácido lo regresan a la concentración que se desee, es por ello que se ahorraría el consumo de agua y el consumo de HCl al 30%. La ventaja más importante que presenta esta opción es que reduce en su totalidad el impacto ambiental que puede ocasionar la inadecuada disposición final del ácido exhausto.

Suponiendo que anualmente se regeneren 17 tanques de decapado el ahorro de costo al actual que se tiene por año es de 41.621,00 Bs.. Si se utilizara un inhibidor en el decapado, de tal manera que se disminuyera anualmente a la mitad la cantidad de tanques a regenerar, el ahorro de costo sería de 20.810,55 Bs/año. A estos ahorros de costo se les debe sumar los que se tienen por reducir la ocurrencia de algún impacto ambiental por la mala disposición de los mismos.

c) *Neutralización con una solución de cal.*

La mezcla del ácido exhausto con lechada de cal es un método efectivo de neutralización. La reacción es similar a la que se produce en los lechos de piedras calizas. En este caso, sin embargo, la cal se utiliza continuamente porque se convierte en cloruro cálcico y se elimina con el residuo. Aunque actúa lentamente, la cal posee un poder altamente neutralizante y su acción puede acelerarse calentando u oxigenando la mezcla. Es relativamente barata; pero en grandes cantidades, el costo puede elevarse considerablemente.

En la planta actualmente existe un mezclador (ver Figura N°18) en el cual se prepara una solución de cal para la neutralización de las aguas de piso y del lodo de flux. En este mezclador se puede obtener 3,43 m³ aproximadamente de solución de cal. En la Tabla N°16 se muestra la valoración de esta opción.

Tabla N° 16: *Valoración económica de la neutralización de un tanque de ácido de decapado exhausto usando una lechada de cal*

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Cal</i>	<i>3.800 Kg</i>	<i>62,50 Bs/Kg</i>	<i>237.500,00</i>
<i>Agua</i>	<i>19 m³</i>	<i>711,18 Bs/m³</i>	<i>13.512,42</i>
<i>TOTAL</i>			<i>251.012,42</i>
<i>Costos adicionales</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>9.562,50 Bs/9 horas</i>	<i>9.562,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>7.312,50 Bs/9 horas</i>	<i>7.312,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>16.875,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(267.887,42)</i>

De la Tabla N°16 se puede observar que con la neutralización se tiene un gasto de 267.887,42 Bs. por cada tanque de ácido de decapado exhausto a neutralizar sin

obtener ninguna reducción de costos corrientes, ya que esta opción no disminuye el consumo de ninguna de las materias primas necesarias para la formulación de los baños de decapado, adicionalmente con esta opción se genera un residuo, el cual pasa a formar parte de un nuevo problema de disposición final. El lodo que se origina de esta operación presenta las características de los lodos mostrados en la Tabla N°9, por lo que puede clasificarse a este residuo como un desecho peligroso. Por último se puede determinar que esta opción traería como consecuencia un costo adicional anual de 4.554.086,14 Bs.

En la Tabla N°17 se muestra un resumen de las opciones para la disposición final del ácido exhausto.

Tabla N° 17: Resumen de las opciones de disposición final del ácido de decapado exhausto.

Opciones de disposición final	Inversión	Ventajas	Desventajas
<i>Contratación de los servicios de un gestor autorizado.</i>	<i>No requiere de inversión de capital.</i>	<i>Se reutiliza el ácido exhausto como materia prima para otros procesos.</i>	<i>En el país no hay empresas debidamente certificadas por el MARNR para la realización de estas actividades.</i>
<i>Regeneración del ácido exhausto por separación al vacío.</i>	<i>2.783.275,00 Bs/tanque</i>	<i>Reduce en un 100% el impacto ambiental, además de reutilizar el ácido exhausto para el proceso.</i>	<i>No presenta ninguna desventaja.</i>
<i>Neutralización con una solución de cal.</i>	<i>267.887,42 Bs/tanque</i>	<i>No presenta ninguna ventaja.</i>	<i>Se genera un desecho peligroso, adicionalmente no presenta ningún ahorro de costos corrientes.</i>

Si comparamos las tres opciones anteriormente planteadas desde el punto de vista económico y ambiental, puede observarse que la más conveniente es la regeneración del ácido exhausto por el proceso de separación al vacío, ya que ABB obtiene un proceso más limpio. A su vez esta opción garantiza el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, lo que facilita la aprobación satisfactoria de una auditoría ambiental y de residuos por la forma como se dispone del mismo.

A continuación se presentan las alternativas para la disminución y/o tratamiento de las emisiones gaseosas del baño de ácido de decapado, las cuales son la utilización de un antivapor y la instalación de una campana de extracción de gases.

a) Utilización de un Antivapor.

Durante la operación del decapado, el ataque del ácido al acero produce hidrógeno contaminando el ambiente de trabajo con vapores ácidos. Estos vapores en la planta son visibles debido a las condiciones de humedad y temperatura que se presentan en el ambiente de trabajo.

La reducción de estos vapores puede ser logrado utilizando una solución que controle el fenómeno de hidrogenación de la pieza. La empresa Aleaveca ofrece un producto, llamado “ANTIVAPOR” perteneciente a la línea de productos SOPRIN, que actúa sobre el hidrógeno el cual es el principal responsable de las emisiones de los vapores. Las especificaciones de este producto señalan la reducción de la emisión de los vapores en un 70%, la inversión de esta alternativa se muestra a continuación en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18: Valoración económica de la reducción de las emisiones de gases ácidos en un baño de decapado.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Antivapor</i>	<i>80,26 Kg</i>	<i>2.380,00 Bs/Kg</i>	<i>191.018,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>191.018,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(191.018,00)</i>

Esta alternativa no representa costos adicionales y tampoco logra un ahorro de costos corrientes debido a que su uso no disminuye el consumo del ácido. De la Tabla N°18 se observa que la inversión necesaria para reducir la emisiones de un baño de decapado es de 191.018,00 Bs., suponiendo que anualmente se formulen un promedio de 17 baños de decapado la inversión anual sería de 3.247.306,00 Bs/año. Sin embargo, esta inversión puede verse justificada por las mejoras de las condiciones de trabajo, reduce los costos de mantenimiento de la planta aumentando la vida útil de las estructuras, grúas, etc; así mismo se favorece la higiene ocupacional de los operadores.

Con la finalidad de tratar de disminuir aún más la inversión, se recomienda que se haga una evaluación exhaustiva, a nivel de costos y de calidad, de los diferentes antivapores comerciales ofertados en el país, ya que esta empresa fue escogida para la valoración económica de esta medida de reducción, debido a que ABB mantiene relaciones comerciales con dicha empresa.

b) Campana de extracción de gases.

Para esta alternativa no se pudo obtener ninguna cotización formal, ya que las empresas competentes solicitaban cancelar un adelanto de 2.500.000,00 Bs., para elaborar una primera propuesta del sistema requerido. Sin embargo, cabe acotar que

la inversión en esta alternativa elimina la presencia de los vapores ácidos en el ambiente de trabajo del decapado mejorando la calidad de la higiene ocupacional, así como también reduce los costos de mantenimiento de la planta, aumenta la vida útil de las grúas y contribuye en el cumplimiento de las normas ambientales vigentes para lograr la certificación en las normas ISO 14.000.

Como no se pudo obtener una valoración económica para esta alternativa no se puede hacer una comparación objetiva entre las dos alternativas, desde el punto de vista ambiental la alternativa más conveniente es esta ya que elimina por completo la presencia de gases ácidos del decapado en el ambiente.

La tabla que se presenta a continuación contiene un resumen de las alternativas de reducción planteadas anteriormente.

Tabla N° 19: Resumen de las alternativas para la reducción de las emisiones gaseosas del decapado.

<i>Alternativas</i>	<i>Inversión</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Utilización de un antivapor.</i>	<i>3.247.306,00 Bs/año</i>	<i>Reduce las emisiones en un 70%, reduce los costos de mantenimiento de la planta.</i>	<i>No se reducen por completo las emisiones.</i>
<i>Instalación de una campana de extracción de gases.</i>	<i>Requiere una inversión de capital que no pudo ser cuantificada.</i>	<i>Reducen las emisiones en un 100%, reduce los costos de mantenimiento de la planta.</i>	<i>No presenta ninguna desventaja técnica.</i>

Es evidente que la inversión inicial en la campana de extracción de gases será mayor que la inversión inicial del Antivapor, ya que se refiere a un equipo, pero debe tenerse en cuenta que esta inversión solo se hará una vez mientras que la del Antivapor debe hacerse periódicamente, además que los costos que no pueden cuantificarse en este momento como lo son la salud y seguridad de los empleados se reducen al mínimo con la instalación de la campana de extracción. Sin embargo, la primera alternativa puede ser aplicada temporalmente hasta instalar la campana de extracción de gases.

VI.4.2.2.- Flux

El lodo de hidróxido de hierro es el único residuo que se genera en esta operación unitaria, la reducción de este residuo viene dada por la realización de un buen lavado de las piezas antes de ser sometidas al baño de flux. La generación de este lodo como residuo se debe a que la acumulación de más de 15 g/l de hierro en el baño de flux hace necesaria la regeneración interna del mismo, mencionado en la sección VI.1.2, trayendo como consecuencia los constantes rechazos o problemas de calidad, ya que las condiciones de trabajo en el flux no permanecen constantes.

Por tal motivo se plantea instalar un equipo de regeneración interna automatizado de baños de flux, como se muestra en la Figura N°22, que permite eliminar el hierro contenido en la solución y ajustar constantemente el pH de la misma. Para ello, se lleva parte del baño a una cuba de reacción a la que se le añade peróxido de hidrógeno y amoníaco en función del pH y el potencial redox (rH), previamente determinados. El hierro III precipitado se concentra en el decantador, construido en material plástico para evitar oxidaciones o posibles acumulaciones de gas y se elimina a través de un filtro prensa; el flux clarificado se bombea de regreso al baño del proceso. La solución que se extrae del filtro prensa también se devuelve al baño. Como operación alternativa puede procederse al

lavado de los lodos, con el fin de reducir su toxicidad, mediante la adición de agua que se hace pasar a través de los mismos en el filtro prensa, la solución resultante se devuelve al baño de flux.

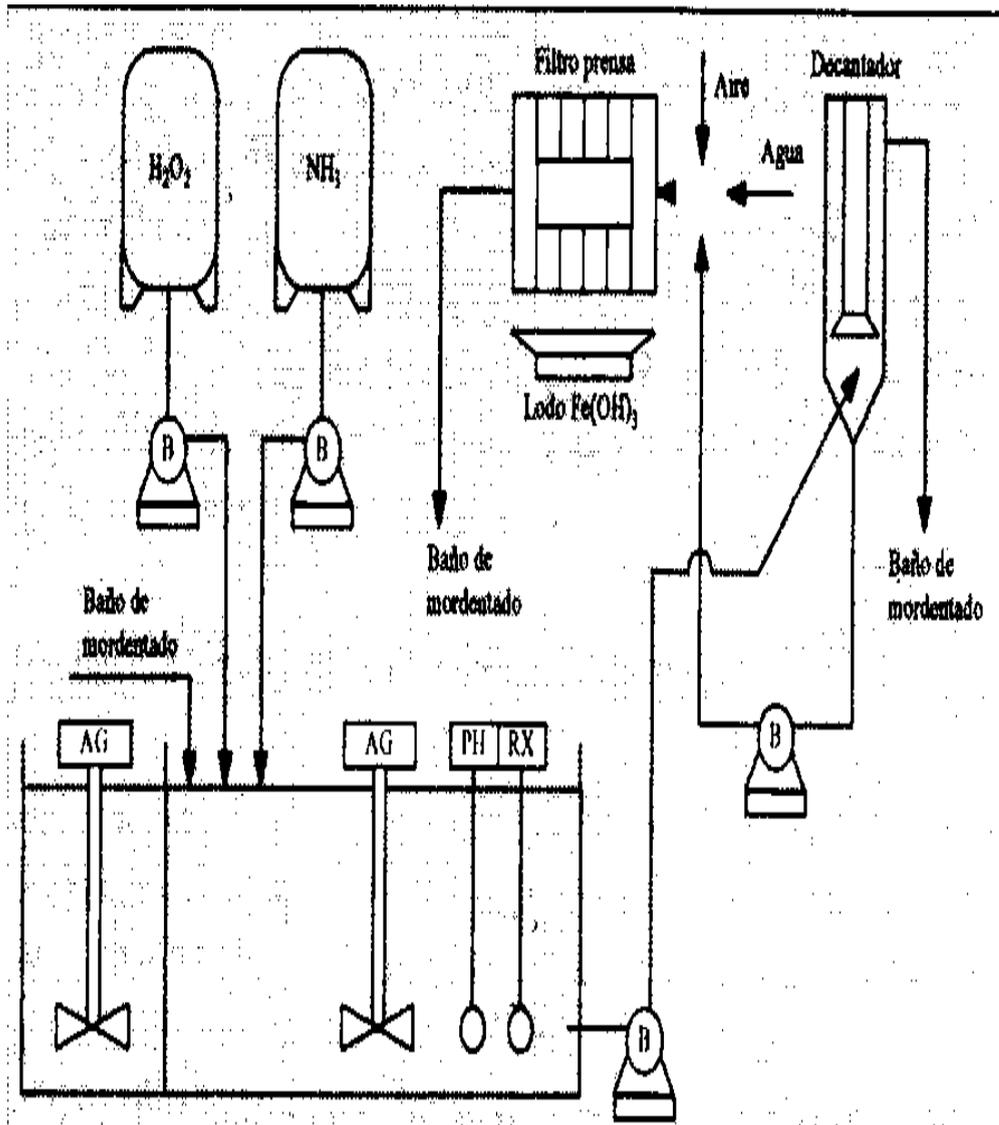


Figura N° 22: Sistema de regeneración interna del flux automatizado.

Fuente: Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones⁽¹²⁾

El sistema de regeneración está completamente automatizado, activándose cada vez que el contenido de hierro supere una concentración determinada; se recomienda 0,3 g/l para obtener mejoras en el proceso. A su vez este equipo también permitirá:

- Reducir la generación de matas de zinc. El mantenimiento constante de la concentración de hierro en menos de 0,3 g/l en el flux permitirá reducir la mata generada en un 30 %, lo que implica una disminución en el consumo de zinc de 3Kg/T de piezas galvanizadas.*
- Mantener constante las condiciones de trabajo en flux, lo que conlleva a una minimización de rechazos o problemas de calidad. Esto a su vez contribuye en una reducción significativa en la generación de ácido de quemado exhausto.*
- Evita la inversión periódica de horas hombre para la regeneración interna que actualmente se aplica.*
- Elimina la operación de lavado, lo que significa reducir el consumo de agua y eliminar el consumo de soda cáustica, que es la solución usada para el tratamiento del agua residual que se genera.*

La instalación del equipo de regeneración, además de posibilitar una reducción de costos por menor generación de matas, reducción de rechazos y gestión de los baños de ácido de quemado exhaustos, genera un costo adicional que es la gestión del lodo residual de hidróxido férrico. En la sección VI.4.2.5 se proponen las opciones para la gestión de los lodos.

La inversión que implica la instalación del sistema de regeneración no puede ser presentada ya que las empresas competentes solicitaban cancelar un adelanto de 2.500.000,00 Bs., para elaborar una primera propuesta del sistema requerido. Por

tal motivo no puede presentarse un balance económico de la instalación del sistema y los costos corrientes que se reducen como consecuencia de su implementación.

Desde el punto de vista ambiental este sistema no representa impacto alguno, ya que no genera ningún tipo de emisión. Al contrario la implementación de este sistema disminuye la producción de los residuos como lo son las matas de zinc (y consigo la disminución en el consumo de zinc) y el ácido de quemado exhausto, reduciendo directamente los costos para la gestión de este último residuo.

Para una mejor visualización de lo señalado anteriormente se presenta a continuación en la Tabla N°20 un resumen de esta alternativa.

Tabla N° 20: Resumen de la alternativa para la regeneración interna del flux.

<i>Alternativas</i>	<i>Inversión</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Instalación de un sistema automatizado para la regeneración interna del flux.</i>	<i>No pudo ser cuantificada.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reduce en un 30% la formación de matas.</i> • <i>Reduce el consumo de zinc en 3 Kg/T de pzas. galvanizadas.</i> • <i>Evita la inversión periódica de horas hombre.</i> • <i>Reduce los rechazos por mala calidad del galvanizado.</i> 	<i>Genera un costo adicional que es la gestión del lodo residual.</i>

VI.4.2.3.- Galvanizado.

En esta operación se reducirán las emisiones del baño de zinc, las cenizas, polvos y salpicaduras, las alternativas se muestran a continuación.

Para esta operación unitaria se recomienda instalar una mampara con filtros de manga, que a su vez impidan el paso del aire sobre el baño de zinc. Con este equipo se disminuye la producción de cenizas que se forman principalmente por la oxidación del zinc, inducida por el aire que circula a través de esta operación, y permite el buen manejo de las emisiones tóxicas que se generan en el galvanizado.

La instalación de este equipo permitirá un mejor ambiente de trabajo así como también contribuiría de manera significativa en la gestión a la certificación de las normas ISO 14.000. La inversión de esta alternativa no puede ser mostrada ya que las empresas competentes solicitaban cancelar un adelanto de 2.500.000,00 Bs., para elaborar una primera propuesta del sistema requerido. Por esta razón no puede presentarse un balance económico en este momento, que incluya los costos asociados a la eliminación de emisiones tóxicas y corrosivas que contienen zinc, amoníaco y cloruros. Ambientalmente la instalación de este equipo es significativa, ya que reduce al mínimo el impacto ambiental que genera esta operación unitaria, así como también contribuye a tener un proceso más limpio.

Otra recomendación importante para esta operación unitaria es colocar una campana a la lingotera de recolección de las cenizas extraídas por el operador, ya que después de un estudio exhaustivo se pudo determinar que la presencia de plomo en el ambiente viene dada por la liberación de vapores de las cenizas una vez depositadas en la lingotera. Esta campana puede ser hecha con los recortes sobrantes de los trabajos realizados en el taller de estructuras metálicas de la planta, de esta manera no habrían costos por inversión y a cambio se obtendría el

cumplimiento de los niveles permisibles de plomo en el ambiente exigidos por la normativa ambiental vigente. La construcción de esta campana no trae consigo costos adicionales, pero si representa una reducción de costos no cuantificables como lo son la seguridad e higiene ocupacional de los operadores.

La continua generación de las salpicaduras de zinc, a pesar de que no representan pérdidas para el proceso, ya que son devueltas al baño de zinc, son un indicativo de que las piezas no se introducen completamente secas en el baño de zinc fundido. Este hecho revela la poca eficiencia del secado, por lo que el auditor inmediatamente después de identificar este problema, realizó una evaluación muy somera al equipo de secado y detectó que la entrada del mismo no funciona eficientemente; se estima que sólo funcionan las 3/4 partes de la longitud total. Por tal motivo se recomienda una evaluación exhaustiva de este equipo para determinar con exactitud en las condiciones en que se encuentra. La composición de estas salpicaduras es fundamentalmente óxido de zinc, debido al contacto del metal con el aire, así como restos de polvo y suciedad presentes en el suelo de la instalación.

En cuanto a los polvos, pudiesen ser recogidos en los sistemas de captación de humos de la mampara para que posteriormente se le entreguen al suministrador de flux quien los utiliza como materia prima, ya que estos polvos se componen fundamentalmente de cloruro de amonio y cloruro de zinc. En el peor de los casos, se pueden introducir nuevamente en el baño de flux.

Seguidamente se presenta en la Tabla N°21 un resumen de las alternativas propuestas para la reducción de residuos en el galvanizado.

Tabla N° 21: Resumen de las alternativas para la reducción de residuos en el galvanizado.

<i>Alternativas</i>	<i>Inversión</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Instalación de una mampara con filtros de manga para reducir las emisiones, cenizas y polvos.</i>	<i>No se pudo cuantificar la inversión.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Disminuye la producción de cenizas.</i> • <i>Permite el buen manejo de las emisiones tóxicas.</i> • <i>Reduce la presencia de polvos en el ambiente de trabajo.</i> 	<i>No presenta ninguna desventaja.</i>
<i>Campana a la lingotera de recolección de cenizas para disminuir las emisiones de plomo.</i>	<i>No requiere ninguna inversión de capital.</i>	<i>Reduce las emisiones de plomo y a su vez contribuye con la higiene ocupacional de los operadores.</i>	<i>No presenta ninguna desventaja.</i>
<i>Evaluación exhaustiva y optimización del secado para disminuir las salpicaduras de zinc.</i>	<i>No se pudo cuantificar la inversión.</i>	<i>Reduce las salpicaduras de zinc y mejora la calidad del galvanizado.</i>	<i>No presenta ninguna desventaja.</i>

VI.4.2.4.- Quemado

En esta sección se presentarán las alternativas para la disposición final del ácido exhausto y las alternativas para reducir las emisiones de gases ácidos.

A continuación se presentan las alternativas para la disposición final del ácido de quemado exhausto las cuales son la regeneración del ácido exhausto por el proceso de separación al vacío y transferirlo a una empresa que elabore flux.

a) Regeneración del ácido exhausto por el proceso de separación al vacío.

El mismo proceso de regeneración que ofrece la empresa Zn Fundiciones para regenerar el ácido decapado exhausto en un 80 %, puede aplicarse para el ácido de quemado exhausto, por ende todos los detalles técnicos y descritos con anterioridad para la regeneración del ácido exhausto de decapado aplican para este caso.

El costo de este servicio será el mismo que paga ABB por comprar el ácido virgen, preparar el baño de quemado y retirarlo una vez que llega a la condición de exhausto. En la Tabla N°22 se muestra una valoración económica para el caso de que la cantidad a regenerar sea el contenido del tanque grande de quemado.

Tabla N° 22: Valoración económica para la regeneración del tanque grande de ácido de quemado exhausto.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Regeneración ácido exhausto</i>	<i>12,68 m³</i>	<i>148.176,26 Bs/m³</i>	<i>1.878.875,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>1.878.875,00</i>
<i>Costos adicionales</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>2.437,50 Bs/3 horas</i>	<i>2.437,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.437,50</i>
<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>HCl (30%)</i>	<i>9.800 Kg</i>	<i>190,00 Bs/Kg</i>	<i>1.862.000,00</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>9.562,50 Bs/9 horas</i>	<i>9.562,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>7.312,50 Bs/9 horas</i>	<i>7.312,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>1.878.875,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(2.437,00)</i>

Se puede apreciar en la tabla anterior que esta opción realmente implica un gasto adicional de 2.437,00 Bs., valor poco representativo para las magnitudes que se manejan en este caso. Esta alternativa representa un costo adicional de 7.311,00 Bs/año.

En la Tabla N°23 se muestra la valoración económica para el caso de que la cantidad a regenerar sea el contenido del tanque pequeño de quemado.

Tabla N° 23: Valoración económica para la regeneración del tanque pequeño de ácido de quemado exhausto.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Regeneración ácido exhausto</i>	<i>3,19 m³</i>	<i>241.183,39 Bs/m³</i>	<i>769.375,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>769.375,00</i>
<i>Costos adicionales</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>1.625,00 Bs/2 horas</i>	<i>1.625,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>1.625,00</i>
<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>HCl (30%)</i>	<i>4.000 Kg</i>	<i>190,00 Bs/Kg</i>	<i>760.000,00</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>5.312,50 Bs/5 horas</i>	<i>5.312,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>4.062,50 Bs/5 horas</i>	<i>4.062,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>769.375,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(1.625,00)</i>

Se puede observar en la tabla anterior que esta opción implica un gasto adicional de 1.625,00 Bs., este valor que al igual que para el tanque anterior es poco representativo para las magnitudes que se manejan. El costo adicional que representa esta alternativa es de 32.500,00 Bs/año.

Se debe recordar que el ácido lo regresan a la concentración que se desee, es por ello que para ambos tanques se ahorraría el consumo de HCl al 30%. La ventaja más importante que presenta esta opción es que reduce en su totalidad el impacto ambiental que puede ocasionar la inadecuada disposición final del ácido exhausto.

b) Transferirlo a una empresa que elabore flux.

El alto contenido de cloruro de zinc en el ácido de quemado exhausto permite el planteamiento de esta alternativa. Las empresas productoras de flux pueden

utilizarlo como materia prima. La empresa Aleaveca cotizó un flux para ABB, elaborado a partir del ácido de quemado exhausto que se genera en la planta, lo que representa la valoración económica de esta alternativa se presenta en la Tabla N° 24 y en la Tabla N° 25, tanto para el tanque pequeño como para el tanque grande respectivamente, la inversión que constituye la adquisición del flux elaborado por Aleaveca.

Tabla N° 24: Valoración económica para la transferencia del ácido del tanque pequeño a una empresa como materia prima para la elaboración de flux.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Flux regenerado</i>	<i>3.800 Kg</i>	<i>230,00 Bs/Kg</i>	<i>874.000,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>874.000,00</i>
<i>Costos adicionales</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>HCl (30%)</i>	<i>4.000 Kg</i>	<i>190,00 Bs/Kg</i>	<i>760.000,00</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>5.312,50 Bs/5 horas</i>	<i>5.312,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>4.062,50 Bs/5 horas</i>	<i>4.062,50</i>
<i>Cloruro de amonio</i>	<i>500 Kg</i>	<i>198,00 Bs/Kg</i>	<i>99.000,00</i>
<i>Peróxido de hidrógeno</i>	<i>550 Kg</i>	<i>540,00 Bs/Kg</i>	<i>297.000,00</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>4.062,50 Bs/5 horas</i>	<i>4.062,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>1.169.437,50</i>
<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Flux comercial</i>	<i>3.800 Kg</i>	<i>510,00 Bs/Kg</i>	<i>1.938.000,00</i>
<i>Cloruro de amonio</i>	<i>300 Kg</i>	<i>198,00 Bs/Kg</i>	<i>59.400,00</i>
<i>Peróxido de hidrógeno</i>	<i>350 Kg</i>	<i>540,00 Bs/Kg</i>	<i>189.000,00</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>9.562,50 Bs/9 horas</i>	<i>9.562,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>7.312,50 Bs/9 horas</i>	<i>7.312,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.203.274,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>159.836,50</i>

Tabla N° 25: Valoración económica para la transferencia del ácido del tanque grande a una empresa como materia prima para la elaboración de flux.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Flux regenerado</i>	<i>3.800 Kg</i>	<i>230,00 Bs/Kg</i>	<i>874.000,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>874.000,00</i>
<i>Costos adicionales</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>HCl (30%)</i>	<i>9.800Kg</i>	<i>190,00 Bs/Kg</i>	<i>1.862.000,00</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>5.312,50 Bs/5 horas</i>	<i>5.312,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>4.062,50 Bs/5 horas</i>	<i>4.062,50</i>
<i>Cloruro de amonio</i>	<i>500 Kg</i>	<i>198,00 Bs/Kg</i>	<i>99.000,00</i>
<i>Peróxido de hidrógeno</i>	<i>550 Kg</i>	<i>540,00 Bs/Kg</i>	<i>297.000,00</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>4.062,50 Bs/5 horas</i>	<i>4.062,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.271.437,50</i>
<i>Reducción de costos corrientes</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Flux comercial</i>	<i>3.800 Kg</i>	<i>510,00 Bs/Kg</i>	<i>1.938.000,00</i>
<i>Cloruro de amonio</i>	<i>300 Kg</i>	<i>198,00 Bs/Kg</i>	<i>59.400,00</i>
<i>Peróxido de hidrógeno</i>	<i>350 Kg</i>	<i>540,00 Bs/Kg</i>	<i>189.000,00</i>
<i>Obrero</i>	<i>1</i>	<i>9.562,50 Bs/9 ho ras</i>	<i>9.562,50</i>
<i>Ayudante</i>	<i>1</i>	<i>7.312,50 Bs/9 horas</i>	<i>7.312,50</i>
<i>TOTAL</i>			<i>2.203.274,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(942.163,50)</i>

Para el tanque pequeño esta alternativa es rentable, como se observa en la Tabla N°24, obteniendo un ahorro en costos de 159.836,50 Bs. a pesar de que se debe aplicar un tratamiento de regeneración al flux entregado por Aleaveca ya que regresa con una concentración en hierro de 80 g/l. Lo contrario ocurre para el tanque grande, Tabla N°25, ya que eleva los egresos en 942.163,50 Bs. La gran desventaja de esta alternativa es que la aplicación necesaria de la regeneración

interna, conduce a la generación de los lodos de hidróxido férrico en mayor proporción de lo que se generan actualmente, ya que la concentración a la que se recibe el flux es mucho mayor de la que se trata. Esta mayor generación de los lodos aumenta el costo para la gestión de los mismos.

Seguidamente se muestra en la Tabla N° 26 un resumen de las alternativas anteriormente expuestas para la disposición final del ácido de quemado exhausto.

Tabla N° 26: Resumen de las alternativas para la disposición final del ácido de quemado exhausto.

<i>Alternativas</i>	<i>Inversión</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Regeneración del ácido exhausto por separación al vacío.</i>	<i>1.881.312,50 Bs/tanque para el tanque grande y 771.000,00 Bs/tanque para el tanque pequeño.</i>	<i>Reduce en un 100% el impacto ambiental, además de reutilizar el ácido exhausto para el proceso.</i>	<i>No presenta ninguna desventaja.</i>
<i>Transferirlo a una empresa que elabore flux.</i>	<i>3.145.437,50 Bs/tanque para el tanque grande y 2.043.437,50 Bs/tanque para el tanque pequeño.</i>	<i>Se obtiene un ahorro de costos en el tanque pequeño de 159.836,50 Bs/tanque.</i>	<i>Generación de lodos de hidróxido férrico.</i>

Desde el punto de vista económico se puede apreciar que una combinación de las dos alternativas sería lo más conveniente, ya que se podría regenerar el tanque grande por el proceso de separación al vacío y el tanque pequeño se podría entregar para la elaboración de flux. Ambientalmente hablando no es lo más conveniente ya que de la segunda alternativa se genera un desecho peligroso el cual por sus

características es muy difícil de disponer. Lo más conveniente es que se utilice la primera alternativa, para ambos tanques, como disposición final de este residuo.

A continuación se presentan las alternativas para la disminución y/o tratamiento de las emisiones gaseosas del baño de ácido de quemado las cuales son la utilización de un antivapor y la instalación de una campana de extracción de gases.

a) *Utilización de un Antivapor.*

Durante la operación del quemado al igual que en el decapado, el ataque del ácido al acero produce hidrógeno contaminando el ambiente de trabajo con vapores ácidos. Estos vapores en la planta son visibles debido a las condiciones de humedad y temperatura que se presentan en el ambiente de trabajo.

La reducción de estos vapores puede lograrse utilizando la misma solución que ofrece la empresa Aleaveca para el decapado. Este producto reducirá las emisiones de los vapores en un 70%; la inversión de esta opción para el tanque de quemado grande se muestra a continuación en la Tabla N° 27.

Tabla N° 27: Valoración económica de la reducción de las emisiones de gases ácidos en el tanque grande de quemado.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Antivapor</i>	<i>66,23 Kg</i>	<i>2.380,00 Bs/Kg</i>	<i>157.627,40</i>
<i>TOTAL</i>			<i>157.627,40</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(157.627,40)</i>

Esta alternativa no representa costos adicionales y tampoco logra un ahorro de costos corrientes debido a que su uso no disminuye el consumo del ácido. De la Tabla N°27 puede observarse que la inversión necesaria para reducir la emisiones de un baño de quemado es de 157.627,40 Bs; suponiendo que anualmente se formulen un promedio de 4 baños en el tanque grande de quemado la inversión anual sería de 630.509,60 Bs/año. Para poder apreciar lo que ocurre con el tanque de quemado pequeño obsérvese la Tabla N°28 que se muestra a continuación.

Tabla N° 28: Valoración económica de la reducción de las emisiones de gases ácidos en el tanque pequeño de quemado.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Antivapor</i>	<i>13,40 Kg</i>	<i>2.380,00 Bs/Kg</i>	<i>31.892,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>31.892,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(31.892,00)</i>

La inversión es de 31.892,00 Bs, suponiendo que anualmente se preparen 20 baños de quemado en el tanque pequeño, el gasto anual que implica el uso del Antivapor anualmente sería de 637.840,00 Bs. Sin embargo, esta inversión puede verse justificada por las mejoras de las condiciones de trabajo, reduce los costos de mantenimiento de la planta aumentando la vida útil de las estructuras, grúas, etc; así mismo se favorece la seguridad e higiene ocupacional de los operadores.

Con la finalidad de tratar de disminuir aún más los costos de inversión, se recomienda que se haga una evaluación exhaustiva, a nivel de costos y de calidad, de los diferentes antivapores comerciales ofertados en el país, ya que esta empresa fue escogida para la valoración económica de esta medida de reducción, debido a que ABB mantiene relaciones de negocios con dicha empresa.

b) *Campana de extracción de gases.*

Al igual que para el decapado, para esta opción no se pudo obtener ninguna cotización formal, ya que las empresas competentes solicitaban cancelar un adelanto de 2.500.000,00 Bs., para elaborar una primera propuesta del sistema requerido. Sin embargo, cabe acotar que la inversión en esta alternativa elimina la presencia de gases ácidos en el ambiente de trabajo del quemado mejorando la calidad del ambiente interno, así como también reduce los costos de mantenimiento de la planta, aumenta la vida útil de las grúas y contribuye en el cumplimiento de las normas ambientales vigentes para lograr la certificación en las normas ISO 14.000.

La tabla que se presenta a continuación contiene un resumen de las alternativas de reducción planteadas anteriormente.

Tabla N° 29: *Resumen de las alternativas para la reducción de las emisiones gaseosas del decapado.*

<i>Alternativas</i>	<i>Inversión</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Utilización de un antivapor.</i>	<i>630.509,60 Bs/año para el tanque grande y 637.840,00 Bs/año para el tanque pequeño.</i>	<i>Reduce las emisiones en un 70%, reduce los costos de mantenimiento de la planta.</i>	<i>No se reduce por completo las emisiones.</i>
<i>Instalación de una campana de extracción de gases.</i>	<i>Requiere una inversión de capital que no pudo ser cuantificada.</i>	<i>Reduce las emisiones en un 100%, reduce los costos de mantenimiento de la planta.</i>	<i>No presenta ninguna desventaja.</i>

La comparación económica de las alternativas anteriormente expuestas no puede ser realizada ya que no se tiene la valoración económica de la segunda, por la razón anteriormente planteada, pero puede inferirse que al igual que en el decapado la inversión inicial será mayor en la segunda alternativa que en la primera. Cabe acotar que desde el punto de vista ambiental la alternativa más conveniente es la segunda ya que reduce los niveles de gases ácidos en el ambiente y a su vez reduce los costos no cuantificables como lo son la seguridad y la higiene ocupacional del operador. Sin embargo, al igual que en el decapado puede adoptarse la primera alternativa provisionalmente mientras se instalan las campanas de extracción de gases.

VI.4.2.5.- Lodos

En la planta se generan los lodos de la regeneración del flux y de la neutralización de las aguas de piso. Adicionalmente a esto en la planta se encuentra unas 280 T de lodo estabilizado y unas 82 T de lodo no estabilizado. Cabe señalar que para poder aplicar una medida de disposición final a este residuo, sus características físico-químicas y de lixiviado deben estar dentro del rango de la normativa ambiental vigente.

Para la disposición final de estos lodos se presentan las siguientes opciones: Destrucción térmica por agentes externos, la adquisición de un incinerador y depositarlos en un relleno sanitario.

a) Destrucción térmica por agentes externos.

La destrucción térmica o incineración, es un proceso mediante el cual se destruye el residuo por la aplicación de calor. Este proceso es bastante seguro ambientalmente ya que los equipos diseñados para tal fin incluyen operaciones para

el tratamiento de los residuos que se generan de la destrucción térmica, siendo el único residuo generado las cenizas del sólido quemado. Las empresas que brindan este servicio cuentan con un aval del Ministerio del Ambiente para realizar tal proceso.

No todos los incineradores pueden procesar los lodos generados en ABB debido a las características que presenta, el costo del servicio también dependerá de esto. La inversión en este servicio no acarrea costos adicionales a la misma, así como tampoco se logran ahorros en los costos corrientes del proceso. La valoración económica de este servicio se presenta en la Tabla N°30.

Tabla N° 30: *Valoración económica de la destrucción térmica para los lodos existentes en la planta.*

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Incineración</i>	<i>362 T</i>	<i>168.740,00 Bs/T</i>	<i>61.083.880,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>61.083.880,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(61.083.880,00)</i>

Se puede observar de la tabla anterior que el costo que debe erogar la planta por esta opción es de 61.083.880,00 Bs. por todo el lodo existente en la misma, el costo de la inversión fue suministrado por la empresa Aliven. La ventaja de esta opción es que la empresa se eliminaría uno de sus mayores problemas ambientales, como lo es el pasivo ambiental que representan los lodos dentro de la planta. Adicionalmente a esto significaría un gran logro en el cumplimiento del Sistema de Gestión Ambiental.

Con la finalidad de tratar de disminuir los costos de inversión se recomienda evaluar otros proveedores que ofrezcan este servicio, tomando en cuenta que cumplan con las exigencias ambientales pertinentes.

b) *Adquisición de un incinerador.*

Debido a que la elevada cantidad de lodos que se encuentran en la planta y a la continua generación de los mismos, se puede pensar en instalar un equipo para incinerarlos dentro de la misma planta.

La empresa MKR incineradores, empresa líder en la fabricación de estos equipos, presenta la siguiente valoración económica en la Tabla N°31.

Tabla N° 31: Valoración económica para la adquisición de un equipo de incineración.

<i>Inversión</i>			
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo (Bs.)</i>
<i>Incinerador</i>	<i>1</i>	<i>107.366.856,00</i>	<i>107.366.856,00</i>
<i>TOTAL</i>			<i>107.366.856,00</i>
<i>AHORRO DE COSTOS</i>			<i>(107.366.856,00)</i>

De la tabla anterior se puede observar que la inversión en el equipo es de 107.366.856,00 Bs. Para su instalación es necesario solicitar un permiso al Ministerio del Ambiente, lo cual es un proceso lento y para su aprobación adicionalmente habría que gestionar la disposición de las cenizas que se generan por la incineración.

c) *Depositarios en un relleno sanitario.*

Una solución muy ventajosa desde el punto de vista ambiental sería la disposición de los lodos en un relleno sanitario, ya que a nivel mundial existen rellenos que cuentan con fosas de seguridad para desechos peligrosos como lo son los lodos generados en ABB.

En Venezuela no hay ningún relleno sanitario que cuente con la permisología pertinente para poder tener fosas que contengan desechos peligrosos, a pesar de que en La Bonanza (Cotécnica), ubicada en la carretera de Charallave, tiene un proyecto bastante avanzado para la instalación de estas fosas siendo el único inconveniente el permiso que todavía el Ministerio no le ha expedido. Por ende, no se puede mostrar una valoración económica para esta opción.

A continuación se presenta en la Tabla N°32 un resumen de las opciones planteadas anteriormente.

Tabla N° 32: *Resumen de las opciones para la disposición final de los lodos.*

<i>Alternativas</i>	<i>Inversión</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Dstrucción térmica por agentes externos.</i>	<i>61.083.880,00 Bs.</i>	<i>No genera ningún problema ambiental adicional a la planta</i>	<i>No presenta ninguna desventaja.</i>
<i>Adquisición de un incinerador.</i>	<i>107.366.856,00 Bs.</i>	<i>Manejo del residuo In Situ.</i>	<i>Gestionar la disposición final de las cenizas y la larga espera por la gestión del permiso por el MARNR.</i>
<i>Depositarios en un relleno sanitario.</i>	<i>No se pudo cuantificar la inversión.</i>	<i>Es ambientalmente muy segura.</i>	<i>No hay ninguna empresa en el país que brinde este servicio.</i>

De la tabla anterior se puede observar que la comparación queda directamente entre las dos primeras opciones; desde el punto de vista económico y ambiental la primera opción es la más adecuada, como consecuencia de que las empresas que brindan este servicio se comprometen a realizar una disposición final ambientalmente aceptable. La adquisición de un incinerador además de ser muy costosa genera un problema ambiental adicional que es la disposición final de las cenizas que quedan como residuo de la incineración. Por tal motivo la opción más conveniente para ABB es la destrucción térmica por agentes externos.

VI.4.3.-Consideraciones adicionales a la auditoría de residuos

Aún cuando el desarrollo de la auditoría de residuos debía ser únicamente al proceso de galvanizado, el auditor decidió extender su campo de acción al resto de la planta, a pesar de que este alcance no está contemplado entre los objetivos de este Trabajo Especial de Grado, ya que se encuentra en el marco de la implantación del Sistema de Gestión Ambiental para las normas ISO 14.000. De esta manera se logró ejecutar las consideraciones que se muestran a continuación:

- *En el momento que la empresa realizó las pruebas de exposición laboral y zona respiratoria para lograr el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, se aprovechó para realizar las pruebas pertinentes a la calidad del aire, según el Decreto N° 638.*

Para la realización de estas pruebas primero se determinó cuál era la dirección predominante del viento, elaborando dos veletas con recortes de acero y otros materiales existentes en el taller de carpintería pesada de la planta.

Una vez que se determinó que la dirección del viento era NO a SE se procedió a la colocación de los equipos para la toma de muestras. Cabe señalar que mediante esta información, se constató que el punto Norte de los planos actuales de la planta estaba errado.

Los resultados de esta prueba mostraron que los niveles de emisión de ácido clorhídrico (136 mg/m^3) estaban muy cerca de los niveles permitidos por la ley (200 mg/m^3), lo que reafirma que es muy importante atacar inmediatamente el problema de las emisiones gaseosas del decapado y quemado, utilizando las opciones presentadas en este Trabajo Especial de Grado.

➤ *En el marco de la certificación de la planta en las normas ISO 14.000, se realizó una caracterización de las descargas de las aguas fuera de la planta (según el Decreto N°883); los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla N°33.*

Para la primera muestra que corresponde a la calidad de agua de la quebrada en la que ABB desecha las descargas 1 y 4. Puede observarse de la tabla anteriormente mencionada que dicha descarga no cumple con los niveles de coliformes, lo cual evidencia que aguas arriba de ABB se producen descargas no controladas de aguas domésticas residuales.

Con relación a la descarga 1, que representa la descarga de la planta de tratamiento de efluentes de las aguas residuales del área de galvanizado, los resultados muestran que la misma cumple con los límites para descarga a cuerpos de aguas establecidos en el Decreto N°883.

Tabla N° 33: Resultado de los análisis físico-químico de las muestra de aguas

Parámetros (mg/l, salvo indicación)	Quebrada	Descarga 1	Descarga 2	Descarga 3	Descarga 4	Decreto N° 883 Art.10
<i>pH (Unid)</i>	7,78	6,79	5,10	4,30	7,47	6-9
<i>Aceites, grasas hidrocarburos</i>	<0,02	<0,02	71,0	118	<0,02	20,0
<i>TPH hidrocarburos totales de petróleo (%)</i>	<0,02	<0,02	14,0	12,0	<0,02	20,0
<i>Arsénico</i>	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,5
<i>Bario total</i>	0,60	0,147	2,437	0,549	0,112	5,0
<i>Cadmio total</i>	0,004	0,001	0,038	0,023	<0,001	0,2
<i>Cianuro total</i>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,20
<i>Cloruros</i>	198	62,35	16.285	22.896	98,89	1.000
<i>Cobre total</i>	0,018	0,023	0,176	0,126	0,018	1,0
<i>Cromo total</i>	<0,001	0,004	0,070	0,081	0,025	2,0
<i>DBO</i>	12	14	294	170	144	60
<i>DQO</i>	53	71	5.817	4.407	246	350
<i>Mercurio total</i>	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
<i>Plomo total</i>	0,066	0,021	10,19	5,74	0,032	0,5
<i>Selenio total</i>	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,05
<i>Sólidos flotantes</i>	<i>Ausente</i>	<i>Ausente</i>	<i>Ausente</i>	<i>Ausente</i>	<i>Ausente</i>	<i>Ausente</i>
<i>Sólidos totales</i>	1.086	536	45.088	16.612	676	----
<i>Sólidos suspendidos</i>	18	19	82	856	288	80
<i>Sólidos sedimentables (ml/l)</i>	<0,10	<0,10	10,0	5,0	<0,10	1,0
<i>Zinc total</i>	0,001	1,164	9.552	52.600	0,946	5,0
<i>Coliformes totales (NMP/100ml)</i>	11.000	<20	<20	<20	24.000	1.000
<i>Coliformes fecales (NMP/100ml)</i>	4.600	<20	<20	<20	24.000	----

Fuente: Informe Técnico “ Inspección Ambiental a ABB Planta Yare”⁽¹⁶⁾

La descarga 4 correspondiente al comedor, que también se dispone en la mencionada quebrada, no cumple con los límites para DBO (144mg/l), sólidos suspendidos (288 mg/l), coliformes totales y coliformes fecales (24.000 NMP/ml). Lo anterior es consecuencia de la mala disposición de los residuos de alimentos del comedor de la planta; este problema se solucionó durante la ejecución de la auditoría colocando unas cestas en los fregaderos de la cocina del comedor impidiendo de esta manera que se desecharan por la tubería, minimizando de esta manera los niveles reportados anteriormente.

La calidad de las aguas de las descargas 2 y 3 correspondientes al taller mecánico y al patio de tanques de HCl respectivamente, muestran valores que no cumplen con los niveles exigidos por el Decreto N°883, estos parámetros son:

- a) Los valores de pH (5,10 y 4,30 respectivamente), cloruros (16.285 mg/l y 22.896 mg/l respectivamente), DQO (5.817 mg/l y 4.407 mg/l respectivamente) y zinc total (9.552 mg/l y 52.600 mg/l respectivamente), evidencian la contaminación de las aguas de lluvia con ácido de decapado exhausto y el ácido de quemado exhausto, que se manipulan en esta área y entran en contacto con los pisos y canales de descarga de aguas de lluvia. Esto puede ser solucionado con las buenas prácticas procedimentales e instructivos de trabajo, así como también brindando un mantenimiento periódico a las bombas con las que se manejan estas soluciones.*

- b) Los niveles de aceites, grasas e hidrocarburos (71,0 mg/l y 118 mg/l) evidencian la ineficiencia de las trampas de grasa ubicadas en el taller mecánico de la planta ya que no permiten alcanzar los niveles exigidos por la ley, de igual manera se puede deducir que los vehículos y montacargas que circulan por el área presentan fugas durante su circulación. Este problema pudiera ser solventado rediseñando un sistema de trampas de*

grasas más eficiente en el taller mecánico, así como también brindado un mantenimiento periódico a los vehículos y montacargas.

Además, el uso de gasolina como material de limpieza por parte de los mecánicos contribuye a que los niveles de plomo (10,19 mg/l y 5,74 mg/l) excedan los valores permitidos por la legislación ambiental vigente.

c) La DBO en ambos casos reporta valores muy por encima del límite establecido en el Decreto N°883, estos niveles elevados indican la presencia de materia orgánica biodegradable y sustancias oxidables, como lo son los aceites y las grasas. Para la disminución de estos valores aplican las soluciones propuestas en el párrafo anterior. De igual manera los sólidos suspendidos y sedimentables muestran niveles por encima de lo permitido, estos como consecuencia del arrastre de una gran cantidad de materiales constituidos por parte orgánica (sólidos volátiles o cenizas) y por parte inorgánica (sólidos fijos), así como producto de erosión de material sólido ya que hay grandes cantidades de ángulos almacenados a la intemperie.

➤ *De igual manera se tomaron muestras de suelo del galpón de galvanizado para determinar el grado de contaminación en el que se encontraba. Estas muestras fueron tomadas a 30 cm de profundidad de las cuales 20 cm era el espesor de la losa del galpón. Los resultados de estas pruebas evidenciaron valores elevados de hierro, cloruro y zinc, se presume que debajo de la losa se encuentran capas de lodo sin tratar ya que las muestras presentan características físico-químicas similares, por lo que se recomienda realizar excavaciones adicionales a mayor profundidad para demostrar que estos niveles se encuentran confinados dentro de la planta.*

Dependiendo de lo que se determine en las muestras adicionales se debe elaborar un programa para contrarrestar este impacto ambiental.

➤ *Después de las actividades anteriormente ejecutadas la organización decide darle al auditor la responsabilidad de la elaboración del 70% de la documentación del Sistema de Gestión Ambiental. Durante la recolección de la información para la documentación, se observó que las tanquillas de cableado de los galpones del taller de carpintería pesada contenían aceite de las máquinas en su interior, así mismo se logró identificar las maquinarias con problemas mecánicos que originan el problema de las tanquillas de cableado. Por otro lado se detectó que una de las máquinas por mal diseño descarga la taladrina, fluido utilizado para el enfriamiento de la misma, directamente al río Tuy, por tal razón se recomienda que el departamento de mantenimiento de máquinas, elabore un plan eficiente para el rediseño de la descarga del fluido de enfriamiento de la máquina y a su vez un plan de mantenimiento riguroso del resto de las máquinas del taller de carpintería pesada.*

De igual manera para la implementación del Sistema de Gestión Ambiental, en vista del gran número de productos químicos que maneja la planta, el auditor solicitó las hojas de seguridad de todos los productos químicos existentes dentro de la misma, utilizando estos documentos como apoyo y guías procedió a clasificarlos según sus características físico-químicas y posteriormente se organizaron todos los almacenes de productos, aquellos fuera de uso se dispusieron en un almacén para tal fin. Se recomienda dotar a todos los almacenes de los productos químicos con equipos e infraestructura especial para atacar las contingencias que puedan presentarse, como por ejemplo, los derrames.

Para una mejor visualización a continuación se presenta en la Tabla N°34 un resumen de la acciones correctivas a seguir para cada uno de los problemas anteriormente planteados.

Tabla N° 34: Resumen de la acciones correctivas a seguir en las consideraciones adicionales.

Problema	Acción correctiva
<i>Emisiones de gases ácidos fuera de los linderos de la planta.</i>	<i>Implementación de las opciones presentadas en este Trabajo Especial de Grado para las emisiones gaseosas.</i>
<i>Descargas de aguas fuera de la planta con alto contenido de materia orgánica y coliformes fecales.</i>	<i>Implementación de cestas en los fregaderos de la cocina del comedor.</i>
<i>Descarga de aguas ácidas y con un alto contenido de cloruros y zinc fuera de la planta.</i>	<i>Buena práctica de los procedimientos e instructivos de trabajo, así como un mantenimiento periódico a las bombas que se utilizan en el área de neutralización.</i>
<i>Descarga de aguas que contienen grasa, hidrocarburo, plomo y un alto índice de DBO.</i>	<i>Rediseñar un sistema de trampas de grasa más eficiente en el taller mecánico, además de un mantenimiento periódico a los vehículos y montacargas. Uso racional de la gasolina como material de limpieza.</i>
<i>Altos valores de hierro, cloruro y zinc en el suelo que se encuentra debajo del galpón de galvanizado.</i>	<i>Elaborar un programa para contrarrestar este impacto ambiental.</i>
<i>Máquinas que presentan botes significativos de aceite y taladrina.</i>	<i>Plan de mantenimiento riguroso a las máquinas del taller de carpintería pesada.</i>
<i>Almacenes de productos químicos fuera de especificaciones para contener contingencias.</i>	<i>Dotar todos los almacenes con equipos e infraestructuras especial para atacar contingencias.</i>

VII.- DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN

El plan de acción a aplicar en este caso, se sustenta filosóficamente en la necesidad de concienciación ambiental para todo el personal de la planta. Este es el primer paso a seguir, ya que si el personal no se siente comprometido a realizar los esfuerzos dirigidos a lograr un proceso más eficaz, eficiente y limpio, el resto de las propuestas desarrolladas anteriormente no tendrán efecto ya que son ellos quienes realmente pueden hacer la diferencia en el desempeño del proceso.

Para ello la preparación del personal consta de una serie de actividades como lo son:

- El establecimiento de objetivos y metas ambientales, logrando de esta manera que se enfoque el desempeño del personal hacia una meta global ambiental, la cual está acompañada de requisitos detallados que surgen de la misma y que necesitan ser cumplidos, a fin de alcanzar los objetivos planteados. Es importante señalar que los objetivos y las metas ambientales deben ser cuantificables en la medida de lo posible.*
- La impartición de talleres de concienciación ambiental y buenas prácticas de los procedimientos de operación, contribuirán en gran medida en la educación ambiental del personal y al mismo tiempo se darán a conocer las nuevas tendencias de reducción de residuos, señalando los puntos y las operaciones del proceso susceptibles a causar impactos ambientales.*

Estos talleres deben ser impartidos prioritariamente a la alta gerencia ya que deben ser ellos los primeros comprometidos y convencidos de estos cambios, siendo el motor de arranque para el resto del personal de la planta.

De forma sucesiva serán los empleados los segundos en recibir estos talleres y por último el personal obrero de la planta. En la Tabla N° 35 se muestran los puntos más importantes, entre otros, y a los que se le debe poner mayor énfasis para el máximo aprovechamiento del taller.

Una vez que se internalicen los conceptos señalados en la Tabla N 35, conjuntamente con otros puntos donde se señale cuáles son las condiciones de operación a las que se genera mayor cantidad de residuos y mayor impacto ambiental, disminuirán los costos de consumo de algunas de las materias primas y lo que es más importante aún, también disminuirá el impacto ambiental que ejerce actualmente el proceso.

- *La elaboración de campañas publicitarias, con la finalidad de establecer instrumentos de comunicación entre la alta gerencia y el personal de la planta, en las cuales se informe los avances y logros de las actividades desempeñadas por todo el personal. Al mismo tiempo se puede desarrollar un programa de estimulación y reconocimiento de forma tal que incentiven a los empleados y obreros a aplicar los conocimientos impartidos en los talleres. Lo anteriormente mencionado debe aplicarse conjuntamente con los talleres y debe quedar como cultura de la empresa.*
- *Una vez logradas las actividades anteriores, la implementación de las medidas obvias de reducción de residuos, presentadas en este Trabajo Especial de Grado, ya pueden ser llevadas a cabo e incluso ser usadas como herramienta de medición, ya que el personal ha recibido un previo adiestramiento en el tema de ambiente y de cómo operar en pro de una producción más limpia, eficiente, eficaz y segura.*
- *La planificación de jornadas de limpieza y mantenimiento por áreas de trabajo, ayudarán a mantener un control de las actividades realizadas.*

Tabla N° 35: Puntos a considerar en el taller de concienciación ambiental

<i>Situación Actual</i>	<i>Situación Deseable</i>
<i>Los contaminantes se controlan con filtros y técnicas de tratamiento de residuos “al final de la tubería”</i>	<i>Los contaminantes se previenen desde su origen mediante medidas integrales.</i>
<i>La contaminación se evalúa y controla cuando los procesos y productos ya han sido desarrollados y después que aparecen los problemas.</i>	<i>La prevención de la contaminación es una parte integral del desarrollo de los productos y procesos.</i>
<i>Los controles de la contaminación y las mejoras ambientales se consideran siempre factores de costo para la empresa.</i>	<i>Contaminantes y residuos se consideran recursos que pueden transformarse en productos y subproductos útiles, al no ser peligrosos.</i>
<i>Los retos ambientales son responsabilidad de expertos en ingeniería ambiental o gestores de residuos peligrosos.</i>	<i>Los retos ambientales son responsabilidad de todas las personas de la empresa, incluyendo trabajadores, ingenieros de proceso o diseñadores de los productos.</i>
<i>Las mejoras ambientales han de conseguirse mediante tecnología.</i>	<i>Las mejoras ambientales incluyen iniciativas técnicas y no técnicas.</i>
<i>Las medidas de mejoramiento ambiental deben cumplir con las normas establecidas por las autoridades.</i>	<i>Las medidas de mejoramiento ambiental deben ser un proceso de trabajo continuo para conseguir mejores estándares.</i>
<i>La calidad se define como la satisfacción de los requerimientos de los clientes.</i>	<i>Calidad total significa la producción de bienes que satisfacen las necesidades de los clientes y que tienen impactos mínimos sobre la salud humana y el medio ambiente.</i>

- *La identificación y cuantificación de los logros obtenidos, permitirán saber donde se encuentran los puntos de mejora de este plan de acción y aquellos en los cuales fue eficiente y eficaz.*
- *El seguimiento y control de las actividades contribuye a verificar si el personal esta cumpliendo con las tareas asignadas para la adecuación de la planta.*
- *Finalmente, después de haber creado una cultura y una conciencia ambiental a todo el personal de la planta, se pueden desarrollar las opciones de reducción y/o tratamiento de residuos a largo plazo.*

A continuación se presenta el Plan de Acción a seguir para lograr la adecuación de la planta y la certificación de las normas ISO 14.000.

Tabla N° 36: Plan de acción para la adecuación de la planta y la certificación

Preparación del Personal			
Actividad	Duración	Inversión	Resultados esperados
<i>Objetivos y metas ambientales.</i>	2 semanas	No se requiere	Lograr el planteamiento de objetivos específicos y metas medibles.
<i>Talleres de concienciación ambiental y buenas prácticas de los procedimientos de operación.</i>	2 meses	30.000.000	Crear la debida cultura y conciencia ambiental a todo el personal de la planta.
<i>Campañas publicitarias.</i>	2 meses	Bs.	Mantener al personal informado de las actividades que se están llevando a cabo en la planta.
<i>Identificación y cuantificación de los logros obtenidos.</i>	5 meses	No se requiere	Localizar los puntos de mejora y los puntos eficientes y eficaces.

Continúa

Tabla N° 36: Plan de acción para la adecuación de la planta y la certificación ISO 14.000 (Continuación).

Implementación de las medidas obvias de reducción de residuos.			
Actividad	Duración	Inversión	Resultados esperados
Buenas prácticas de los procedimientos de operación	El tiempo que dure activa la empresa.	No se requiere	Ahorro en los costos de 4.184.000,00 Bs/año por la reducción del 99% de las pérdidas por arrastre en las operaciones de decapado, lavado y flux. Un proceso productivo más limpio y seguro.
Uso de inhibidores de decapado.	El tiempo que dure activa la empresa.	695.586,00 Bs/año	Ahorro en los costos de 23.468.466,00 Bs/año por la reducción del consumo de HCl virgen y de la generación de HCl exhausto en un 50%
Reparación y mantenimiento de las grúas.	Depende de la magnitud de la reparación.	No cuantificada	Ahorro en los costos de 46.084,46 Bs/año por la reducción del consumo de agua en el galpón de galvanizado. Disminuye el riesgo de ocurrencia de un accidente laboral.
Minimización del aporte de óxidos de hierro al decapado.	El tiempo que dure activa la empresa.	No se requiere	Reducir la producción de HCl exhausto.
Jornadas de limpieza y mantenimiento por áreas de trabajo.	El tiempo que dure activa la empresa.	No se requiere	Áreas de trabajo limpias y seguras, mejor control de las actividades.
Identificación y cuantificación de los logros obtenidos.	El tiempo que dure activa la empresa.	No se requiere	Localizar los puntos de mejora y los puntos eficientes y eficaces.
Seguimiento y control de las actividades.	El tiempo que dure activa la empresa.	No se requiere	Verificar el correcto desarrollo de las actividades.

Continúa

Tabla N° 36: Plan de acción para la adecuación de la planta y la certificación ISO 14.000 (Continuación).

<i>Desarrollo de opciones de reducción y/o tratamiento de residuos a largo plazo</i>			
<i>Actividad</i>	<i>Duración</i>	<i>Inversión</i>	<i>Resultados esperados</i>
<i>Regeneración del ácido de decapado exhausto por separación al vacío</i>	<i>El tiempo que dure activa la empresa.</i>	<i>2.783.275,00 Bs/tanque</i>	<i>Reducción en un 100% del impacto ambiental y la extracción del ácido exhausto</i>
<i>Instalación de una campana de extracción de gases en el decapado.</i>	<i>1 año</i>	<i>No cuantificada</i>	<i>Reducción en las emisiones en un 100% y de los costos de mantenimiento de la planta.</i>
<i>Instalación de un sistema automatizado para la regeneración de flux.</i>	<i>3 años</i>	<i>No cuantificada</i>	<i>Reducción en un 30% la extracción de matas. Reducción del consumo de zinc en 3 Kg/T de piezas galvanizadas. Reduce los rechazos por mala calidad del galvanizado.</i>
<i>Instalación de una mampara con filtros de manga en el baño de zinc</i>	<i>4 años</i>	<i>No cuantificada</i>	<i>Reducción de las emisiones, polvos y cenizas de zinc.</i>
<i>Instalación de una campana a la lingotera de recolección de cenizas</i>	<i>1 semana</i>	<i>-----</i>	<i>Reducción de las emisiones, mejoras en la higiene ocupacional de los operadores.</i>

Continúa

Tabla N° 36: Plan de acción para la adecuación de la planta y la certificación ISO 14.000 (Continuación).

Desarrollo de opciones de reducción y/o tratamiento de residuos a largo plazo			
Actividad	Duración	Inversión	Resultados esperados
<i>Evaluación exhaustiva y optimización del secado</i>	<i>1 año</i>	<i>No cuantificada</i>	<i>Aumentar la eficiencia de esta operación, reducción de las salpicaduras de zinc.</i>
<i>Regeneración del ácido de quemado exhausto por separación al vacío.</i>	<i>El tiempo que dure activa la empresa.</i>	<i>1.881.312,50 Bs/tanque para el tanque grande y 771.000,00 Bs/tanque para el tanque pequeño</i>	<i>Reducción del 100% del impacto ambiental, reutilización del ácido.</i>
<i>Instalación de una campana de extracción de gases en el quemado.</i>	<i>1 año</i>	<i>No cuantificada</i>	<i>Reducción en las emisiones en un 100% y de los costos de mantenimiento de la planta.</i>
<i>Destrucción térmica por agentes externos.</i>	<i>2 años</i>	<i>61.083.880,00 Bs</i>	<i>Eliminación de los lodos existentes en la planta</i>
<i>Identificación y cuantificación de los logros obtenidos.</i>	<i>El tiempo que dure activa la empresa.</i>	<i>No se requiere</i>	<i>Localizar los puntos de mejora y los puntos eficientes y eficaces.</i>
<i>Seguimiento y control de las actividades.</i>	<i>El tiempo que dure activa la empresa.</i>	<i>No se requiere</i>	<i>Verificar el correcto desarrollo de las actividades.</i>

VIII.- CONCLUSIONES

Para un mejor enfoque de las conclusiones que se establecen con la realización de este Trabajo Especial de Grado, las mismas serán presentadas para cada una de las fases de la auditoría.

VIII.1.- PREEVALUACIÓN

- *El área de acción para el desarrollo de la auditoría de residuos es el galpón de galvanizado, teniendo como objetivo una minimización global de los residuos que allí se generan.*
- *Partiendo del plan de trabajo establecido en la orientación y preparación de la auditoría se obtiene la información suficiente para la elaboración del diagrama de flujo y la descripción del proceso.*

VIII.2.- BALANCE DE MATERIALES

- *El proceso de galvanizado tiene un consumo actual en ácido clorhídrico al 30 % de 108,60 Kg/T de piezas galvanizadas, en agua de 3,2367 m³/T de piezas galvanizadas, en flux de 5,68 Kg/T de piezas galvanizadas y en zinc de 88,58 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *El mayor consumo de zinc se presenta en las piezas en una cantidad que asciende a los 60 Kg/T de piezas galvanizadas.*
- *Se generan 75,67 Kg/T de piezas galvanizadas de ácido exhausto proveniente del decapado y 42,04 Kg/T de piezas galvanizadas de ácido exhausto en el quemado.*

- *Las pérdidas por arrastre en ácido clorhídrico ascienden a 0,48 Kg/T de piezas galvanizadas, en agua 0,0007 m³/T de piezas galvanizadas y en flux 0,8470 Kg/T de piezas galvanizadas.*

VIII.4.- DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE PROPUESTAS

- *Con la buena práctica de los procedimientos de operación se logra un ahorro en los costos de 4.184.000,00 Bs/año.*
- *El empleo de un inhibidor en el decapado reduce el consumo de ácido clorhídrico, obteniendo un ahorro en los costos de 23.468.466,00 Bs/año, con una inversión anual de 695.586,00 Bs, para la adquisición del inhibidor.*
- *Las emisiones de ácido clorhídrico de la zona de decapado y las emisiones de plomo en la zona de galvanizado exceden los niveles permisibles exigidos por la norma Covenin N 2253-97.*
- *Los lodos generados en la planta, se clasifican como desechos peligrosos según el Decreto N 2635 de la normativa ambiental vigente.*
- *La opción más conveniente para la gestión final del ácido clorhídrico exhausto (tanto en el dacapado como en el quemado) es la regeneración por separación al vacío.*
- *La mejor alternativa para reducir los niveles de ácido clorhídrico en el ambiente de trabajo es instalar un sistema de campanas de extracción de gases en las operaciones de decapado y de quemado.*

- *La instalación de un sistema automatizado de regeneración interna de flux representa aspectos muy ventajosos, como lo son la reducción de matas, mantiene constante las condiciones de operación del flux, disminuye la cantidad de piezas galvanizadas con problemas de calidad y reduce el consumo de HCl en el quemado.*
- *La colocación de una mampara con filtros de manga reduce la generación de cenizas y a su vez controla las emisiones tóxicas y corrosivas de esta operación.*
- *La implementación de una campana para las lingoteras de recolección de las cenizas, permitirá la reducción de los niveles de plomo en el ambiente de trabajo.*
- *La operación del secado no es eficiente ya que la cuarta parte del equipo no funciona.*
- *La opción más conveniente para la disposición final de los lodos es contratar el servicio de destrucción térmica controlada con una empresa que esté debidamente registrada en el Ministerio de Ambiente.*

VIII.5.- DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE ACCIÓN

El primer paso a seguir para lograr solucionar los problemas ambientales que presenta ABB, antes de someterse a un régimen de adecuación a la normativa ambiental vigente, es impartir talleres de concienciación ambiental a todo el personal de la planta.

IX.- RECOMENDACIONES

A continuación se presentan una serie de recomendaciones con el fin de mejorar los resultados obtenidos en el presente estudio.

- Informar al personal calificado de la planta la situación actual, a fin de tomar las precauciones necesarias y facilitar la toma de decisiones sobre acciones correctivas.*
- Promover la participación activa de la gerencia de la planta con el fin de comprometer a todo el personal empleado y obrero con la nueva gestión ambiental.*
- Realizar un estudio de higiene y salud ocupacional a fin de minimizar los riesgos a los cuales son expuestos los empleados y el personal obrero.*
- Realizar excavaciones adicionales de profundidades mayores a los 10 m en el galpón de galvanizado, con la finalidad de determinar la magnitud de la afectación de los suelos y los cuerpos de aguas cercanos.*
- Evaluar y optimizar la operación de secado para reducir las salpicaduras de zinc.*
- Estudiar la factibilidad económica de las opciones técnicas propuestas como solución al problema ambiental, determinando los diferentes indicadores económicos .*

- *Acondicionar las diferentes áreas y almacenes para poder cumplir con los procedimientos de contingencia establecidos.*

- *Realizar un programa de monitoreo de emisiones, efluentes y residuos generados en el proceso.*

X.- BIBLIOGRAFÍA

1. ZACLON. *Galvanizing Handbook*. sf.
2. SURADEM. *Manual de Planta -Proceso de Galvanizado en Caliente*. sf.
3. ASOCIACIÓN EUROPEA DE GALVANIZACIÓN GENERAL. *Galvanización en Caliente. Nota Informativa Nª 1*. sf.
4. CONSEJO INTERAMERICANO DE SEGURIDAD. *Noticias de Seguridad, Tomo 58 Nª 2, 1996*.
5. ONU-*Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales, Publicación de las Naciones Unidas, 1994, 115p*.
6. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Steel Pickling*. 1998.
7. NEMEROW, Nelson. *Liquid Waste of Industry*. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1968.
8. *NORMATIVA AMBIENTAL VENEZOLANA. Agenda 21 Consultores Ambientales, Versión NAV 2001*.
9. *NORMA VENEZOLANA, Serie COVENIN-ISO 14000, 1996*.
10. *Página Web de la EPA: <http://www.EPA.gov>*.

11. *Página Web de PNUD: <http://www.UNEP.org/unep>.*
12. *IHOBE. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. sf.*
13. *FREEMAN, Harry. Manual de prevención de la contaminación industrial McGraw-Hill. Mexico, 1988.*
14. *NEMEROW, Nelson y DASGUPTA, Avijit. Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Diaz de Santos. IE3 Ingeniería Medioambiental. sf.*
15. *MINER Y FUNDACIÓN ENTORNO. Guías tecnológicas. Epígrafe 2.3.c. sf.*
16. *AMBIOCONSULT. Informe Técnico “Inspección Ambiental realizada a ABB Planta Yare”. Caracas. 2001.*

XI.- ANEXO

A continuación se presenta el formato del sistema de registro, utilizado para la recopilación de datos de nivel de los tanques del proceso de galvanización.

SISTEMA DE REGISTRO DE NIVELES

Fecha: _____

Turno: _____

	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes		
	S_{h_0} (m)	a_{h_f} (m)	Obs.												
Decapado 1															
Decapado 2															
Lavado 1															
Lavado 2															
Flux															
Enfriamiento															
Quemado grande															
Quemado pequeño															

S_{h_0} : Nivel inicial

a_{h_f} : Nivel final