

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
INDUSTRIALES EN EL PROCESO DE GALVANIZADO**

Monografía

DIRECTOR MONOGRAFIA: ING. EDUARDO MORA SABOYA

PRESENTADA POR:

**LUIS CARLOS CASTAÑEDA GALVIS
LIBARDO MONTEALEGRE MURCIA**

BOGOTA, OCTUBRE DE 2003

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
LA GALVANOPLASTIA	3
TIPOS DE RESIDUOS MAS IMPORTANTES QUE SE GENERAN EN EL GALVANIZADO	7
EL GALVANIZADO EN LA PLANTA XYZ	10
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	11
ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN EL VERTI - MIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES	13
CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUS - TRIALES DE LA PLANTA DE LA EMPRESA XYZ	14
PROCESO ACTUAL PARA REALIZAR LA NEUTRALZACION DEL AFLUENTE	16
RECOMENDACIONES PARA USO EFICIENTE DEL AGUA	18
ZONA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL Y GALVANIZADO	18
EXTERNAMIDADES NEGATIVAS GENERADAS POR EL VERTIMIENTO CONTAMINADO	19
PROPUESTA DE PLAN DE ACCION PARA EL MANEJO ADECUADO DEL VERTIMIENTO	20
TRATAMIENTO FINAL DEL AFLUENTE	21
AHORROS ASOCIADOS CON UN MANEJO EFICIENTE DEL AGUA	23
COTIZACION DEL ALCANTARILLADO	24
VALORACION ECONOMICA DE LA PROPUESTA	24
ANALISIS DE SENSIBILIDAD	29
CONCLUSIONES	29
LITERATURA CONSULTADA	31

ANEXOS

ANEXO 1 – DISTRIBUCION DE PLANTA EMPRESA XYZ

ANEXO 2 – REDISEÑO DEL TANQUE DE NEUTRALIZACION
EXISTENTE

DISEÑO DE UN SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN EL PROCESO DE GALVANIZADO

RESUMEN

La industria del galvanizado en sus procesos para el recubrimiento de piezas metálicas o plásticas con procesos electrolíticos o químicos utiliza químicos y agua en cantidades que varían dependiendo del tamaño de la empresa y el tipo de proceso utilizado .

En este documento se presentan los resultados de una investigación que busca minimizar los costos de uso del agua en una empresa de galvanizados , con el diseño de un Plan de Acción para el tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso que garantice que las aguas vertidas cumplen con los establecido por el Decreto 1594 de 1984 , ofreciendo opciones de ahorro que pueden permitir a la Compañía mitigar el impacto causado al alcantarillado local por no tratar sus vertimientos, con resultados financieros evaluables con tasas internas de retorno de 6% a 21% dependiendo del valor de la inversión en el alcantarillado.¹

¹ Los autores expresan su agradecimiento al Ing. Eduardo Mora , Director de la Monografía y al Ing. Jorge Ruiz, Asesor en el proceso investigativo , por sus comentarios y guía , durante el trabajo realizado. También expresan su agradecimiento a la Empresa XYZ, que por razones de solicitud expresa de confidencialidad por parte de la misma no se menciona con nombre propio , por la cooperación y confianza hacia los investigadores quienes tuvieron acceso a los procesos e información que permitieron la formulación del Plan de Acción que en principio ha sido acogido en su totalidad por la Empresa XYZ y que se encuentra en ejecución.

INTRODUCCION

Con el fin de hacer un ejercicio en tiempo real de diseño de un sistema que ofrezca alternativas de producción mas limpia, auto sostenibles financieramente, se obtuvo el permiso de la Empresa XYZ para hacer monitoreo y seguimiento a los procesos de pretratamiento y tratamiento de galvanizado en su planta.

Una primera aproximación a la línea de producción permitió establecer rápidamente que una de las áreas donde se puede mejorar de manera efectiva en el corto plazo el proceso productivo encaminándolo dentro del concepto de producción mas limpia es en el uso del agua.

La reducción en los costos de facturación del agua utilizada para el proceso industrial, el adecuado tratamiento de la misma antes de su vertimiento y la demostración que es posible obtener un efectivo ahorro con buenas practicas de operación y manejo del recurso, son los objetivos de este trabajo que se presenta como un principio de guía de manejo ambiental para la Empresa XYZ en el subsector de la galvanoplastia pero que puede se aplicada en cualquiera de las empresas del subsector.

El documento se inicia con una aproximación a los procesos que se cumplen en el galvanizado de una pieza, para luego analizar los procesos que se cumplen actualmente en la planta de la Empresa XYZ.

A partir de esa visión conceptual, de pruebas realizadas en campo, y de un análisis de las externalidades negativas encontradas por el vertimiento de las aguas industriales fuera de norma al alcantarillado local, se propone un Plan de Acción, que ya empezó a ser implementado por la Empresa XYZ, que es soportado con una análisis financiero que valora económicamente la solución ambiental que se propone.

LA GALVANOPLASTIA

La galvanoplastia es un método de recubrimiento metálico de piezas que puede hacerse por medios electrolíticos o químicos.

En el recubrimiento, sea este electrolítico o químico se depositan finas capas de metal sobre la superficie de una pieza sumergida en una solución de agua con iones metálicos o electrolito, al conectar esta solución a una fuente externa de corriente directa. Las capas formadas generalmente son de un espesor entre 1 y 100 μm . El metal que constituye la capa se encuentra en el electrolito en forma de iones.

Los métodos de recubrimiento sin corriente externa o químicos, se basan en procesos de oxidación o reducción como en la galvanización de plásticos. (Comisión Ambiental Metropolitana, México . 1998)

Proceso previo al galvanizado

Antes que se deposite la capa metálica, la superficie a cubrir debe estar libre de impurezas, tales como grasa y óxidos. Para ello, se aplican procedimientos de preparación como el pretratamiento mecánico de las superficies (pulido) y los métodos químicos de pretratamiento de superficies: el desengrasado mediante limpiadores alcalinos, hidrocarburos clorados, o por vía electrolítica; así como el decapado.

Hay cuatro métodos típicos de limpieza previos al recubrimiento electrolítico, entre los cuales se encuentran los métodos mecánicos y químicos. La selección del método más adecuado dependerá del tipo y tamaño de la pieza, del grado de remoción de impurezas deseado y de la tecnología disponible. Estos métodos se describen a continuación:

Los métodos mecánicos

Son principalmente el esmerilado y pulido. En este método al eliminar las asperezas o deformaciones superficiales y los ensuciamientos gruesos, se generan grandes cantidades de residuos de pulido.

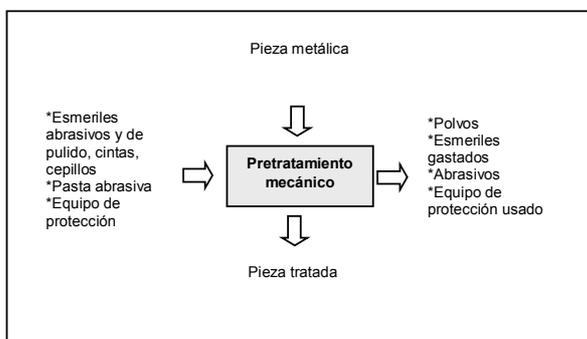


Diagrama de balance de materiales en el tratamiento mecánico

Tomado de Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el giro de la Galvanoplastia

Desengrase

En la limpieza de las piezas se emplean grasas, aceites, emulsiones de corte y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes. A menudo también se engrasan las piezas como protección anticorrosiva temporal. El desengrase puede efectuarse básicamente de dos formas: con solventes orgánicos o en soluciones acuosas alcalinas o ácidas con poder emulsificador.

Actualmente se ha prohibido el uso de algunos solventes orgánicos por el riesgo que estos implican para la salud laboral y el medio ambiente (1,1,1-tricloroetano). Los solventes que actualmente se siguen empleando son el tricloroetileno, el percloroetileno y el cloruro de metilo. Estos solventes generalmente se usan como desengrasantes de piezas con mucha grasa

o aceite adherido. Sin embargo por sus características tóxicas su uso debe ser limitado a casos en los que por razones técnicas sea inevitable el empleo de solventes halogenados.

Decapado

El contacto entre la atmósfera y las piezas metálicas provoca la formación de capas de óxido, que tienen que ser eliminadas antes del recubrimiento electrolítico. El **decapado con ácido** se utiliza para eliminar impurezas y óxidos a través de un ataque químico, el cual frecuentemente se aplica después de un lavado alcalino. Se utilizan diferentes ácidos, solos o mezclados, entre ellos se encuentran el ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico y ácido fosfórico con concentraciones de entre 2 y 85%, dependiendo del metal y el grado de limpieza requerida. El decapado mediante ácidos se realiza normalmente a temperaturas de 20 - 80°C. El decapado se aplica siempre a continuación de una la limpieza electrolítica para mejorar la calidad de la superficie.

El **decapado alcalino** también se emplea para remover herrumbre y óxido. La solución generalmente consiste de sosa cáustica con aditivos tales como detergentes y agentes quelantes.

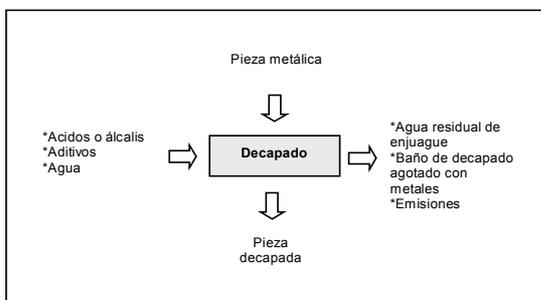


Diagrama de balance de materiales en la operación de decapado

Tomado de Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el giro de la Galvanoplastia

Activado

El proceso de activado, también llamado neutralizado e inclusive decapado suave, se utiliza para eliminar la pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie del metal una vez que la superficie ha sido tratada o lavada en sucesivas etapas. Esa pequeña capa de óxido hace que la superficie sea pasiva y por lo tanto mal conductora. Las soluciones empleadas son por lo

general ácidos muy diluidos. Los activados permiten asimismo eliminar manchas generadas por compuestos orgánicos y/o inorgánicos.

Una vez se ha concluido el procedimiento de limpieza de la pieza se procede a hacer el recubrimiento metálico que como se explico antes pude realizar con un método electrolitito o químico. (Alzate, 2000).

Proceso de galvanización por medio de Recubrimientos electrolíticos

Un baño de recubrimiento electrolítico consiste de un ánodo y un cátodo en un electrolito, que normalmente es una solución hídrica de la sal del metal que se pretende aplicar. En el electrolito, el metal está presente en forma de iones, el flujo de electrones es proporcionado por una fuente externa de corriente directa. La pieza a recubrir se convierte en cátodo donde se lleva a cabo la reducción de los iones a metal. El ánodo consiste de un conductor inerte (por ejemplo, platino o grafito) o bien del metal con el que se recubrirá. La oxidación se lleva a cabo en el ánodo formando oxígeno y cuando fluye la corriente, el ánodo del metal con el que se va a recubrir se disuelve. El espesor de la capa del recubrimiento depende del tiempo de permanencia en el baño electrolítico. La capa puede alcanzar un espesor de hasta 100µm, sin embargo, son mucho más frecuentes las capas más delgadas.

Los baños de recubrimiento electrolítico se dividen en baños ácidos y alcalinos. Los baños ácidos contienen sulfatos, cloruros, fluoroboratos y sulfamatos de los metales a depositar. Los baños alcalinos se componen sobre la base de complejos de hidróxidos o cianuros. Generalmente, la composición exacta de los baños y químicos comerciales es secreta, pero las funciones generales de las diferentes componentes se conocen bien.

Estos procesos dependiendo del material que se utilice para el revestimiento son mas conocidos como Cobrizado, Cromado, Estañado, Latonado, Niquelado, y Anodizado.

TIPOS DE RESIDUOS MÁS IMPORTANTES QUE SE GENERAN EN EL GALVANIZADO

Procedencia de los residuos

A continuación se listan los residuos generados en cada proceso .En común con otras industrias, en las empresas de galvanoplastia también se generan múltiples residuos en el tratamiento de las aguas residuales.

Residuos identificados en las distintas áreas del proceso en la industria de galvanoplastia

ÁREA / PROCESO	RESIDUOS
Almacén	<ul style="list-style-type: none"> • Bidones de plástico • Cajas de cartón, • Contenedores metálicos de sales de metales pesados • Envases y tambos vacíos usados en el manejo de materiales y residuos peligrosos
Pretratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Alambre de cobre • Lodos de limpieza con percloroetileno • Soluciones alcalinas en operaciones de desengrasado. • Solventes halogenados en operaciones de desengrasado
Pulido	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillos gastados • Polvo de hidróxido de níquel • Polvos de acero mezclados con zinc • Rebaba de acero • Rebaba de aluminio • Rebaba de latón • Sobrantes de pasta de pulido
Proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Aluminato de sodio • Chatarra metálica • Lodos de cianuro de sodio y cianuro de cobre • Lodos de galvanizado • Lodos de hidróxido de aluminio • Lodos del baño de cromo • Residuos de la producción en general • Residuos de pintura epóxica • Sedimentos del cobrizado • Soluciones gastadas provenientes del cromado • Soluciones gastadas y residuos provenientes del niquelado • Soluciones gastadas y sedimentos de los baños de cianuro

ÁREA / PROCESO	RESIDUOS
	de las operaciones de galvanoplastia
	<ul style="list-style-type: none"> • Soluciones gastadas y sedimentos del anodizado • Soluciones gastadas y sedimentos del zincado • Tierras de recuperación (cenizas)
Laboratorio de pruebas analíticas	<ul style="list-style-type: none"> • Soluciones residuales de las determinaciones analíticas del laboratorio de control de calidad • Envases y tambos vacíos usados en el manejo de materiales y residuos peligrosos (material de empaque de reactivos químicos)
Tratamiento de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual del proceso de desrebabeo por vibrado • Carbón activado saturado • Efluente de las soluciones residuales del laboratorio de control de calidad • Efluente de los enjuagues ácidos-alcalinos • Efluente de los enjuagues del cromatizado • Efluente de los enjuagues del galvanizado • Efluente de los enjuagues del niquelado • Filtros desechados
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite lubricante gastado • Aceite soluble refrigerante gastado • Aserrín impregnado con gasolina blanca • Equipo de seguridad gastado • Estopas y franelas • Filtros desechados • Lodos de aceite lubricante gastado
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Basura municipal mezclada con material de empaque de materia prima • Bolsas de polipropileno • Residuos sólidos municipales

(Comisión Ambiental Metropolitana, México. 1998)

EL GALVANIZADO EN LA PLANTA XYZ

El proceso de galvanizado en la empresa es de tipo electrolítico y para ello cuenta con un local donde están instalados los diferentes equipos necesarios para cada una de las ocho etapas en las cuales se encuentra dividido el proceso. En el plano anexo se puede visualizar la secuencia de etapas para la realización del proceso. (Plano No 1).

El proceso se inicia en la zona denominada de alimentación, donde se encuentran 20 canastillas dispuestas en dos filas y denominadas “spiders” que deberán contener igual número de rollos de alambre, dichos rollos provienen de las máquinas de trefilación; de cada una de éstas canastillas sale un hilo de alambre que se hace pasar por el horno de recocido continuo, el cuál esta compuesto por 10 tubos que atraviesan 3 secciones de calentamiento; por cada tubo pasan 2 alambres y soportan una temperatura promedio de 700 ° C con el fin de ser recocidos y así disminuir su resistencia a la carga. El horno tiene una longitud de 15 metros de largo y es operado automáticamente.

Después del horno, los 20 hilos de alambre pasan a una tercera sección denominada “Decapado”, consistente en un tanque de 9 metros de largo, 1 metro de ancho y 0.60 metros de alto que contiene ácido sulfúrico disuelto en agua en una proporción del 18 % en peso de ácido; éste tanque posee un sistema de calentamiento representado en un serpentín por el cual pasa vapor de agua y que permite mantener la temperatura de trabajo entre 65 y 75 ° C, además cuenta con una campana extractora construida en fibra de vidrio.

Posterior al decapado está el tanque de enjuague que con unas dimensiones de 2.5 metros de largo, 0.95 metros de ancho y 0.24 metros de alto, opera a temperatura ambiente y sirve para retirar el ácido del alambre preparándolo para el proceso de zincado; la agitación en el tanque se obtiene gracias a la recirculación permanente del agua que entra a presión por medio de tubos perforados que están ubicados perpendicularmente a la línea de avance del alambre.

La quinta sección corresponde al proceso de galvanizado propiamente dicho, esta conformada por tres tanques dispuestos en serie que contienen la solución electrolítica, los ánodos de zinc y las barras de cobre que convierten el alambre en el cátodo. La

solución electrolítica es preparada con 160 kg sulfato de zinc, 4 kg de ácido bórico, 1 kg de cloruro de sodio y agua; los ánodos son placas de zinc que reposan en el fondo del tanque. La corriente que fluye entre los electrodos está entre 2000 y 2600 amperios con un voltaje comprendido entre 8 y 11 voltios, la temperatura permanece alrededor de 50 ° C; cada tanque tiene un tamaño de 3 metros de largo, 0.95 metros de ancho y 0.24 metros de alto. Terminada ésta etapa, el alambre pasa por un segundo enjuague que posee características de operación similares a las del primero, y luego a la sección de secado, constituida por un horno de 3 metros de largo, 1 metro de ancho y 0.23 metros de alto, que retira el agua del alambre y que opera a una temperatura superior a la de ebullición del agua.

La octava sección es la llamada sección de enrollado, en la cual, gracias a un gran motor eléctrico de velocidad variable, 20 carretes giran, envolviendo sobre sí los 20 hilos de alambre ya galvanizados. La velocidad de giro que se establezca en el motor y que puede ir desde 9 hasta 18 metros por minuto, determinará el tiempo de residencia del alambre en cada sección del proceso.

El alambre en este punto, se amarra y se baja de los carretes para ser vendido o utilizado en otros procesos de la empresa para la fabricación de alambre de púas o grapas.

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.

Los procesos de tratamiento superficial que se aplican en la empresa XYZ tienen que ver con 3 tipos diferentes de alambres:

Alambre Recocidos:

Proviene de un horno de recocido y después del tratamiento superficial, pasan a trefilación y se venden para ser utilizados en la fabricación de tortillería en general y parrillas.

Alambres brillantes:

Se toma el material proveniente de trefilación, y después de su tratamiento pasa nuevamente a trefilación, su uso final es principalmente la fabricación de parrillas y usos industriales.

Alambres Galvanizados:

Este alambre proviene de material devuelto por diferentes motivos (mal galvanizado, oxidado, etc.) y el objetivo del tratamiento superficial es decaparlo para reprocesarlo .

La Zona de Tratamientos Superficiales (ZTS) de la Planta XYZ, está conformada por tanques dispuestos en fila así:

El primer tanque es el de desengrase, contiene aproximadamente 1500 litros de una solución de agua y 100 kg de un químico desengrasante llamado “Gardoclean st”, el material a tratar entra aquí y permanece aproximadamente 5 minutos, manteniéndose una temperatura de solución entre 65 y 85 ° C; en este tanque se quitan los residuos de grasa y lubricante que generalmente traen los alambres que se tratan en ésta zona.

El segundo tanque es un tanque de enjuague de desengrase que tiene una capacidad de 1500 litros, contiene agua limpia a temperatura ambiente.

Los tanques números tres y cuatro, son denominados tanques de decapado, contienen ácido sulfúrico diluido en agua, con capacidad de 2500 litros; el tiempo de residencia en ellos, oscila entre 1 y 3 minutos, a una temperatura de 50 – 60 ° C. La función de éstos tanques es la de preparar la superficie del alambre despojándola de óxidos y demás elementos que puedan interferir desfavorablemente en los procesos posteriores

Los tanques cinco y siete son tanques de enjuague de los tanques cuatro y seis respectivamente y tienen características similares a las del segundo tanque, ya que operan a temperatura ambiente utilizando agua limpia.

El sexto tanque es el de fosfatado, contiene 90 kilogramos de “Gardobond zq” mas 250 gramos de nitrito de sodio disueltos en 1500 litros de agua. El alambre permanece en este tanque de 5 a 10 minutos, y la temperatura de operación esta entre 60 y 70 ° C; el

alambre que entra en éste tanque se recubre de una capa de fosfato útil para procesos posteriores como la deformación en frío.

Por último se tiene el tanque de boraxado que utiliza 250 kilogramos de bórax disueltos en agua, el tanque tiene una capacidad de 1500 litros; el tiempo de permanencia del alambre en éste tanque es de 1 a 2 minutos y la temperatura de trabajo está entre 70 y 90 °C.

Los tanques 1, 3, 4, 6, 8, están provistos de serpentines que permiten calentar las soluciones que contienen.

Las aguas de los tanques de enjuague se cambian 4 veces diariamente y son enviadas al tanque de neutralización.

ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS EN EL VERTIMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

Luego del proceso de neutralización que se cumple en el último tanque, la Empresa XYZ, vierte estas aguas al alcantarillado urbano, vertimientos que al no cumplir con lo establecido en el Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 , sobre disposición de aguas industriales, se convierten en el aspecto ambiental más significativo que se identifica en el proceso productivo.

Otro aspecto significativo es el uso de productos químicos para realiza los procesos de galvanización y tratamientos superficiales. Las cantidades de solución perdidas en el proceso de enjuague pueden alcanzar valores importantes que la Empresa XYZ parece no haber cuantificado, aspecto que podría ser mejorado haciendo seguimiento a las concentraciones de los químicos como también en la eficacia de los tiempos de residencia de la pieza en los tanques de enjuague, y uso de opciones alternativas como el lavado mediante equipos que permitan un enjuague a presión (Spray – hidrolavadores) .(CNPML,2001) .Sin embargo este tema no es objeto de este análisis y puede ser retomado como línea de investigación en posteriores estudios.

CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE LA PLANTA DE LA EMPRESA XYZ

En la última caracterización de la salida de las aguas residuales industriales, realizada en Abril de 2003 , se obtuvieron los siguientes resultados

CARACTERIZACION DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Parámetro	Unidades	Resultado
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	20
Sólidos Totales	mg/l	6603
Sólidos suspendidos totales	mg/l	499
Grasas y Aceites	mg/l	Nd
Demanda Química e Oxígeno	mg/l	209
Hierro	mmol/m3	28500
Zinc	mg/l	9,5
Detergentes	mg/l	1
Ph		4,1
Sulfatos	mg/l	3720

Comparando estos resultados con la normatividad establecida en el Decreto 1594 de 1984, se encontró lo siguiente:

Parámetro	Unidades	Entrada Tanque Neutralización	a Salida de Tanque Neutralización	del de Decreto 1594/84	Cumple
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	59	20	Remoción > o = 20% en carga	Cumple No existe estándar
Sólidos Totales	mg/l	9287	6603		
Sólidos suspendidos Totales	mg/l	292	499	Remoción > o = 50% en carga	No cumple
Grasas y Aceites	mg/l	6,7	nd		Cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	393	209	Remoción > o = 20% en carga	Cumple
Hierro	mmol/m3	43500	28500		No existe estándar
Zinc	mg/l	7,5	9,5		No existe estándar
Detergentes	mg/l	0,9	1	0,5	No cumple

Ph		2,1	4,1	5 - 9 Unidades	No cumple
Sulfatos	mg/l	8222	3720		No existe estándar
Punto 1	Entrada tanque actual de neutralización				
Punto 2	Salida tanque de neutralización				

Con esta comparación se confirma que las aguas residuales industriales de la Empresa XYZ, se constituyen en el aspecto ambiental más significativo por los impactos generados en la entrega de estas aguas al alcantarillado local.

Los parámetros que no cumplen con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 son:

Sólidos Suspendidos totales

La norma indica que la remoción debe ser mayor o igual al 50% de la carga que entra, lo que resultaría en un vertimiento menor o igual a 146 mg/l. En el resultado de la caracterización se observa una salida de 499 mg/l lo que representa un aumento del 158% en los SST. Esto se explica por la presencia de partículas en suspensión generadas por la cal que se agrega en el proceso de neutralización del afluente.

Detergentes

El resultado de la caracterización es de 1 mg/l, la norma establece que el vertimiento debe contener un máximo de 0,5 mg/l.

Potencial de Hidrógeno (PH)

El PH del efluente es de 4,1 unidades de acuerdo con la caracterización realizada, que se encuentra fuera del parámetro establecido por el D. 1594/84, que es de 5,0 a 9,0 unidades.

Para los siguientes parámetros no hay estándar establecido en la Normatividad Colombiana. Investigando normas internacionales, se encontró que para estos contaminantes los estándares permisibles son los siguientes:

Zinc

Se encuentra que para los procesos industriales de recubrimiento de metales existe en el Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos un límite de presencia de Zinc permisible en los efluentes de 2,61 mg/l para un día y de 1.48 mg/l para el promedio mensual. La empresa XYZ, registra un promedio de 9,5 mg/l para un día. (EPA, 2003)

Hierro

No existe ninguna regulación nacional ni internacional referente a estándares establecidos para el vertimiento de este contaminante.

Sulfatos

En Dinamarca la norma estipula un límite máximo de 500 mg de sulfatos por litro de agua vertida. En Suecia y Lituania la norma establece un máximo de 300 mg/l y en España se establece un máximo de 1500 mg/l. El vertimiento de la Empresa XYZ es de 3720 mg/l. (DANCEE and the Ministry of Environment of Lituan, 2002).

PROCESO ACTUAL PARA REALIZAR LA NEUTRALIZACIÓN DEL AFLUENTE

Analizando el proceso se observa que las mayores cantidades de agua enviadas al tanque de neutralización provienen de los procesos de enjuague, de la Zona de Tratamiento Superficial y del proceso de Galvanizado.

La generación de aguas por cada uno de estos procesos es:

Zona de Tratamiento Superficial: 4500 Litros por semana

Galvanizado: 1254 Litros por semana

Estas aguas son enviadas al tanque de neutralización, donde son mezcladas con agua-cal en una concentración de 400 g/l, buscando obtener un PH entre 5 y 6 unidades, que

evidentemente no se obtiene. Este tanque de neutralización genera un vertimiento al alcantarillado permanente, debido a que no existe un control en la salida del tanque de neutralización.

RECOMENDACIONES PARA USO EFICIENTE DEL AGUA

ZONA DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL Y GALVANIZADO

Como se describe anteriormente la generación de agua proviene de los tanques de 2, 5 y 7 donde se realizan los procesos de enjuague del alambre. La Empresa XYZ, debería realizar los muestreos correspondientes al vertimiento de cada tanque para determinar cuales son los contaminantes presentes y determinar si bajo esta caracterización las aguas pueden ser reutilizadas en un proceso de enjuague anterior ó si existe la posibilidad de realizar un tratamiento en el sitio para disminuir la carga contaminante.

Esta operación podría generar un ahorro de por lo menos 4500 litros de agua semanal teniendo en cuenta que las agua con mayor grado de contaminación son las de los tanques 2 y 5, que son las que reciben la mayor carga de grasas y ácidos.

El ahorro de agua mediante el reuso del agua contenida en el tanque número 7, se establece entonces como una función del reuso en el tanque 5 de por lo menos 3 veces el cambio de agua del tanque 5 durante el día:

$$S = f(3 \text{ Cagua/día})$$

Donde S = Ahorro/día
 $Cagua$ = Cambio de agua en el tanque 5 por día

De igual forma en el proceso de galvanizado la contaminación se genera en los dos tanques de enjuague, el primero donde se presenta un agua con una carga ácida y de residuos de hierro (570 M3) y el segundo tanque donde se genera una concentración de Zinc y sulfatos. (684 M3), que al igual que en la Zona de Tratamiento Superficial son enviados por una misma tubería al tanque de neutralización. Aunque en este proceso la recuperación de agua para un enjuague podría no ser probable, se deberían realizar muestreos del agua residual de cada tanque para determinar la carga contaminante por tanque y determinar métodos de control o tratamiento por separado.

EXTERNALIDADES NEGATIVAS GENERADAS POR EL VERTIMIENTO CONTAMINADO

Como impacto adicional se ha detectado que el agua vertida al alcantarillado ha generado severos daños a la red de alcantarillado de la zona donde se encuentra localizada la planta, como puede observarse en el siguiente registro fotográfico.



Registro fotográfico 1: Detalle del daño causado al alcantarillado municipal



Registro fotográfico 2: Detalle del daño causado al alcantarillado municipal

Este daño al alcantarillado local que se genera por la alta acidez del agua vertida, no ha sido debidamente evaluado ni por la administración municipal, ni por la autoridad ambiental local, que en caso de probarse la responsabilidad de la empresa XYZ, implicaría cuantiosas inversiones de compensación por el daño causado al alcantarillado, esto sin contar la contaminación al suelo debido al contacto directo con estas aguas industriales.

Este es un valor contingente que no se abordará en este análisis, pero que en el balance económico de las soluciones que contemple la empresa XYZ para el tratamiento de sus aguas residuales industriales debe ser tenido en cuenta.

PROPUESTA DE PLAN DE ACCION PARA EL MANEJO ADECUADO DEL VERTIMIENTO

El Plan de acción que se propone para la minimización del impacto del vertimiento de las aguas contaminadas de la Empresa XYZ es el siguiente:

- Concientizar a la gerencia sobre la necesidad de realizar una acción remedial al vertimiento de las aguas industriales generadas en la planta.
- Valorar cuanto se esta pagando por el suministro de agua y los cargos potenciales por la disposición de esta agua al alcantarillado, para establecer una valoración económica del mejoramiento ambiental que se propone.
- Realizar un balance de materias confiable que permita monitoreos y seguimientos al programa de mejoramiento ambiental. (Environmental Technology Best Practice Program, . GG 160. UK. 1999).
- Generar conciencia entre el todo el personal de la planta sobre el uso de buenas prácticas ambientales en todos los procesos a través de información y definición de procedimientos para determinar responsabilidades personales y del uso eficiente de las materia primas que intervienen en el proceso productivo.

TRATAMIENTO FINAL DEL AFLUENTE

Para el tratamiento final del afluente se propone realizar un tratamiento directamente con cal a las aguas provenientes de los procesos de enjuague que permita una adecuada neutralización, de manera que se garantice un vertimiento que cumpla con lo dispuesto en el Decreto 1594 de 1984 .

Esta propuesta es el resultado de pruebas que se realizaron con el fin de determinar las mezclas óptimas de agua cal necesaria para llevar el afluente a un PH entre 5 y 6 unidades. Para este efecto se prepararon soluciones de agua cal en concentraciones de 200, 400, 600 y 800 gramos por litro de agua y se tituló la solución ácida de entrada (PH 1), para establecer con cual de estas preparaciones se podría obtener un PH entre 5 y 6 unidades. Se obtuvo que las concentraciones de 400 y 600 g/l disueltas en 10 litros de agua permitían neutralizar 10 litros de solución ácida.

Sin embargo la investigación permitió establecer que una adecuada neutralización puede realizarse aplicando directamente cal al agua generada en los procesos de enjuague y que la neutralización obtenida es la misma que se obtiene con el método anterior. Es decir 500 gramos de cal pura aplicados por cada 10 litros de solución ácida permiten obtener el mismo PH entre 5 y 6 unidades con el consiguiente ahorro de agua que se utiliza para la preparación de la mezcla agua cal.

Los beneficios esperados de utilizar este procedimiento son:

Optimizar los requerimientos de agua para la preparación evitando un consumo innecesario de agua en la preparación de las concentraciones que actualmente se usan para realizar la neutralización.

Uso de los recursos físicos disponibles para mejorar el tratamiento actual.

Rediseño del Tanque de Neutralización Existente

Para garantizar una adecuada neutralización y retención de sólidos se propone dividir el tanque de neutralización existente así:

Primer Tanque (Volumen 1.32 M3):

Este tanque recibirá las agua vertidas de cada uno de los subprocesos Zona de tratamiento superficial o galvanizado, de manera que a medida que van llegando las aguas generadas en este proceso, por medio de una bomba (Eléctrica – Neumática) se adicione la cantidad establecida de solución agua-cal, esto permitirá una mezcla inicial de las dos corriente de agua (ácida – básica) para iniciar el proceso de neutralización.

Este tanque tendrá una conexión a un segundo tanque por medio de rebose.

Segundo Tanque: (Volumen 4 M3)

Este segundo tanque permitirá que la mezcla que se generó en el primer tanque tenga un tiempo de retención de 4.8 horas en el caudal mínimo y de 1.8m horas en el caudal máximo y de manera que haya una adecuada neutralización de la mezcla y los sólidos generados por la adición de cal tengan un proceso de decantación. Estas agua pasan a un tercer tanque por rebose

Tercer Tanque: (Volumen 4.4 M3)

El tercer tanque tiene como finalidad complementar el proceso de decantación de los sólidos disueltos en la carga líquida, generando un flujo laminar estable y un tiempo de retención de aproximadamente 5.3 Horas en el caudal mínimo y de 2.0 horas en el caudal máximo para garantizar un vertimiento homogéneo.

Por ultimo se pasa por rebose a un cuarto tanque que permitirá controlar que las características de PH estén en condiciones óptimas para el vertimiento.

Cuarto tanque: (Volumen 0.45 M3)

Este tanque actúa como tanque de almacenamiento antes del vertimiento de las aguas por medio de una tubería de PVC de 3" al alcantarillado municipal. En este tanque se hará un último control al PH de tal manera que se garantice un vertimiento de acuerdo a la reglamentación del Decreto 1594 de 1984. Para un efectivo control se instalará en este tanque una válvula de control de salida para retener el agua en caso de que no se esté dentro de los parámetros establecido de PH.

El diagrama del sistema propuesto puede verse en el plano anexo.

Esta solución es inicial a la solución de fondo que debe evaluar la Empresa XYZ hacia el futuro que contemple la incidencia del cobro de la tasa retributiva, las compensaciones por daño al alcantarillado municipal, con ahorros efectivos en el uso del agua y de químicos en su proceso.

AHORROS ASOCIADOS CON UN MANEJO EFICIENTE DEL AGUA

Los ahorros asociados con un manejo del agua de acuerdo con esta propuesta se obtienen mediante el reuso en el ciclo de los enjuagues y con el no uso de la mezcla de agua cal.

<u>Consumos actuales de agua</u>					
Proceso	Operación	M3/Sem	M3/Mes	\$/M3	Valor Consumo de Agua
Galvanizado	Enjuague - Decapado	0,57	2,28	688,52	1.570
	Enjuague - Galvanizado	0,69	2,76	688,52	475
ZTS	Tanque 1	108	432	688,52	297.441
	Tanque 2	108	432	688,52	297.441
	Tanque 3	108	432	688,52	297.441
Totales		325,26	1301,04		894.367

El valor del metro cúbico de agua fue tomado de la factura de Acueducto y alcantarillado del mes de Julio de 2003 de la empresa de servicios públicos local a la Empresa XYZ.

Ahorros Estimados					
Por reuso de Agua	Por no mezclar agua cal	\$/M3	Valor Agua/Mes	Ahorro Agua/Año	Valor Ahorro Agua/Año
108	650,52	688,52	522.256	6.267.074	
Cálculos de acuerdo con parámetros establecidos en la propuesta de plan de acción para el manejo adecuado del vertimiento					

Al establecer la posibilidad de ahorrar \$6,2 Millones de pesos al año por uso eficiente del agua, la Empresa XYZ podría estudiar la posibilidad de hacer la inversión en la restitución del alcantarillado dañado con los vertimientos actuales.

COTIZACIÓN DEL ALCANTARILLADO

La Empresa XYZ, ha adelantado cotizaciones con empresas de Ingeniería Civil para realizar la restitución del tramo de alcantarillado deteriorado y de los arreglos adicionales en vías. Estas cotizaciones establecen el valor de la inversión necesaria en una suma alrededor de \$65.000.000

VALORACIÓN ECONOMICA DE PROPUESTA

Con el cálculo de los ahorros estimados por uso eficiente del agua ejecutando el plan de acción propuesto y la cotización de restitución del alcantarillado, para valorar la propuesta se utilizan indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) ,analizando 4 escenarios que contemplan diferentes alternativas para la inversión en el alcantarillado. El horizonte del proyecto en todos los escenarios es de 20 años y se incluye un valor anual por mantenimiento rutinario del sistema. La tasa de descuento utilizada fue la DTF promedio del día 7 de Agosto 2003 : 7.8% anual.

ESCENARIO 1: En este escenario la inversión en la restitución del alcantarillado se realiza en toda en el año 0 del proyecto.

ESCENARIO 1

AÑO	INVERSION	AHORROS	MANTENIMIENTO	TOTAL
0	65.000.000			-65.000.000
1		6.267.064	500.000	5.767.064
2		6.267.064	500.000	5.767.064
3		6.267.064	500.000	5.767.064
4		6.267.064	500.000	5.767.064
5		6.267.064	500.000	5.767.064
6		6.267.064	500.000	5.767.064
7		6.267.064	500.000	5.767.064
8		6.267.064	500.000	5.767.064
9		6.267.064	500.000	5.767.064
10		6.267.064	500.000	5.767.064
11		6.267.064	500.000	5.767.064
12		6.267.064	500.000	5.767.064
13		6.267.064	500.000	5.767.064
14		6.267.064	500.000	5.767.064
15		6.267.064	500.000	5.767.064
16		6.267.064	500.000	5.767.064
17		6.267.064	500.000	5.767.064
18		6.267.064	500.000	5.767.064
19		6.267.064	500.000	5.767.064
20		6.267.064	500.000	5.767.064
VPN				\$ -7.177.052,68
TIR				6%

ESCENARIO 2 : En este escenario se hace solo la mitad de la inversión en alcantarillado por parte de la Empresa XYZ y el otro 50% lo asume el Municipio donde se localiza la planta de producción de XYZ. Esta una posibilidad real que ha sido explorada por la Administración de XYZ y la Municipalidad.

ESCENARIO 2				
AÑO	INVERSION	AHORROS	MANTENIMIENTO	TOTAL
0	32.500.000			-32.500.000
1		6.267.064	500.000	5.767.064
2		6.267.064	500.000	5.767.064
3		6.267.064	500.000	5.767.064
4		6.267.064	500.000	5.767.064
5		6.267.064	500.000	5.767.064
6		6.267.064	500.000	5.767.064
7		6.267.064	500.000	5.767.064
8		6.267.064	500.000	5.767.064
9		6.267.064	500.000	5.767.064
10		6.267.064	500.000	5.767.064
11		6.267.064	500.000	5.767.064
12		6.267.064	500.000	5.767.064
13		6.267.064	500.000	5.767.064
14		6.267.064	500.000	5.767.064
15		6.267.064	500.000	5.767.064
16		6.267.064	500.000	5.767.064
17		6.267.064	500.000	5.767.064
18		6.267.064	500.000	5.767.064
19		6.267.064	500.000	5.767.064
20		6.267.064	500.000	5.767.064
VPN				\$ 22.957.393,31
TIR				17%

ESCENARIO 3 : En este escenario asumiendo una negociación con la Municipalidad la Empresa XYZ hace la inversión del 50% del valor del alcantarillado en 2 años.

ESCENARIO 3

AÑO	INVERSION	AHORROS	MANTENIMIENTO	TOTAL
0	16.000.000			-16.000.000
1	16.500.000	6.267.064	500.000	-10.732.936
2		6.267.064	500.000	5.767.064
3		6.267.064	500.000	5.767.064
4		6.267.064	500.000	5.767.064
5		6.267.064	500.000	5.767.064
6		6.267.064	500.000	5.767.064
7		6.267.064	500.000	5.767.064
8		6.267.064	500.000	5.767.064
9		6.267.064	500.000	5.767.064
10		6.267.064	500.000	5.767.064
11		6.267.064	500.000	5.767.064
12		6.267.064	500.000	5.767.064
13		6.267.064	500.000	5.767.064
14		6.267.064	500.000	5.767.064
15		6.267.064	500.000	5.767.064
16		6.267.064	500.000	5.767.064
17		6.267.064	500.000	5.767.064
18		6.267.064	500.000	5.767.064
19		6.267.064	500.000	5.767.064
20		6.267.064	500.000	5.767.064
VPN				\$ 24.070.952,49
TIR				19%

ESCENARIO 4 : En el mismo contexto de una negociación con el municipio , la Empresa XYZ invierte el 50% del valor del alcantarillado distribuyendo esta inversión en los 3 primeros años del proyecto.

ESCENARIO 4				
AÑO	INVERSION	AHORROS	MANTENIMIENTO	TOTAL
0	12.500.000			-12.500.000
1	10.000.000	6.267.064	500.000	-4.232.936
2	10.000.000	6.267.064	500.000	-4.232.936
3		6.267.064	500.000	5.767.064
4		6.267.064	500.000	5.767.064
5		6.267.064	500.000	5.767.064
6		6.267.064	500.000	5.767.064
7		6.267.064	500.000	5.767.064
8		6.267.064	500.000	5.767.064
9		6.267.064	500.000	5.767.064
10		6.267.064	500.000	5.767.064
11		6.267.064	500.000	5.767.064
12		6.267.064	500.000	5.767.064
13		6.267.064	500.000	5.767.064
14		6.267.064	500.000	5.767.064
15		6.267.064	500.000	5.767.064
16		6.267.064	500.000	5.767.064
17		6.267.064	500.000	5.767.064
18		6.267.064	500.000	5.767.064
19		6.267.064	500.000	5.767.064
20		6.267.064	500.000	5.767.064
VPN				\$ 24.917.006,95
TIR				20%

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

	VPN	TIR
ESCENARIO 1	-7.177.053	6%
ESCENARIO 2	22.957.393	17%
ESCENARIO 3	24.070.952	19%
ESCENARIO 4	24.917.007	20%

El escenario 1 aunque presenta una VPN negativa del orden de \$ 7.1 millones y una TIR de 6% inferior al 7.8% de la DTF promedio en el momento del análisis, ofrece una perspectiva que frente a la responsabilidad social empresarial permitiría a la Empresa evaluar positivamente esta inversión si se tiene en cuenta que no se han hecho los cálculos de ahorro potencial por el cargo de tasa retributiva.

El escenario 2, 3 y 4 son ampliamente favorables a la Empresa y están vinculados a una eventual negociación con la Municipalidad para que esta asuma el 50% del valor de la restitución del alcantarillado y la Empresa XYZ asuma el otro 50%.

CONCLUSIONES

El plan de acción que se propone para optimizar el uso del agua en la Empresa XYZ es de mínimo costo, pues lo que se está proponiendo es un reuso del agua del enjuague, y la supresión de la mezcla de agua cal, con resultados que económicamente prometen ser rentables.

Por otra parte, el reconocimiento de la Empresa XYZ de la necesidad de mitigar el impacto causado al alcantarillado local con los vertimientos de las aguas industriales fuera de control, indica que se está creando una conciencia ambiental en el estamento directivo de la empresa, conciencia que no es gratuita pues en la medida que la empresa colabore en la solución al daño del alcantarillado, aleja la posibilidad de multas por incumplimiento de normas de vertimientos y en la medida que adopte como guía de empresa los parámetros identificados como estancares a cumplir para la presencia de

zinc y de sulfatos en el vertimiento esta entrando a controlar el otro aspecto significativo en este tipo de industria como es el uso de los químicos.

Es claro que mirando el proceso como un todo, se pueden diseñar planes de acción con contenidos mas ambicioso y muy seguramente con resultados potenciales de ahorros mas significativos que los identificados en este trabajo.

Pero lo importante de estas experiencia empírica es el de haber logrado que la empresa XYZ se apropie del concepto de producción mas limpia con el soporte de un ahorro importante en sus costos de producción, tan importante que con solo este ahorro se podría financiar la solución de restitución del alcantarillado dañado por lo años de vertimiento sin cumplimiento de normas por parte de la Planta de Galvanizado.

En el contexto de la Especialización en Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Sabana, este trabajo ha pretendido aportar elementos de juicio para mostrar como la Empresa, o cualquier organización, puede hacer buenos negocios, construyendo ciudadanía, en este caso desde la perspectiva de la responsabilidad social de la empresa frente al tema del medio ambiente.

LITERATURA CONSULTADA

Alzate, Jorge Hernán. Evaluación y propuestas de mejoramiento en los procesos de tratamiento superficial y galvanizado . Tesis. Universidad Nacional. 2000.

Centro Nacional de Producción Mas Limpia –CNPML- , “Guía de Producción mas limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia”.2001

Comisión Ambiental Metropolitana, “Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el Giro de la Galvanoplastia”. México D.F. 1998

Danish Enviromental Protection Agency, DANCEE and the Ministry of Environment of Lituan, “Proposed Methods for the Regulation of discharge of industrial wastewater into Sewer Systems”. Technical Report No. 4.4 . 2002

Environmental Technology Best Practice Program, “Minimising Chemical and water in the metal finishing Industry”. GG 160. UK. 1999.

Environmental Protection Agency, EPA, Code of Federal Regulations. August 1, 2003

Comisión Nacional del Medio Ambiente .Guía para el control y prevención de la contaminación. 2000. Santiago

J.Glynn Henry, Gary W. Heinke, Ingenieria Ambiental, Pearson, 1999

Ministerio de Agricultura, República de Colombia. Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984.

Metcalf & Eddy, Ingenieria de Aguas Residuales, Tratamiento , vertido y reutilización. McGraw Hill, 1995

Perry , H. Robert, Manual del Ingeniero Químico Tomos V, VI, McGraw Hill, 1992