



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL, BASADO EN  
LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES, APLICADO A UNA LÍNEA  
CONTINUA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE**

**Ing. Pride Tolentino Alvizures Valle**

Asesorado por el MSc. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL, BASADO EN  
LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES, APLICADO A UNA LÍNEA  
CONTINUA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. PRIDE TOLENTINO ALVIZURES VALLE**

ASESORADO POR EL MSC. ING. NICOLÁS DE JESÚS GUZMÁN SÁENZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRECTICÓ EL EXAMEN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

DECANO	Mtro. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Hugo Humberto Rivera Pérez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL, BASADO EN  
LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES, APLICADO A UNA LÍNEA  
CONTINUA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE**

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados, 24 febrero de 2016.

**Ing. Pride Tolentino Alvizures Valle**

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL, BASADO EN LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES, APLICADO A UNA LÍNEA CONTINUA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE" presentado por el Ingeniero Químico Pride Tolentino Alvizures Valle, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

*P. Aguilar*  
Maestro. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

Decano

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL, BASADO EN LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES, APLICADO A UNA LÍNEA CONTINUA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE" presentado por el Ingeniero Químico **Pride Tolentino Alvizures Valle**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/LZLA.

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL, BASADO EN LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES, APLICADO A UNA LÍNEA CONTINUA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE" presentado por el Ingeniero Químico Pride Tolentino Alvizures Valle.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Maestro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Químico **Pride Tolentino Alvizures Valle** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL, BASADO EN LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES, APLICADO A UNA LÍNEA CONTINUA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE" quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Maestro. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz  
Asesor(a)  
Maestro en Ingeniería Sanitaria

MSc. Nicolás Guzmán  
Ingeniería civil y Sanitaria, Col. 4540

Guatemala, octubre de 2018.

Cc: archivo/L.Z.L.A.



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Porque no importando nuestra condición humana imperfecta, siempre ha estado presente para darme fuerzas y guiarme.
- Mis padres** Francisco César Alvizures y Lidia Marina Valle, quienes han sido los pilares en mi formación y mi vida.
- Mi esposa** Verónica Lucrecia López, que siempre ha luchado junto a mí en tantas batallas.
- Mis hijos** Pride y Diana Paola Alvizures López, por ser motivo para avanzar.
- Mis hermanos** César Francisco, Vinicio Esaú y Allan Eduardo Alvizures Valle, por su presencia en todo momento.
- Mis tíos** Belizario Rodríguez y Esther Valle, quienes me han apoyado en muchas etapas de mi vida.
- Mis primos** Ulises, Carlos y Durán Rodríguez Valle, por estar siempre a mi lado, a pesar de las distancias.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos  
de Guatemala**

Por ser mi alma máter, donde he logrado el desarrollo profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por permitirme ser parte de su comunidad, para darme los conocimientos profesionales.

**Escuela de Estudios de  
Postgrado**

Por sustentar el conocimiento técnico y académico que me ha permitido ser un mejor profesional.

**Escuela de Ingeniería  
Química**

Por haberme guiado a lo largo de los años en la senda del conocimiento, dándome las aptitudes necesarias para participar activamente en el campo laboral de Guatemala.

**Mi asesor**

MSc. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz, por asistirme y acompañarme en el desarrollo de este trabajo de graduación.

**Mis amigos**

Por su apoyo, presencia y tiempo en todo momento.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ORÍGEN DE LA GESTIÓN AMBIENTAL.....	1
2. EL AMBIENTE Y LOS IMPACTOS A NIVEL INDUSTRIAL.....	5
2.1. Ambiente .....	5
2.2. Impacto y contaminación ambiental .....	5
2.3. Sistema de gestión ambiental (SGA).....	6
3. EL PROCESO DE GALVANIZADO CONTINUO POR INMERSIÓN EN CALIENTE.....	9
3.1. Etapa I. Limpieza superficial del acero sin recubrimiento .....	10
3.1.1. Retiro de chatarra y material defectuoso .....	10
3.1.2. Limpieza alcalina .....	11
3.1.3. Lavado y enjuague en caliente .....	11
3.2. Etapa II. Tratamiento superficial por medio de hidrógeno .....	12
3.3. Etapa III. Recubrimiento con zinc y aleaciones metálicas .....	12
3.3.1. Inmersión en paila de metales .....	12
3.3.2. Limpieza de escoria de zinc y otros metales .....	13

3.3.3.	Control de capa .....	13
3.4.	Etapa IV. Enfriamiento y secado de la tira de acero galvanizado .....	13
3.4.1.	Enfriamiento por agua .....	14
3.4.2.	Secado y pasivado .....	14
3.5.	Etapa V. Enrollado y empaque de producto galvanizado .....	14
4.	¿QUÉ ES LA METODOLOGÍA “CERO INCIDENTES AMBIENTALES”? .....	17
4.1.	Fuentes contaminantes .....	18
4.1.1.	Exposiciones químicas .....	18
4.1.2.	Exposiciones físicas .....	19
4.1.3.	Exposiciones biológicas .....	19
4.1.4.	Exposición a diversas formas de energía .....	19
4.2.	Elementos para un SGA “Cero Incidentes Ambientales” .....	20
4.2.1.	Compromiso de la dirección .....	20
4.2.2.	Comunicación e involucramiento .....	20
4.2.3.	Inducción y capacitación .....	21
4.2.4.	Roles y responsabilidades .....	21
4.2.5.	Obligaciones legales .....	21
4.2.6.	Identificación de peligros y evaluación de riesgos .....	22
4.2.7.	Documentación y elaboración de los procedimientos .....	22
4.2.8.	Inspección, investigación, información y reportes de campo .....	23
4.2.9.	Auditorías de verificación y mejora del sistema .....	23
4.2.10.	Preparación para emergencias .....	23

5.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
6.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	35
6.1.	Cuantificación de riesgos.....	35
6.2.	Medición de las operaciones.....	43
6.3.	Verificación del SGA.....	46
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	49
	CONCLUSIONES.....	51
	RECOMENDACIONES.....	53
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mejora continua y SGA en una línea de galvanizado continuo. ....	7
2.	Diagrama de una línea de galvanizado continuo por inmersión en caliente .....	15
3.	Consumo de energía eléctrica .....	44
4.	Consumo de diésel.....	44
5.	Consumo de hidrógeno .....	45
6.	Consumo de gas licuado del petróleo (GLP).....	45

### TABLAS

I.	Etapas del proceso de galvanizado continuo por inmersión en caliente .....	15
II.	Información de eventos con impacto ambiental potencial o real del proceso de galvanizado .....	26
III.	Matriz de evaluación del riesgo de eventos observados, probabilidad x impacto.....	28
IV.	Variables ambientales consideradas dentro del SGA .....	30
V.	Indicadores asociados a las variables ambientales .....	31
VI.	Límites máximos permisibles para las emisiones atmosféricas .....	31
VII.	Límites máximos permisibles de metales pesados para descargas de agua .....	32
VIII.	Descripción de la matriz de control operacional, monitoreo y medición.....	34

IX.	Eventos reportados para emisiones atmosféricas .....	35
X.	Eventos reportados para descargas al suelo .....	36
XI.	Eventos reportados para descargas al agua .....	37
XII.	Eventos reportados para residuos .....	38
XIII.	Eventos reportados para eficiencia, uso de químicos y verificación del SGA .....	39
XIV.	Eventos reportados para cumplimiento legal .....	41
XV.	Eventos reportados sin categoría .....	42
XVI.	Mapa de riesgos ambientales por sección del proceso de galvanizado.....	43
XVII.	Indicadores asociados a las variables ambientales .....	46
XVIII.	Auditoría de los Indicadores del SGA .....	47



## GLOSARIO

<b>Acero</b>	Aleación de hierro y pequeñas cantidades de carbono para obtener un compuesto de mayor dureza y resistencia.
<b>Acero galvanizado</b>	Acero al que se le aplica una capa superficial de zinc y otros metales (galvanizado), para protegerlo de la corrosión por efecto de la oxidación del hierro.
<b>Acero negro</b>	Acero sin recubrimiento galvanizado.
<b>Aluminio</b>	Metal no ferromagnético, de color grisáceo brillante, que funde a 660,3 °C y que se utiliza en conjunto con el zinc para el proceso de galvanizado del acero.
<b>Antimonio</b>	Elemento semimetálico que funde a 631 °C, de color blanco azulado, brillante y frágil que se utiliza en conjunto con el zinc para el proceso de galvanizado del acero.
<b>Caldera piro tubular</b>	Máquina o dispositivo que utiliza combustible líquido bunker que se quema dentro de tubos, rodeados por agua, para producir vapor de agua.
<b>Corrosión</b>	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

<b>Crisol o paila</b>	Cavidad o recinto donde se funden o reciben metales fundidos.
<b>Cristalización</b>	Proceso químico por el cual los iones, átomos o moléculas establecen enlaces hasta formar una red cristalina
<b>Decibel</b>	Medida en escala logarítmica utilizada para expresar el nivel de potencia y de intensidad del ruido.
<b>Desvío</b>	Acción humana o comportamiento, o condición estructural, que no sigue el patrón ambientalmente aceptable.
<b>Emisión atmosférica</b>	Fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana o natural.
<b>Enlaces metálicos</b>	Enlace químico que mantiene unidos entre sí los átomos de metales, generando estructuras muy compactas.
<b><i>Environmental Protection Agency</i></b>	Agencia de Protección del Ambiente.

<b>Escoria</b>	Residuos metálicos provenientes del proceso de fundición de metales.
<b>Falla por acto o comportamiento</b>	Acciones u omisiones consideradas como violación de una norma, práctica, procedimiento o instrucción aceptado como seguro. Pueden estar relacionados a la organización cuando el acto se produce por déficit de conocimiento o imposibilidad del causante o con la conducta individual si se trata de negligencia o falta de motivación.
<b>Falla por condiciones</b>	Condición anormal en el medio, proceso, equipos, instalación o herramientas que puedan originar un desvío o incidente ambiental.
<b>Falla por Sistema de Gestión</b>	Hace referencia a fallas derivadas de la forma de guiar y gestionar recursos, personal y otros; ejemplo de falla en el Sistema de Gestión sería no garantizar la capacitación y entrenamiento adecuado para el personal.
<b>Galvanizado</b>	Procedimiento de aplicación de un recubrimiento de zinc sobre las piezas de acero o fundición, mediante inmersión de las mismas en un baño de zinc fundido.
<b>Hallazgos</b>	Situación o condición importante encontrada en un sistema de gestión, pudiendo ser positivo o negativo.

<b>Incidente ambiental</b>	Evento súbito no deseado que potencialmente puede causar daños a los humanos y el ambiente.
<b>Indicador o Índice</b>	Dato o información que sirve para conocer o valorar las características y la intensidad de un hecho o para determinar su evolución futura.
<b>Inmersión caliente</b>	Proceso productivo mediante el cual el acero negro se sumerge en el baño de zinc fundido.
<b>Lodos</b>	Residuos acuosos formados por grasas, partículas metálicas y suciedad provenientes del proceso de lavado del acero negro en el proceso de galvanizado.
<b>Mapa de riesgos</b>	Herramienta que permite organizar la información sobre los riesgos de las empresas y visualizar su magnitud de forma gráfica y textual.
<b>Metales pesados</b>	Grupo de elementos con propiedades metálicas cuya acumulación en el tiempo y en el cuerpo de los animales puede causar serias enfermedades y daños ambientales.
<b>Óxido blanco</b>	Manchas blancas que aparecen sobre la lámina galvanizada durante su almacenamiento.

<b>Pasivado</b>	Proceso de aplicación de una capa protectora externa que se aplica a la superficie del metal galvanizado con el fin de aislarlo de la acción de agentes externos durante su almacenamiento.
<b>Recocido</b>	Tratamiento térmico cuya finalidad es el ablandamiento, la recuperación de la estructura o la eliminación de tensiones internas en metales.
<b>Sistema de gestión ambiental (SGA)</b>	Gestión que incluye la estructura organizativa, la planificación, las responsabilidades, las prácticas, los procesos, los procedimientos y los recursos para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día los compromisos en materia de protección ambiental que suscribe una organización.
<b>Sistema atmosférico</b>	Mezcla de gases que forma la capa exterior de la Tierra. La composición de la atmósfera, en los niveles próximos al suelo, se describe a partir de la concentración de los principales componentes del aire: nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono y otros.
<b>Sistema biótico</b>	Comprende los elementos vivos de un ecosistema. Las plantas, los animales (incluidos los seres humanos), los hongos, las bacterias, los virus y los protozoarios son elementos bióticos.

<b>Sistema edáfico</b>	Sistema comprendido por el suelo o capa superficial, disgregada y de espesor variable que recubre la corteza terrestre procedente de la meteorización de las rocas preexistentes, cuya composición y naturaleza, demarcan la relación con plantas y entorno que le rodea.
<b>Sistema hídrico</b>	Comprende los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas.
<b>Sistema lítico</b>	Se refiere a: la calidad física, química y mineralógica del suelo y subsuelo, cambios en el uso del suelo o la superficie freática y a todo lo relacionado a las rocas y minerales de la corteza terrestre.
<b>Sostenible</b>	Consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, pero sin afectar la capacidad de las futuras, y en términos operacionales, promover el progreso económico y social respetando los ecosistemas naturales y la calidad del ambiente.

## RESUMEN

La producción de lámina galvanizada en Guatemala implica procesos productivos complejos que inciden en el ambiente, se deben abordar y aplicar medidas efectivas para mitigar el impacto ambiental.

Por lo anterior y en respuesta a la necesidad de aplicar herramientas de gestión, que permitan reducir el impacto ambiental; el presente trabajo propone la implementación de la metodología: "Cero Incidentes Ambientales", similar a "Cero accidentes" o "Cero fallas", como un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), que incluso puede servir de ruta guía para lograr una certificación a su sistema como podría requerirlo la norma ISO 14001.

La metodología "Cero Incidentes Ambientales" parte del principio que, controlando los eventos menos visibles u ocultos (en ocasiones tolerados, porque así han ocurrido siempre), pero constituyen desviaciones a los criterios ambientales establecidos y adoptados, es posible detectar y controlar oportunamente condiciones o fallas en los mecanismos de gestión, en los procedimientos y en el comportamiento operativo que, de no hacerse, podrían desencadenar un evento mayor o un incidente ambiental grave.

Considerando la propuesta metodológica anterior, el trabajo presentado se desarrolló bajo una línea de investigación aplicada no experimental, estudio mixto de variables, mediante un análisis descriptivo de datos o casos documentados, con efectos potenciales o reales al ambiente, enfocado al proceso de galvanizado continuo, por inmersión en caliente de una planta industrial, ubicada en el municipio de Villa Nueva, Guatemala.





## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de lámina galvanizada en Guatemala, implica procesos productivos complejos. Estos procesos inciden en el ambiente por ello deben abordarse y aplicar medidas efectivas para lograr el menor impacto ambiental.

Ignorar esta situación expone a las empresas a sanciones legales, pérdida de competitividad y oportunidades de negocio, rechazo de las comunidades e incluso al cierre de operaciones.

Por lo anterior, surgen las siguientes preguntas de investigación:

1. Utilizando la metodología "Cero Incidentes Ambientales" similar a la metodología "Cero Accidentes" o "Cero Fallas", ¿se puede diseñar e implementar un sistema de gestión ambiental que pueda posteriormente llevar a una organización a una certificación de su sistema como la norma ISO 14001?
2. ¿Cuáles son los riesgos relevantes a determinar y cuantificar, mediante la metodología "Cero Incidentes Ambientales"; que tienen impactos ambientales reales o potenciales, a fin de proponer e implementar controles operacionales adecuados para mitigarlos?
3. ¿Qué criterios y parámetros se deben definir para medir y evaluar el desempeño del sistema de gestión ambiental, basado en la metodología "Cero Incidentes Ambientales"?

4. ¿Cuáles serán los procesos e instrumentos para auditar y verificar que un sistema de gestión ambiental, basado en la metodología "Cero Incidentes Ambientales"; es efectivo y cumple con el enfoque de mejora continua?

# OBJETIVOS

## General

Diseñar e implementar un sistema de gestión ambiental, basado en la metodología de “Cero Incidentes Ambientales”, que permita posteriormente a una organización lograr la certificación en la norma ISO 14001.

## Específicos

1. Determinar y cuantificar, mediante la metodología “Cero Incidentes Ambientales”, el nivel de riesgo de los impactos ambientales negativos relevantes para proponer e implementar controles operacionales que permitan mitigar tales efectos no deseados.
2. Definir los criterios y parámetros de medición del desempeño del sistema de gestión ambiental, basado en la metodología “Cero Incidentes Ambientales”.
3. Establecer los procesos e instrumentos para auditar y verificar la efectividad y cumplimiento de la mejora continua, de un sistema de gestión ambiental basado en la metodología “Cero Incidentes Ambientales”.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El trabajo de investigación plantea la interrogante central siguiente: Utilizando la metodología "Cero Incidentes Ambientales" similar a la metodología "Cero Accidentes" o "Cero Fallas", ¿se puede diseñar e implementar un sistema de gestión ambiental que pueda posteriormente llevar a una organización a una certificación de su sistema como la norma ISO 14001?

De lo anterior, se estableció el objetivo general: diseñar e implementar un sistema de gestión ambiental basado en la metodología de: "Cero Incidentes Ambientales", que permita posteriormente a una organización lograr la certificación en la norma ISO 14001.

En el trabajo realizado, se adoptó una línea de investigación aplicada no experimental, de tipo mixto, determinando variables que fueron tratadas, mediante análisis descriptivo de datos en un marco temático de gestión ambiental de control de los impactos en el origen y estrategias en la gestión de residuos.

El trabajo se dividió en las siguientes etapas metodológicas para dar respuesta a la interrogante principal y auxiliares planteadas para su desarrollo:

1. Recopilación de la información: la recopilación de la información, se realizó por medio de un sistema de base de datos desarrollado por el personal de sistemas informáticos. Esta recopilación fue acompañada por una divulgación y capacitación al personal operativo para brindarles los conocimientos mínimos necesarios para identificar cuándo y en qué eventos había impacto ambiental o solamente amenaza.

2. Clasificación de eventos: los eventos documentados se dividieron en dos categorías generales: los desvíos que representan variaciones del procedimiento ambientalmente seguro, pero sin consecuencias, y los incidentes, que son eventos donde sí ocurrió un impacto al ambiente.
3. Cuantificación de riesgos: consistió en la identificación y recopilación de los riesgos de impacto ambiental derivados del proceso de galvanizado continuo a controlar. En esta misma etapa, se realizó la evaluación del nivel de impacto del riesgo, considerando tres escalas para definirlos como de alto, medio o bajo riesgo.
4. Determinación del mapa de riesgos: consistió en elaborar un mapa de riesgos y establecer una línea base de trabajo, con lo anterior se pudieron definir prioridades y optimización de recursos para determinar los puntos del proceso que pudieran derivar en efectos negativos al ambiente, según su magnitud.
5. Medición de las operaciones: consistió en la obtención de mediciones del proceso de galvanizado continuo, acotados a parámetros ambientales, con el fin de establecer indicadores de la efectividad de la gestión ambiental y cumplimiento de los criterios ambientales aceptados.
6. Verificación de efectividad: consistió en establecer la mecánica e instrumento necesario para la evaluación periódica que deberá implementarse para comprobar que los controles de los riesgos son efectivos y, por lo mismo, permiten alcanzar los indicadores propuestos que cumplen los criterios ambientales; cerrando así el ciclo de mejora para un SGA como el propuesto.

## INTRODUCCIÓN

Existen metodologías sistemáticas y exigentes, sujetas a evaluaciones y mediciones para certificaciones globales de tipo ambiental, por ejemplo, las Normas del grupo ISO 14001, que se consideran por una organización al momento de plantear la necesidad de implementar un sistema de gestión ambiental (SGA).

Sin embargo, aunque la exigencia ambiental se le presenta a todo tipo de industrias u organizaciones sin importar su tamaño, para algunas debido al factor económico reflejado en el costo de estos procesos de certificación, desisten en el intento para implementarlos.

Lo anterior no exime a las empresas e industrias en general, de aplicar programas congruentes con la preservación del ambiente, ya que todas generan un impacto, que acumulado puede llegar a ser tan o más nocivo que las generadas por grandes industrias o corporaciones.

Sin una gestión ambiental sostenible las organizaciones se exponen a sanciones legales, pérdida de competitividad y oportunidades de negocio, rechazo comunitario y, en casos extremos, al cierre de sus operaciones.

Adoptando una línea de investigación aplicada no experimental, mixta y mediante análisis descriptivo de datos, en un marco temático de gestión ambiental: tratamientos y estrategias en la gestión de residuos y control de emisiones; el trabajo a desarrollar se enfocará al proceso de galvanizado

continuo por inmersión en caliente, en el cual hay una serie de etapas que causan efectos ambientales diversos.

A cada uno de estos factores se deberán aplicar medidas de gestión para reducir el impacto y estar equilibradas, para no afectar aspectos de productividad, seguridad, calidad y costos.

Un SGA, bajo la metodología propuesta: “Cero Incidentes Ambientales”, parte del principio que, controlando los eventos menos visibles u ocultos; en ocasiones tolerados, porque así han ocurrido siempre, pero constituyen desviaciones a los criterios ambientales legalmente establecidos y adoptados, es posible detectar y controlar oportunamente condiciones, fallas en los mecanismos de gestión, en los procedimientos y en el comportamiento operativo que, de no hacerse, podrían desencadenar un evento mayor o un incidente ambiental grave.

Como cualquier sistema de gestión, el basado en la metodología: “Cero Incidentes Ambientales”, muestra el proceso paso a paso, partiendo del compromiso de la dirección, estableciendo los principios básicos o políticas que guiarán el programa, las responsabilidades y actividades de todos los departamentos y las mediciones necesarias para evaluar el desempeño.

También incluye los mecanismos de clasificación, de generación de planes de mejora y el ciclo de auditorías para acuñarlos. También define la documentación y los planes de entrenamiento y capacitación estandarizados para todo el personal.

Tal y como se proyecta en el presente trabajo, un SGA no es un compendio de las soluciones a cada tipo de industria o de un proceso en particular; es la



metodología para llegar a una administración de los controles y los recursos empleados y que, de forma sustentable, deriven en un compromiso de mejora continua para la protección del ambiente.

1. Origen de la gestión ambiental: en este capítulo se hace una descripción de los antecedentes que marcaron el inicio de la gestión ambiental como una necesidad de las organizaciones en general. También incluye las referencias generales que fundamentan la metodología planteada en este trabajo, “Cero Incidente Ambientales”.

2. El ambiente y los impactos a nivel industrial: la finalidad de este capítulo es referenciar y conocer los fundamentos legales y los conceptos asociados al ambiente que deben ser gestionados. Incluye también una reseña del significado de impacto y contaminación ambiental. Por último, se hace una representación gráfica de los componentes y elementos que sustentarán el sistema de gestión ambiental para el proceso productivo que corresponde a una línea de galvanizado continuo.

3. El proceso de galvanizado continuo por inmersión en caliente: este capítulo se dedica completamente a explicar el proceso de galvanizado, las etapas en las que se divide y los impactos esperados en cada una de ellas; por último, se incluye un gráfico que permite visualizar dicho proceso.

4. ¿Qué es la metodología “Cero Incidentes Ambientales”?: en este apartado se hace una descripción detallada de la metodología “Cero Incidentes Ambientales”, contiene las definiciones y los elementos que hacen viable adoptar tal metodología como un sistema de gestión ambiental.

5. Resultados y su discusión: en este capítulo se hace la compilación de resultados; se muestran las tablas resumen de los niveles de riesgo y los elementos ambientales que son o pueden tener, como consecuencia de la actividad industrial, diversos impactos.

## 1. ORIGEN DE LA GESTIÓN AMBIENTAL

La problemática ambiental, dentro de sus condicionantes, tiene una relación directa con los procesos productivos en general, evidenciados por la diversidad de componentes que interactúan y los conforman: materias primas, consumo de energía, transformaciones físicas y químicas, materiales complementarios, residuos generados en el propio proceso y también al final de la vida útil de equipos y productos (Coj López, 2013).

Todo lo anterior, tiene un efecto en el ambiente al generar emisiones, desechos, cambios en el entorno y posibles impactos adversos, temporales o permanentes.

Bajo una perspectiva ordenada y técnica, la regulación y el control ambiental surgen en la década de los setenta, cuando los profesionales de ingeniería asumen su responsabilidad frente a la sociedad para garantizar, inicialmente, la salud y el bienestar público. En esta década se crea la *Environmental Protection Agency* de EE.UU. (Perry y Green, 1998).

El tema ambiental también está normado en la legislación de los países, Guatemala no es la excepción; es así como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo (Suecia), en 1972, marcó el punto de partida definitivo para avanzar en los temas legislativos referentes a la protección y conservación del ambiente.

Sin embargo, pasaron más de diez años para que, habiéndose aceptado los compromisos en dicha conferencia, el Congreso de la República de

Guatemala emitiera la Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente en 1986, por medio del Decreto Legislativo 68-86 (Coj López, 2013).

La evolución del manejo ambiental llevó a las empresas e industrias a adoptar metodologías de gestión, sin embargo, para ser un modelo permanente y no aislado, la gestión ambiental debe trabajarse como un sistema de gestión ambiental (SGA), como las normas ISO, dentro de las cuales existen las ISO 14,000 orientadas al ambiente. Adoptar un SGA permite un enfoque ordenado, normativo y basado en la premisa de la mejora continua para ser revisado y mejorado periódicamente en todos los niveles de una organización de tipo industrial (Mejía Duarte, 2008).

Un sistema de gestión ambiental usualmente no surge desde los inicios de operación de las organizaciones industriales, conlleva un proceso y, en ocasiones, no se tiene en el corto plazo someterse en forma voluntaria a una “Certificación Ambiental”. Por ello hay alternativas de gestión sistemáticas que surgen como primera línea de acción cuyos resultados cumplen con estándares similares a los que se obtendrían de otros de carácter normativo, para obtener una certificación, ISO 14001 por ejemplo (Mejía Duarte, 2008).

A principios del siglo XX, H. W. Heinrich desarrolló una metodología basada en el análisis de eventos ocurridos y relacionados con la ocurrencia de accidentes. En sus estudios detectó que, para que ocurra un evento grave o fatal, antes ocurrieron una serie de errores, omisiones, fallas e incumplimientos en condiciones, actos o procedimientos que desencadenaron el evento no deseado (Instituto Nacional de Seguridad de Higiene en el trabajo, 2013).

En sus trabajos obtuvo una medida estadística simple que mostraba que, por cada accidente grave o fatal, antes se dieron 29 accidentes con lesiones

menores y 300 incidentes sin lesiones (cuasi accidentes). Lo anterior mostraba que, si se hacía una metodología sistematizada de gestión, análisis y control de los incidentes, se lograría reducir el número de accidentes, incluso llevarlos a “Cero Accidentes” (Instituto Nacional de Seguridad de Higiene en el trabajo, 2013).

Los números de Heinrich fueron revisados posteriormente y se demostró que la proporcionalidad no era un valor estándar para todo tipo de industria, sin embargo, el concepto de la gestión y control de los riesgos en la base de los eventos es un hecho fundamental, y se mantiene como premisa para evitar los eventos más graves (Instituto Nacional de Seguridad de Higiene en el trabajo, 2013).

La línea divisoria entre la seguridad laboral y la ambiental es difusa e interrelacionada, de tal forma que, la metodología desarrollada por Heinrich pueden reenfocarse como “Cero Incidentes Ambientales” permitiendo enfrentar y asegurar una reducción de los eventos indeseados o “accidentes con daño”, en cualquiera de las dos áreas, seguridad humana y seguridad ambiental (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014).



## **2. EL AMBIENTE Y LOS IMPACTOS A NIVEL INDUSTRIAL**

### **2.1. Ambiente**

En Guatemala, la legislación local define el alcance y el concepto de ambiente o ambiente que en el territorio nacional se les dará a estos.

En el compendio de legislación ambiental de Guatemala, elaborado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, 2010), se encuentra que por medio de la Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente, en el Artículo 13, ambiente comprende los sistemas atmosféricos (aire); hídrico (agua); lítico (rocas y minerales); edáfico (suelos); biótico (animales y plantas); elementos audiovisuales y recursos naturales y culturales.

Dentro del mismo compendio, el Reglamento para la Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, en el Artículo 3, define ambiente como el sistema de elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos, culturales y estéticos que interactúan entre sí, en permanente modificación por la acción humana o natural, y que afectan o influyen sobre las condiciones de vida de los organismos, incluyendo al ser humano (USAID, 2010).

### **2.2. Impacto y contaminación ambiental**

Todo proceso productivo, acotando el alcance de este trabajo, causará diversos impactos en el ambiente que pueden ser mínimos o de consideración. Los impactos adversos se convierten en contaminación de origen industrial y es

por ello que se deben adoptar medidas adecuadas para mitigarlos (Díaz Figueroa, 2010).

Las actividades industriales sin un marco de gestión ambiental responsable derivarán en daños irreversibles cuyo costo será trasladado a las generaciones futuras.

El trabajo de investigación, *Amenazas al ambiente y vulnerabilidad social en Guatemala*, de la Universidad Rafael Landívar (Tuy, 2005). Refiere que las amenazas, las alteraciones ambientales y la vulnerabilidad que deriva de estas; en su mayoría provienen de las acciones humanas. El efecto es sensible en el suelo, el agua, el aire, el clima, la flora y la fauna.

La contaminación ambiental derivada de la industria, entre otros conceptos, como actividad humana, se puede definir así:

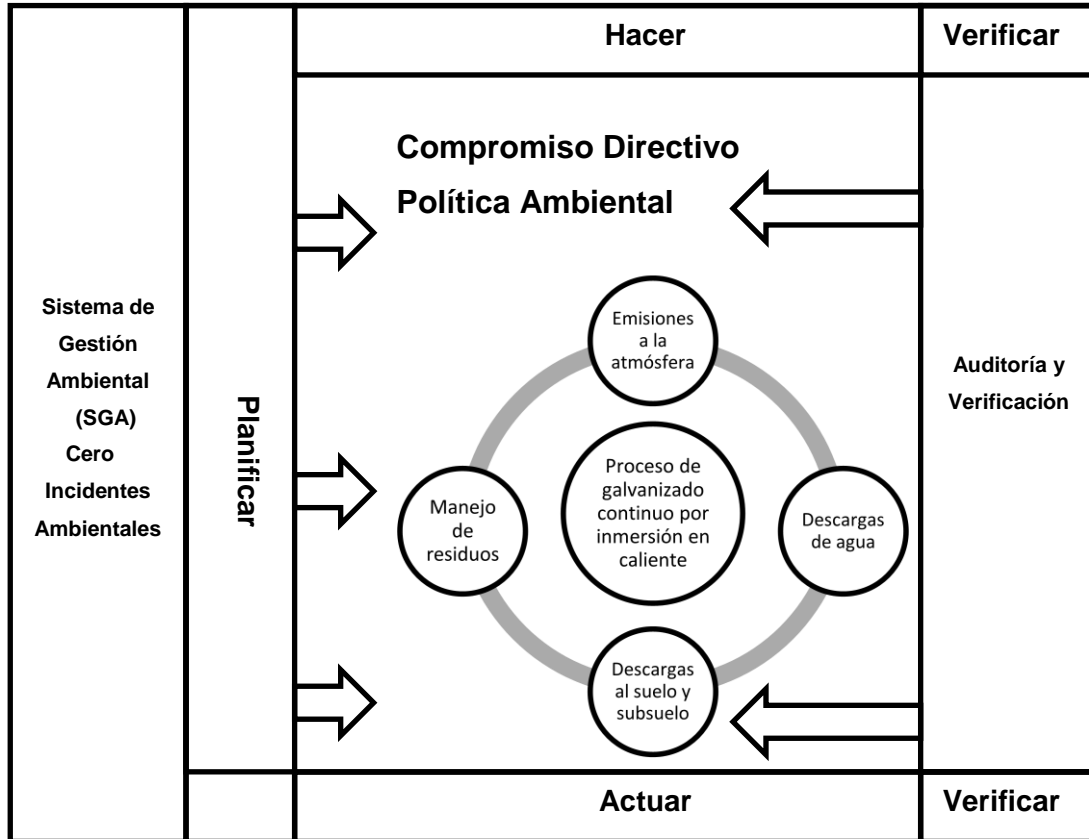
“Un ambiente se halla contaminado cuando se incorporan en él agentes contaminantes, tóxicos o infecciosos que, al exceder los límites tolerables causan directa o indirectamente una pérdida reversible o irreversible de las condiciones normales del medio y de sus componentes.” (Mendoza Berthet, 2012, pág. 5).

### **2.3. Sistema de gestión ambiental (SGA)**

Un SGA es una metodología ordenada y sistemática que permite el control de los aspectos ambientales en una organización, sobre la base de la mejora continua, esto a fin de mitigar el impacto que sus procesos puedan ocasionar en el ambiente (Mutuz Galván, 2007). Constituye como tal una herramienta, pero es de carácter gradual y progresivo para lograr los objetivos que establezca una organización, no es una alternativa de corto o mediano plazo.



Figura 1. **Mejora continua y SGA en una línea de galvanizado continuo.**



Fuente: elaboración propia (2016)

Los aspectos relevantes que debe contener un SGA, basado en la mejora continua, están definidos en la Norma ISO 14001 (Mutzus Galván, 2007). Estos deberán estar contenidos y cumplirse, a fin de hacer equivalente el diseño e implementación de un SGA, basado en la metodología de “Cero Incidentes Ambientales”:

- Planificación
- Programas ambientales
- Documentos y registros para el manual de gestión ambiental
- Implementación y operación
- Control operacional
- Control de documentos
- Verificación de la implementación

### **3. EL PROCESO DE GALVANIZADO CONTINUO POR INMERSIÓN EN CALIENTE**

El galvanizado por inmersión en caliente, se puede resumir como el proceso mediante el cual se aplica una capa fundida de zinc a una superficie de acero (Cabrera Jerez, 2005). Lo significativo del proceso es la operación continua y las temperaturas de proceso que oscilan alrededor de los 460 °C.

Bajo estas condiciones se crean condiciones de equilibrio químico que facilitan la adherencia entre el acero y el zinc, en presencia aluminio y antimonio (Cabrera Jerez, 2005). El tiempo que el acero está en contacto con el zinc fundido es de 2 a 4 segundos, por lo que las reacciones químicas se basan en la creación de fuertes enlaces metálicos entre el acero y el zinc por difusión.

El proceso de galvanizado continuo registra una diversidad de operaciones productivas que abarcan procesos químicos, energéticos, físicos, mecánicos y otros; teniendo cada uno de ellos diversos efectos sobre el ambiente. Por tal motivo, en cada uno de ellos se aplican controles y mediciones para obtener la operación óptima y con el menor impacto posible. Por tal razón, considerando el enfoque de un SGA y la diversidad de procesos mencionados, se deberá enfocar en cuatro grandes líneas de acción (Mejía Duarte, 2008):

- Emisiones a la atmósfera
- Descargas al agua
- Descargas al suelo y subsuelo
- Manejo de residuos

En la producción del acero galvanizado, se observan varias etapas para lograr un producto terminado de calidad, con buena adherencia de zinc que le darán resistencia a los efectos de la intemperie (González Cardona, 2005). La aplicación principal del acero galvanizado será la fabricación de láminas para techos y esta protección con el zinc evitarán la corrosión, manteniendo las propiedades originales del acero en cuanto a resistencia mecánica y duración.

Cada una de estas etapas genera impactos en el ambiente y que son el objetivo de implementar un SGA (Mutzus Galván, 2007). Esto para obtener un proceso productivo enmarcado dentro de las tolerancias ambientales para evitar daños a ese ambiente donde opera.

### **3.1. Etapa I. Limpieza superficial del acero sin recubrimiento**

Esta incluye el uso de los rollos de acero negro que vienen empacados con papel especial, combinación de plástico y cartón (Cabrera Jerez, 2005). Estos materiales remanentes, por la naturaleza del proceso, se generan continuamente por cada rollo de acero negro procesado.

#### **3.1.1. Retiro de chatarra y material defectuoso**

Se debe considerar esta parte de la actividad donde inicia el proceso, acá se realizan algunas actividades iniciales de purga de los rollos de acero negro, por condiciones de transporte, presentan golpes y defectos en las primeras vueltas, estas deben ser cortadas y descartadas (Cabrera Jerez, 2005).

Otra parte se genera al retirar las cubiertas y flejes metálicos exteriores con los que vienen empacadas desde el origen, teniendo como fin proteger el acero

no galvanizado de condiciones ambientales, especialmente las derivadas de traslados marítimos (Cabrera Jerez, 2005).

### **3.1.2. Limpieza alcalina**

Esta parte del proceso es fundamental para eliminar las grasas y aceites que se aplican a los rollos de acero negro, necesarios para dar protección frente a la oxidación durante el traslado marítimo.

Se utilizan compuestos químicos a base de hidróxido de sodio, en soluciones acuosas calentadas a temperaturas entre 60 y 80 °C (Cabrera Jerez, 2005). Sin esta limpieza habría como consecuencia menor adherencia del zinc fundido a la capa superficial del acero.

Para esta etapa hay un consumo energético en forma de calor, específicamente el originado por la combustión de diésel y bunker para generación de vapor, mediante calderas piro tubulares (Cabrera Jerez, 2005). Adicionalmente se tiene el consumo de energía eléctrica que se da en todas las etapas del proceso.

### **3.1.3. Lavado y enjuague en caliente**

Luego de la limpieza alcalina, se acumulan lodos y residuos contaminados con grasa, suciedad, residuos de óxido, residuos alcalinos; estos son eliminados mediante agua caliente en un rango entre 60 y 80 °C(Cabrera Jerez, 2005).

El agua es proyectada por medio de chorros que salen de boquillas difusoras aplicándola directamente sobre la tira de lámina. El consumo de agua está presente en todas las etapas del proceso de galvanizado.

### **3.2. Etapa II. Tratamiento superficial por medio de hidrógeno**

Luego de la limpieza alcalina, es necesario aplicar una limpieza controlada sobre la superficie del acero negro; esto permite eliminar óxido superficial que pudo formarse durante el traslado o almacenamiento previo a la galvanización (Cabrera Jerez, 2005). El tratamiento con hidrógeno libera la superficie del acero de cualquier traza que reduzca la adherencia del zinc.

### **3.3. Etapa III. Recubrimiento con zinc y aleaciones metálicas**

Es la etapa donde se aplica, por medio de la inmersión en la paila, la capa de zinc y otros metales que darán la protección al acero. Antes de ser aplicado el zinc fundido, la tira de lámina de acero se somete a un tratamiento térmico (760 °C), en el horno de recocido (Cabrera Jerez, 2005).

Este se utiliza para modificar las estructuras internas del acero, según será requerido, adicionalmente ayudan a evitar el choque térmico cuando se ingresa la lámina al baño de zinc.

#### **3.3.1. Inmersión en paila de metales**

Para el proceso de galvanizado se utilizan el zinc, el aluminio y el antimonio, combinación que genera humos metálicos, debido a la alta temperatura a la que son fundidos (460-465 °C). Para lograr fundir y mantener la temperatura de la paila o crisol, se utiliza combustible diésel (Cabrera Jerez, 2005). Este pasa por un conjunto de ductos, con paredes recubiertas con ladrillo refractario; que funcionan a manera de quemadores. Los gases resultantes de la combustión del diésel se eliminan a través de chimeneas.

### **3.3.2. Limpieza de escoria de zinc y otros metales**

La interacción de las trazas de hierro presentes en el acero y los metales utilizados, para recubrir el acero, producen escoria formada por oxidación (Cabrera Jerez, 2005). Esta se acumula en la superficie y contribuye en la mayor parte de la generación de los humos metálicos.

### **3.3.3. Control de capa**

La capa de metales con que se cubre el acero negro, se regula por medio de unas “cuchillas de aire”, estas son armazones en forma de labios colocadas a ambos lados de la tira de acero y, mediante flujo de aire, soplan sobre la tira haciendo que el zinc y el resto de metales en equilibrio, tenga un espesor definido o capa (Cabrera Jerez, 2005).

Se controlan juntándolas o separándolas de la tira, entre más próximas estén, menor es la capa y viceversa. Como consecuencia de su conformación, producen un ruido silbante continuo entre 95 y 110 decibeles.

## **3.4. Etapa IV. Enfriamiento y secado de la tira de acero galvanizado**

Mediante flujo de aire, la tira de lámina ya galvanizada es enfriada a una temperatura de 250 °C aproximadamente, a fin de lograr la cristalización de los metales adheridos (Cabrera Jerez, 2005).

En esta parte del proceso se produce la “flor” característica que se aprecia en los materiales galvanizados en hoja.

### **3.4.1. Enfriamiento por agua**

Inmediatamente después del enfriamiento por aire, pasa a un sistema de enfriamiento con agua para permitir un descenso de la temperatura a 30 °C aproximadamente (Cabrera Jerez, 2005). Esto permite que los operadores puedan manipularla en las fases finales y evita que se quemen los componentes de los rodillos, a base de hule, que eliminan la humedad al exprimir la tira de lámina ya galvanizada.

### **3.4.2. Secado y pasivado**

Luego del enfriado, la lámina debe ser secada completamente, de no hacerse, se crean condiciones de humedad que dan inicio al óxido blanco en la cubierta de zinc. Para ello se utiliza un sistema de secado por medio de quemadores de gases licuados del petróleo. En esta misma fase se le aplica una protección química superficial extra, denominada pasivado (Cabrera Jerez, 2005). Esta capa o protección extra permite almacenar el acero galvanizado y que mantenga su brillo característico hasta ser instalado en forma de lámina para techos.

## **3.5. Etapa V. Enrollado y empaque de producto galvanizado**

Al principio del proceso y para que este sea continuo, se aplica una soldadura que une el rollo saliente ya galvanizado con el rollo entrante, sin galvanizar. En la salida del proceso se realiza el enrollado y la tira de lámina ya galvanizada, esta debe cortarse para obtener los rollos que se utilizarán en posteriores procesos; esto genera restos de metal y chatarra (Cabrera Jerez, 2005). Para el empaque de rollos se utilizan los mismos componentes



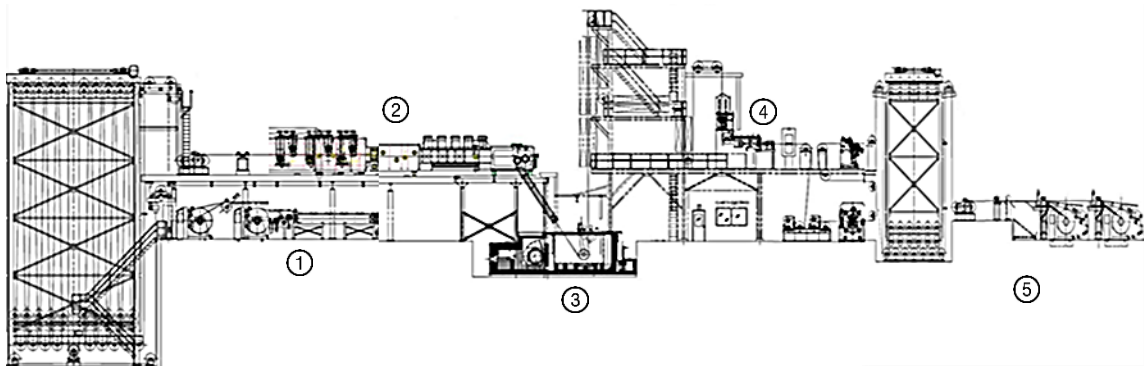
provenientes del empaque del rollo de acero sin recubrimiento, se reutilizan papeles, cinchos o flejes metálicos.

Tabla I. **Etapas del proceso de galvanizado continuo por inmersión en caliente**

No. Etapa	Nombre	Descripción
1	Limpieza superficial del acero sin recubrimiento	Fundamental para eliminar las grasas y aceites que se aplican a los rollos de acero negro, necesarios para dar protección frente a la oxidación durante el traslado marítimo.
2	Tratamiento superficial por medio de hidrógeno	Permite eliminar óxido superficial que pudo formarse durante el traslado o almacenamiento previo a la galvanización
3	Recubrimiento con zinc y aleaciones metálicas	Es la etapa donde se aplica, por medio de la inmersión en la paila, la capa de zinc y otros metales que darán la protección al acero.
4	Enfriamiento y secado de la tira de acero galvanizado	Por medio de aire, la tira de lámina galvanizada es enfriada a una temperatura de 250 °C y posteriormente, con agua para llevarla a 30 °C aproximadamente.
5	Enrollado y empaque de producto galvanizado	En la salida del proceso se realiza el enrollado y la tira de lámina ya galvanizada debe cortarse para obtener los rollos que se utilizarán en posteriores procesos.

Fuente: elaboración propia (2016)

Figura 2. **Diagrama de una línea de galvanizado continuo por inmersión en caliente**



Fuente: Ternium Internacional Guatemala, S. A. (2008).



#### **4. ¿QUÉ ES LA METODOLOGÍA CERO INCIDENTES AMBIENTALES?**

Los estudios realizados por Heinrich, pionero de la salud ocupacional y la seguridad, marcaron la línea de acción del modelo que busca controlar aquellos eventos que no causaron daño (García Ramón & Vallejo Carrera, 2014). Hacerlo en esta etapa permite aplicar controles adecuados antes del daño, ya que tienen el potencial de causarlo.

La línea divisoria entre la seguridad laboral y la ambiental en ocasiones puede ser difusa, llegando a cruzarse incluso, de esa cuenta este trabajo mostrará que la metodología “Cero Incidentes Ambientales” es aplicable en ambos campos (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014).

Un SGA basado en esta metodología persigue que la gestión de las actividades tenga como meta controlar los eventos sin daño. Por ejemplo, una fuga por goteo en una tubería por la que se trasiega ácido es un “desvío” al funcionamiento correcto que se tenía previsto para dicha instalación y causa un “incidente menor” de contaminación en el suelo (García Ramón & Vallejo Carrera, 2014).

No actuar en ese momento se convierte en un riesgo potencial de daño mayor, porque esa pequeña gota podría ser el aviso que la tubería llegó al final de su vida útil y que está próxima a ceder, causando un derrame mayor y hasta ser una catástrofe.

Este comportamiento, como una mejora al modelo de Heinrich, se denominó modelo del “Iceberg” (García Ramón & Vallejo Carrera, 2014). Esta analogía predice que la punta del iceberg es el equivalente a un evento grave (accidente o incidente con daños significativos) pero debajo en la zona que pasa desapercibida o no es visible, y donde se dieron un gran número de eventos que fueron sumando para que ocurriera el evento mayor.

Existen a lo largo de la historia diversas catástrofes ambientales que fueron la suma de muchos incidentes menores, sin efectos al entorno, pero no fueron atendidos oportunamente.

Esto permitirá enfrentar y asegurar una reducción de los eventos indeseados o “accidentes con daño”, en cualquiera de las dos áreas.

#### **4.1. Fuentes contaminantes**

Lo anterior puede confirmarse ejemplificando las siguientes fuentes de exposición que pueden dar lugar a lesiones, daños ambientales o ambos.

##### **4.1.1. Exposiciones químicas**

Disolventes, compuestos para limpiar, o desengrasar, ácidos, álcalis y cualquier producto químico que sea utilizado o desechado en un proceso productivo.

Se puede observar que entrando en contacto no controlado con los humanos producirán lesiones, enfermedades crónicas o agudas (Díaz Figueroa, 2010). Y si por ejemplo se trata de derrames, estos dañarán las fuentes hídricas, el subsuelo, la flora o la fauna.

#### **4.1.2. Exposiciones físicas**

Ruido, calor, frío, emisiones gaseosas. El ejemplo de lesiones en estas puede ser la pérdida auditiva, quemaduras e intoxicaciones (Díaz Figueroa, 2010). Por el lado ambiental, aumento de las emisiones contribuyentes al calentamiento global o incremento del ruido ambiental.

#### **4.1.3. Exposiciones biológicas**

Virus, bacterias, mohos, sangre, desechos biológicos. Claramente un empleado que tenga contacto con dichos elementos y no cuenta con un buen sistema de prevención y control del riesgo, sufrirá enfermedades por la exposición (Mendoza Berthet, 2012). Ambientalmente un mal manejo podría causar daños irreparables o mortandad extensa en poblaciones humanas, la flora y la fauna.

#### **4.1.4. Exposición a diversas formas de energía**

Exposición a energía térmica, nuclear, eléctrica, geotérmica, hidráulica y otras donde un caso evidente de la afectación a la seguridad humana y ambiental fue el evento de Chernóbil, accidente nuclear sucedido el 26 de abril de 1986. La catástrofe de Chernóbil afectó gravemente a Bielorrusia, Ucrania y Rusia, causando pérdidas incalculables y daños terribles a las personas, a la flora y a la fauna. Más de 160 000 km<sup>2</sup> se encuentran contaminados (Aguayo Ríos, 2008).

El accidente de Chernóbil fue una de las mayores catástrofes ambientales, sus costos en el 2000, superaban los 250 000 millones de dólares, según un estudio oficial del Gobierno ruso, revelado por el Wall Street Journal (Aguayo Ríos, 2008).

## **4.2. Elementos para un SGA “Cero Incidentes Ambientales”**

Los elementos a desarrollar de la metodología “Cero Incidentes Ambientales” tendrán una estructura definida, inicia por los compromisos directivos pasando por las fases de implementación y concluyendo con la revisión periódica y mejora del SGA (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014). Tal y como se muestra líneas abajo, demostrándose así que son compatibles con SGA como lo es ISO 14001.

### **4.2.1. Compromiso de la Dirección**

Los objetivos de un SGA se cumplirán dependiendo del grado de participación de la Dirección.

Cuando hay un compromiso directivo los esfuerzos, recursos y avances del proceso de implementación (Mejía Duarte, 2008). De la Dirección saldrá la política medio ambiental que regirá el camino de todas las áreas de la organización que buscarán desarrollar e implementar el SGA.

### **4.2.2. Comunicación e involucramiento**

Establecida la política y los objetivos se deberá trasladar la información, es decir, comunicarlos a todos los niveles de la organización (Mejía Duarte, 2008). También se deberá tener un programa de comunicación por diversas vías donde se informe de los planes y programas, los roles y las actividades individuales y colectivas dentro del proceso de implementación del SGA.

### **4.2.3. Inducción y capacitación**

El personal en general debe contar con la asistencia necesaria para comprender cómo encaja en el proceso de implementación de un SGA. Esto se logra conformando equipos de trabajo por área donde se comunicarán la política, los objetivos, los fundamentos y la metodología de implementación (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014). Deberá ser una formación práctica y orientada al trabajo de piso, para establecer los procedimientos y normas que permitan que funcione el SGA.

### **4.2.4. Roles y responsabilidades**

En concordancia con la inducción y capacitación para obtener resultados positivos en la implementación, cada uno de los participantes, en los distintos niveles de la organización, deberá conocer qué debe hacer para la implementación y permanencia del SGA (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014). Una definición clara de los roles y responsabilidades permitirá dirigir esfuerzos conjuntos y reducir fallas durante la implementación al no tenerse la certeza de lo que se debe hacer desde un puesto específico.

### **4.2.5. Obligaciones legales**

El punto de partida para la implementación del SGA es el cumplimiento legal vigente. Es importante que la organización tenga una información y conocimiento exacto de los aspectos legales que en materia ambiental le aplican (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014). Ningún SGA será efectivo si se incumple la legislación local que le aplica a una organización, porque desde su inicio ya estaría en falla y sujeta a sanciones; lejos de los objetivos de gestión.

#### **4.2.6. Identificación de peligros y evaluación de riesgos**

Cuando se trabaja en la implementación de un SGA se deberán hacer muchos esfuerzos, en diferentes áreas de una organización. No todos estos esfuerzos tienen el mismo nivel de impacto y, por ello, es necesario priorizar las acciones.

Una identificación de peligros y los riesgos asociados a estos facilitan la administración de los recursos disponibles (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014). En esta etapa también se logran visualizar las posibles acciones de control de los riesgos, que luego serán propuestas y analizadas para lograr implementar la óptima.

#### **4.2.7. Documentación y elaboración de los procedimientos**

En un SGA se debe dejar documentado cómo se desarrollarán y harán las diferentes actividades del personal. De la etapa anterior se debieron obtener las mejores prácticas ambientales para los diferentes procesos, estas deben quedar registradas para luego estar disponibles, ser comunicadas, y tener vigencia para lograr formar y entrenar a los grupos de trabajo de forma homologada (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014).

Esto permite dirigir a todos hacia un mismo fin y objetivos manteniendo controles permanentes que podrán mejorarse conforme se va logrando madurez cuando ha sido implementado un SGA.



#### **4.2.8. Inspección, investigación, información y reportes de campo**

Establecidos los procedimientos, los ejecutantes y los responsables de darles seguimiento deberán inspeccionar que sean cumplidos (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014). Cuando esto no sucede deberán informar y reportar, para emprender las investigaciones necesarias que muestren las causas raíz que llevaron al incumplimiento y los planes de mejora aplicables.

#### **4.2.9. Auditorías de verificación y mejora del sistema**

Esta etapa es la evaluación sistemática de los puntos o requisitos del SGA. Será la comprobación de la efectividad de la implementación del SGA y documentará las mejoras que deberán desarrollarse para ir soportando la evolución del mismo (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014).

Una auditoría es el diagnóstico objetivo de un SGA, cuyo informe será remitido a la dirección para su seguimiento.

#### **4.2.10. Preparación para emergencias**

La implementación de un SGA tiene como objetivo que las actividades de una organización no deriven en daños ambientales, pero el factor humano y los errores están presentes (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014).

Por lo mismo deberán documentarse las posibles situaciones que escaparían de control y las acciones para mitigarlas y controlarlas.

Un SGA basado en la metodología: “Cero Incidentes Ambientales”, a lo largo de todas las etapas de implementación y funcionamiento, tiene como meta lograr una cultura ambiental (Centro Especializado de Formación Integrada, S. C., 2014). Esto significa que, respetando las diferencias individuales, una organización tiene una serie de principios y valores de respeto al ambiente y que no derivan de la imposición sino de la convicción.

Al ser el enfoque de este trabajo hacia la industria, para lograr esa cultura debe implementarse la disciplina operativa de procesos (Obregón Chávez, 2007). Consiste en generar las mejores prácticas de trabajo para realizar las actividades y detectar oportunamente mejoras, para evitar situaciones de riesgo hacia la salud, el ambiente y cumplir con los planes productivos.

## **5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

La recopilación de la información, se realizó por medio de un sistema de base de datos desarrollado por el personal de sistemas informáticos.

Esta recopilación fue acompañada por una divulgación y capacitación al personal operativo para brindarles los conocimientos mínimos necesarios para identificar cuándo y en qué eventos había impacto ambiental o solamente amenaza.

Los eventos documentados se dividieron en dos categorías generales: los desvíos que representan variaciones del procedimiento ambientalmente seguro, pero sin consecuencias, y los incidentes, que son eventos donde sí ocurrió un impacto al ambiente.

Esto permitió elaborar un mapa de riesgos y establecer una la línea base de trabajo, con lo anterior se pudieron definir prioridades y optimización de recursos para determinar los puntos del proceso que pudieran derivar en efectos negativos al ambiente, según su magnitud.

La información requerida para el ingreso de datos se muestra a continuación, la misma fue integrada a las computadoras que el personal operativo utilizaba en sus puestos de trabajo para las tareas de registro de producción del proceso de galvanizado.

**Tabla II. Información de eventos con impacto ambiental potencial o real del proceso de galvanizado**

No. de Campo	Información solicitada	Descripción de la información solicitada
1	Fecha: fecha de la observación del evento.	Este campo permite delimitar y analizar por periodos de trabajo cuando se daban los desvíos o los incidentes relacionados con el ambiente.
2	Hora: hora de la observación del evento	Permite poder analizar el evento y darle trazabilidad a lo largo del tiempo de proceso y determinar condiciones de ambiente de trabajo que pudieran haber incidido en la ocurrencia.
3	Nombre: dato de la persona que reporta	Nombre del observador para identificar quien reportó el evento y para posibles ampliaciones.
4	Planta: lugar de trabajo	Consigna el nombre de la planta, unidad o sección donde se realiza la observación.
5	Lugar del evento: punto exacto donde ocurre el evento observado	Se registra exactamente el punto, en el proceso de galvanizado, donde ocurre el evento reportado. Permite establecer el lugar de origen probable de los posibles u ocurridos impactos ambientales.
6	Descripción: información del evento ocurrido	Campo donde se registra de manera objetiva el evento observado, brinda información sobre la actividad, proceso, tarea y otros para referenciar y entender lo ocurrido.
7	Tipo de evento: campo que registra si lo ocurrido u observado fue un incidente o un desvío	El desvío es una situación de incumplimiento con riesgo de impacto ambiental sin que ocurra el impacto. Un incidente es un evento donde ocurre una situación de impacto ambiental.
8	Gravedad: nivel de consecuencia del impacto	Es la gravedad de la consecuencia, pudiendo ser leve, media, grave y extremadamente grave.
9	Probabilidad: este campo indica la probabilidad de que ocurra el impacto	La probabilidad puede ser muy poco probable, poco probable, probable y altamente probable.
10	Riesgo potencial: nivel de consecuencia alto, medio o bajo del evento	Permite definir un nivel de consecuencia probable o real del evento observado. El riesgo potencial se define al relacionar la gravedad del efecto y la probabilidad que ocurra según matriz de evaluación de impactos mostrada en la tabla III.
11	Causa principal: origen del evento, puede ser por condición, acto o sistema de gestión (procedimientos).	El evento ambiental tiene su origen por condiciones, actos inseguros, o por el sistema de gestión (procedimientos) inadecuados, inexistentes o no comunicados.
12	Actos: registro de eventos por causa humana	Desvíos o incidentes de tipo ambiental cuya causa principal es resultado de comportamientos.
13	Condiciones: registro de eventos por causas de elementos físicos.	Desvíos o incidentes cuya causa principal es una condición deficiente en equipos, infraestructura, materiales y otros similares que no fueron resultado de comportamiento.
14	Sistema de gestión: registro de eventos relacionados con los procedimientos de trabajo.	Desvíos o incidente originados por procedimientos de trabajo deficientes y mal diseñados o inexistentes, falta de capacitación o programas de entrenamiento.

Fuente: elaboración propia (2016).

Para la categorización de los desvíos e incidentes se aplicó una matriz de evaluación para determinar el grado de riesgo como alto, medio o bajo.

Esta valoración se determinó por la gravedad de la consecuencia real o potencial (impacto), y por la probabilidad que ocurriera.

Estos datos se introdujeron en los campos mencionados anteriormente y, por medio del algoritmo del sistema de manipulación de los datos, asignaba el valor o nivel de riesgo del evento reportado.

Inicialmente los eventos se categorizaron en función del impacto y su gravedad, esta información se combinó luego con la probabilidad de ocurrencia.

Alto impacto definirá el evento cuya consecuencia al ambiente incumple las normativas legales y/o que lo afectará de forma permanente.

Moderado impacto será el evento cuya consecuencia al medio ambiente no incumple las normativas legales, pero su efecto si es repetitivo puede derivar en daños de lenta recuperación.

Bajo impacto será el evento cuya consecuencia al medio ambiente no incumple las normativas legales y su efecto es de corta duración.

Leve impacto será el evento cuya consecuencia al medio ambiente no incumple normativa legal y su efecto no representa daño, pero constituye un aviso para aplicar controles ya que puede derivar en un evento más dañino.

Con relación a la probabilidad también se definieron parámetros que permitieran establecer qué tantas veces en el tiempo ocurrirán u ocurrieron los impactos.

Alta probabilidad define el evento que dadas las observaciones y las condiciones puede ocurrir en cualquier momento y no dentro del mes próximo a la detección.

Moderada probabilidad define el evento que dadas las observaciones y las condiciones puede ocurrir, pero en los seis meses siguientes a la detección.

Baja probabilidad define el evento que dadas las observaciones y las condiciones puede ocurrir dentro del año siguiente a la detección.

Leve probabilidad define el evento que dadas las observaciones y las condiciones remotamente puede ocurrir o que para que ocurra le lleve más de un año desde su detección.

Tabla III. **Matriz de evaluación del riesgo de eventos observados, probabilidad x impacto**

	Alto 9-12 Medio 4-8 Bajo 1-3	Probabilidad			
		Leve probabilidad (1)	Baja probabilidad (2)	Moderada probabilidad (3)	Alta probabilidad (4)
Impacto	(4) Alto impacto	4	8	12	16
	(3) Moderado Impacto	3	6	9	12
	(2) Bajo impacto	2	4	6	8
	(1) Leve impacto	1	2	3	4

Fuente: elaboración propia (2016)

Con esta matriz se hizo la categorización general de los eventos para establecer cuáles serían los de atención especial o de alto riesgo, con puntuaciones de 9 a 16, y por lo mismo a ser solucionados o mitigados de forma inmediata.

Los de riesgo medio serían los que tengan puntuación de 4 a 8, siendo necesario controlarlos en forma gradual, pero sin el grado de intensidad y premura de los de alto riesgo.

Por último, los de riesgo bajo define a los eventos cuya atención y asignación de recursos, sin perderlos de vista, pueden diferirse mientras se reducen los riesgos alto y medio.

El período analizado de los datos, se realizó desde el mes de julio 2015 al mes de abril de 2016, de esta forma se establecieron los puntos de riesgo a lo largo del proceso de galvanizado y se documentaron en el mapa indicando el grupo ambiental afectado o potencialmente vulnerable:

- Emisiones a la atmósfera
- Descargas de agua
- Descargas al suelo y subsuelo
- Manejo de residuos

Los grupos anteriores dieron lugar a la medición de las operaciones: que consistió en la obtención de mediciones del proceso de galvanizado continuo, acotados a parámetros ambientales, con el fin de establecer indicadores de la efectividad de la gestión ambiental y cumplimiento de los criterios ambientales aceptados.

En esta etapa se definió una tabla de las variables clave como se muestra a continuación, así como el indicador propuesto.

Tabla IV. **Variables ambientales consideradas dentro del SGA**

Variable ambiental	Sub-Tipo	Origen
Emisiones atmosféricas	Gases emanados en el proceso de combustión, calentamiento y fundición.	Galvanizado y equipos periféricos.
Descargas al agua	Soluciones acuosas residuales alcalinas, ácidas y contaminadas u otros químicos provenientes del proceso de galvanizado.	Proceso de lavado, enfriado y pasivado.
Descargas al suelo	Hidrocarburos líquidos, químicos no diluidos con agua y otros.	Durante carga-descarga, almacenamiento y uso en galvanizado.
Manejo de residuos	Desechos peligrosos y no peligrosos.	Galvanizado y equipos periféricos.

Fuente: elaboración propia (2016).

El cumplimiento del indicador deberá evaluarse contra un rango de significancia, es decir, el criterio que puede definirlo como aceptable. El cumplimiento legal en primera instancia y luego los niveles definidos por la empresa.

Continuando con la metodología de los indicadores, se estableció qué unidad de medida debería estar asociada a cada uno de ellos:



Tabla V. **Indicadores asociados a las variables ambientales**

Variable ambiental	Sub-Tipo	Unidad Indicador
Emisiones atmosféricas	Gases emanados en el proceso de combustión, calentamiento y fundición (partículas suspendidas, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO)	µg/m <sup>3</sup>
Descargas al Agua	Soluciones acuosas residuales alcalinas, ácidas y contaminadas con otros químicos provenientes líquidos provenientes del proceso de galvanizado.	mg/L
Descargas al suelo	Hidrocarburos líquidos, químicos y otros no diluidos con agua.	L/T
Manejo de Residuos	Desechos sólidos peligrosos y no peligrosos.	Kg/T L/T

Fuente: elaboración propia (2016).

A continuación, se muestran los valores máximos permisibles y las fuentes consultadas que se definieron para validar el cumplimiento de los indicadores en relación a emisiones atmosféricas y descargas al agua.

Tabla VI. **Límites máximos permisibles para las emisiones atmosféricas**

Contaminante	Unidad	Valor límite
Monóxido de carbono (CO media 8 horas)	µg/m <sup>3</sup>	10.00
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> media 24 horas)	µg/m <sup>3</sup>	20.00
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>2</sub> media anual)	µg/m <sup>3</sup>	40.00
Partículas suspendidas (media anual)	µg/m <sup>3</sup>	µ <sub>2,5</sub> =10.00 µ <sub>10</sub> =75.00

Fuente: Guía de calidad del aire en exteriores (OMS, 2005).

Tabla VII. **Límites máximos permisibles de metales pesados para descargas de agua**

Contaminante	Unidad	Valor límite
Zinc	mg/L	10.00
Cromo	mg/L	0.5
Plomo	mg/L	0.2

Fuente: Acuerdo gubernativo 66-2005.

Para descargas al suelo-subsuelo de hidrocarburos líquidos, químicos y otros no diluidos con agua; el criterio adoptado se estableció como no permitido, es decir que el indicador deberá reflejar 0.00 L/T.

Para la parte de residuos, estos se dividieron en peligrosos y no peligrosos, para los peligrosos el valor del indicador será la cantidad de kilogramos de residuos colectados si estos son sólidos y metros cúbicos en caso de líquidos.

En el caso de los no peligrosos se definieron la chatarra, con un indicador máximo de generación del 1 % del total de toneladas de producto terminado (lámina de acero galvanizada). Dentro del SGA esta chatarra se manejará como venta a fundidora para reciclaje.

El resto de no peligrosos como plástico, madera, vidrio, cartón y papel que se entregan a un contratista para su reutilización o reciclaje y el resto como basura, que se dispone por medio de los servicios municipales.

Para que el SGA tuviera el fundamento de la mejora continua fue necesario definir la verificación de efectividad del mismo, es decir, la evaluación periódica que deberá implementarse para comprobar que los controles de los riesgos son efectivos y, por lo mismo, permiten alcanzar los indicadores propuestos que cumplen los criterios ambientales.

En la última parte de la metodología, se estableció el cuestionario o medio base para darle seguimiento al proceso de galvanizado de acuerdo a los criterios y parámetros establecidos dentro del SGA.

De esta etapa surge el reporte para revisión de la Dirección, mismo que cierra el circuito de mejora continua con las observaciones e instrucciones pertinentes para mantener y mejorar el SGA.

Este reporte es el consolidado de hallazgos detectados (no cumplen los criterios establecidos), el impacto potencial que tiene ese hallazgo, así como las áreas donde ocurre.

Contiene también el responsable de llevar a control el hallazgo, la fecha prevista de cumplimiento y los posibles recursos a requerir.

**Tabla VIII. Descripción de la matriz de control operacional, monitoreo y medición**

Campo	Descripción	Objetivo de información
Planta	Centro productivo objeto del SGA	Datos generales
Responsable de departamento y aprobador del informe	Persona responsable de los sectores objeto del SGA	Datos generales
Jefe de sector y elaborador	Jefe del sector quien reporta los hallazgos	Datos generales
Revisor	Responsable de medio ambiente quien verifica la información sobre los hallazgos	Datos generales
Documento	Clave del documento	Datos generales
Revisión	Versión aprobada del documento	Datos generales
Fecha	Fechas de elaboración, revisión y aprobación del informe	Datos generales
Proceso	Conjunto de actividades de producción según etapa del proceso	Información de producción
Actividad	Tarea auditada u observada en el proceso	Información de producción
Aspecto ambiental significativo	Elemento de las actividades que al interactuar con el ambiente genera o puede generar un impacto negativo significativo al ambiente.	Información de producción
Elemento de control	Dispositivos, procedimientos o puntos que permiten administrar el proceso de forma ambientalmente segura.	Control operacional
Registro de control operacional	Registro o evidencia de la aplicación del control operacional para evitar impactos ambientales	Control Operacional
Característica clave	Característica relevante objeto del control ambiental	Control Operacional
Documento y registro de monitoreo-medición	Documento que registra los parámetros y mediciones obtenidas del proceso relacionado con la característica relevante.	Monitoreo y medición
Frecuencia de monitoreo	Periodicidad del monitoreo y mediciones aplicadas al proceso, su control y característica clave.	Monitoreo y medición
Responsable del monitoreo	Persona que realiza el monitoreo y mediciones	Monitoreo y medición

Fuente: Ternium Internacional Guatemala, S. A. (2016).

## 6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Cuantificación de riesgos

Se revisaron y analizaron datos de 500 eventos reportados, se obtuvieron los siguientes resultados que se organizaron, según variable ambiental, nivel de riesgo y causa del evento.

Sin embargo, al recopilar los datos hubo unos eventos relacionados al ambiente que no contaban con una variable para registro, estas se adicionaron y se muestran dentro de los mismos resultados.

Tabla IX. **Eventos reportados para emisiones atmosféricas**

Variable ambiental	Tipo evento	Riesgo Potencial	Causa Principal	Total
Emisiones atmosféricas	Desvío	ALTO	Acto	1
			Condición	4
			Sistema de Gestión	4
		MEDIO	Acto	1
			Condición	14
			Sistema de Gestión	1
		BAJO	Acto	1
			Condición	14
		Incidente	MEDIO	Acto
	Condición			3
	<b>Total general</b>			

Fuente: elaboración propia (2016)

Tabla X. **Eventos reportados para descargas al suelo**

Variable ambiental	Tipo evento	Riesgo Potencial	Causa Principal	Total	
Descargas al suelo	Desvío			<b>130</b>	
		ALTO			8
			Condición		7
			Sistema de Gestión		1
		MEDIO			52
			Acto		8
			Comportamiento		2
			Condición		39
			Sistema de Gestión		3
		BAJO			70
			Acto		8
			Comportamiento		1
			Condición		60
			Sistema de Gestión		1
		Incidente			<b>28</b>
	ALTO				2
			Acto		1
			Condición		1
	MEDIO				13
			Acto		2
			Comportamiento		1
			Condición		9
			Sistema de Gestión		1
	BAJO				13
			Acto		2
		Condición		9	
	Sistema de Gestión		2		
Total general				<b>158</b>	

Fuente: elaboración propia (2016).

Las descargas al suelo evidenciaron un alto número de eventos, la mayoría fueron por fugas en equipos móviles y en motorizaciones de la línea de galvanizado; la mayoría de los eventos se reportaron como fugas de hidrocarburos.

Los reportes de descargas al suelo no incluyeron volúmenes o alguna métrica que permitiera cuantificarlos.

También los eventos de descargas al suelo contabilizan el mayor número de incidentes (28 casos), con respecto a los otros grupos, según su variable ambiental.

**Tabla XI. Eventos reportados para descargas al agua**

Variable ambiental	Tipo evento	Riesgo Potencial	Causa Principal	Total	
Descargas al agua	Desvío	ALTO		<b>32</b>	
				3	
			Acto	1	
			Condición	2	
		MEDIO		19	
			Acto	2	
			Condición	14	
			Sistema de Gestión	3	
		BAJO		10	
			Condición	10	
		Incidente	ALTO		<b>8</b>
					3
				Acto	1
			Condición	2	
	MEDIO			2	
			Acto	1	
			Condición	1	
	BAJO			3	
		Condición	3		
	Total general			<b>40</b>	

Fuente: elaboración propia (2016).

Los reportes de eventos relacionados a descargas al agua no reportan incidentes y básicamente son situaciones que requieren corrección, aunque no han representado un daño o impacto al recurso agua.

Tabla XII. **Eventos reportados para residuos**

Variable ambiental	Tipo evento	Riesgo Potencial	Causa Principal	Total
<b>Residuos no peligrosos</b>				
	Desvío			40
		MEDIO		12
			Acto	3
			Comportamiento	1
			Condición	8
		BAJO		28
			Acto	9
			Condición	13
			Sistema de Gestión	6
	Incidente			1
		MEDIO		1
			Acto	1
<b>Residuos peligrosos</b>				
	Desvío			90
		ALTO		3
			Acto	2
			Condición	1
		MEDIO		26
			Acto	11
			Condición	14
			Sistema de Gestión	1
		BAJO		61
			Acto	18
			Condición	30
			Sistema de Gestión	13
	Incidente			1
		BAJO		1
			Condición	1
<b>Total general</b>				<b>132</b>

Fuente: elaboración propia (2016).

Con relación a los residuos peligrosos, se pudo comprobar que únicamente se reporta un incidente y el mismo de riesgo bajo. Esto muestra un manejo aceptable de dichos desechos, pero requiere una atención especial porque hubo un alto número de reporte sobre desviaciones (90 eventos).



Se observa con los residuos no peligrosos un incidente. Los desvíos son menos con relación a los peligrosos (40 eventos), siendo en su mayoría por disposición inadecuada o fuera de los recipientes normados.

Tabla XIII. **Eventos reportados para eficiencia, uso de químicos y verificación del SGA**

Variable ambiental	Tipo evento	Riesgo Potencial	Causa Principal	Total
Eficiencia y consumo	Desvío			<b>17</b>
		MEDIO		6
			Acto	3
			Condición	1
			Sistema de Gestión	2
		BAJO		11
			Acto	3
			Condición	7
			Sistema de Gestión	1
	Uso de químicos	Desvío		
		ALTO		1
			Condición	1
		MEDIO		12
			Acto	2
			Condición	9
			Sistema de Gestión	1
		BAJO		14
			Acto	5
			Condición	9
Verificación del SGA	Desvío			<b>20</b>
		ALTO		4
			Sistema de Gestión	4
		MEDIO		8
			Condición	3
			Sistema de Gestión	5
		BAJO		8
			Acto	2
			Condición	2
			Sistema de Gestión	4
Total general				<b>64</b>

Fuente: elaboración propia (2016).

El reporte de eventos realizado para el proceso de galvanizado mostró otros grupos de variables que no se habían considerado inicialmente. Estas denotan elementos de gestión importantes para la implementación del SGA.

Eficiencia y consumo fue una de las categorías adicionadas, la eficiencia representa el aprovechamiento óptimo de la energía, principalmente la eléctrica y la que resulta de la combustión de hidrocarburos.

El consumo representa el uso adecuado del agua para servicios complementarios del proceso de galvanizado, especialmente los utilizados en servicios del personal.

Esta categoría reportó 17 eventos, por eficiencia se registraron eventos por desperdicio energético, iluminación, equipos encendidos fuera de uso (eléctricos y de combustión).

Por el lado de consumo, se reportaron en su mayoría fugas de agua por tuberías dañadas o llaves abiertas.

Con relación a la categoría uso de químicos, se reportaron 27 eventos que mostraron fallas en el manejo; principalmente por la falta de contenedores adecuados para transporte y de sistemas de contención por posibles derrames o fugas en su almacenamiento, traslado y uso.

La categoría verificación del SGA muestra hallazgos por falta de programa de auditorías, estas dirigidas a los procedimientos existentes para control de riesgos ambientales.

También se detectó incumplimiento a los documentos de entrega de químicos, documentos de verificación de instalaciones y procedimientos de identificación junto a la ausencia de hojas de seguridad de los productos.

**Tabla XIV. Eventos reportados para cumplimiento legal**

Variable ambiental	Tipo evento	Riesgo Potencial	Causa Principal	Total
Cumplimiento legal				
	Desvío			<b>6</b>
	ALTO			3
			Condición	1
			Sistema de Gestión	2
	MEDIO			3
			Sistema de Gestión	3
	Incidente			<b>1</b>
	ALTO			1
			Acto	1
Total general				<b>7</b>

Fuente: elaboración propia (2016).

Una categoría importante dentro del SGA fueron los reportes sobre cumplimiento legal, especialmente en la forma de permisos o licencias gubernamentales y municipales.

En estos eventos principalmente, se observó falta de evidencia de licencias ambientales, manejo de residuos o actualización de permisos.

Incluso se reporta un incidente con implicaciones ambientales, descarga de aguas residuales desde la planta de tratamiento incumpliendo los parámetros de ley, por lo mismo se registró como riesgo alto, ya que de no haberse controlado hubiera implicado sanciones legales.

Tabla XV. **Eventos reportados sin categoría**

Variable ambiental	Tipo evento	Riesgo Potencial	Causa Principal	Total
Sin categoría				
	Desvío			<b>23</b>
		ALTO		1
			Sistema de Gestión	1
		MEDIO		11
			Acto	3
			Condición	8
		BAJO		11
			Acto	1
			Condición	9
			Sistema de Gestión	1
	Incidente			<b>2</b>
		BAJO		2
			Condición	2
<b>Total general</b>				<b>25</b>

Fuente: elaboración propia (2016).

Dentro de los eventos reportados, también se clasificaron 25 que no responden a los puntos convenidos dentro del SGA, sin embargo, se documentaron, ya que conllevarán a planes para darles solución, pero fuera del SGA.

Estos reportes, por ejemplo, registraban goteras dentro de las instalaciones, uso inadecuado de herramientas, un incidente relacionado a la caída de productos terminados y similares que no encuadran en impactos ambientales.

Por último, se realizó la tabulación de resultados para los eventos reportados de alto riesgo, organizados por categoría de causas y se mostraron esquemáticamente a lo largo del proceso de galvanizado, para contar con una vista de los puntos de generación e implementar los controles necesarios.

Tabla XVI. **Mapa de riesgos ambientales por sección del proceso de galvanizado**

Etapa	Sección	Riesgo			
		Emisiones atmosféricas	Descargas al suelo	Descargas al agua	Residuos sólidos
1	Carga y limpieza de acero negro	Gases de combustión	Fugas y derrames	Lodos y aguas residuales de proceso	Generación de metales, plásticos, cartón
2	Tratamiento térmico	Gases de combustión	No ocurren	No ocurren	No ocurren
3	Recubrimiento galvanizado	Generación de humos de fundición y gases de combustión	No ocurren	No ocurren	Generación de escoria por fundición de metales
4	Enfriamiento de tira de lámina	Generación de gases de combustión	Fugas y derrames (químicos peligrosos y agua contaminada)	Lodos y aguas residuales del proceso de enfriamiento y pasivado	No ocurren
5	Enrollado y empaque de producto terminado	No ocurren	No ocurren	No ocurren	Plástico y metales

Fuente: elaboración propia (2016).

## 6.2. Medición de las operaciones

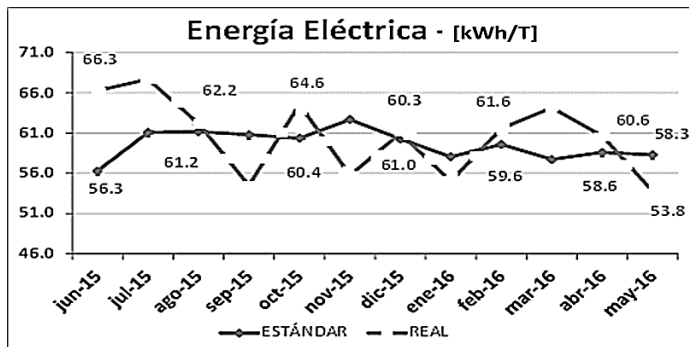
Los indicadores ambientales se resumieron en cuatro categorías, esto no implica que a futuro no se definan otros en función de las variables que surgieron de la evaluación inicial.

El histórico de producción de acero galvanizado, para el período analizado de julio 2015 a mayo 2016, fue de 16 752.00 toneladas (T), arrojando un promedio mensual de 1 675.20 T/mes.

Durante la investigación, aún no se habían instalado equipos de medición para las variables ambientales de los indicadores. Sin embargo, por medio de las gráficas de consumo, será posible correlacionar la variable ambiental con la producción real mensual y el estándar.

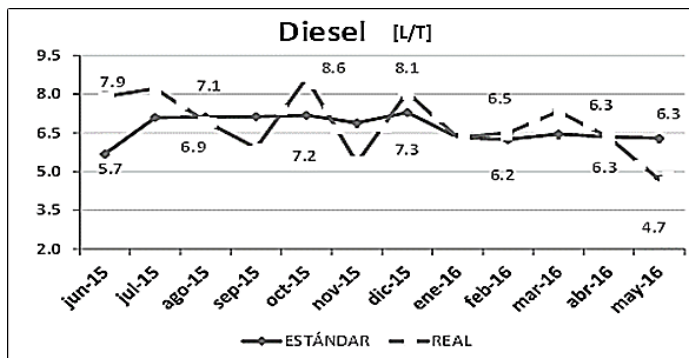
La línea tipificada como Estándar muestra el valor óptimo esperado de desempeño del proceso por cada tonelada producida. El valor real representa el dato exacto que se dio durante la producción que, comparado contra el estándar, se convierten en gráficos de control.

Figura 3. **Consumo de energía eléctrica**



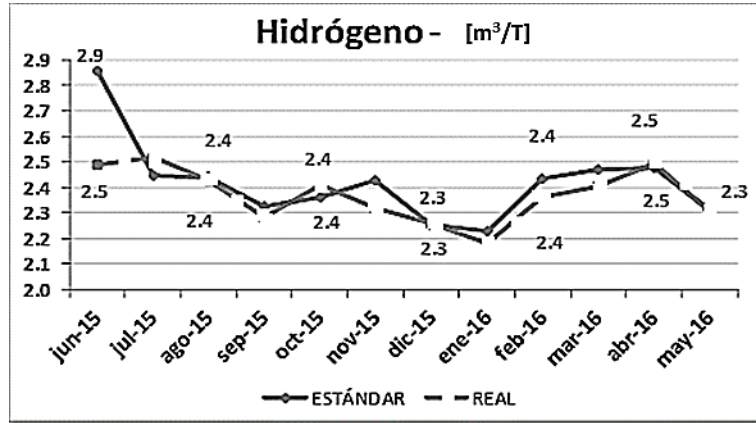
Fuente: Ternium Internacional Guatemala, S.A. (2016).

Figura 4. **Consumo de diésel**



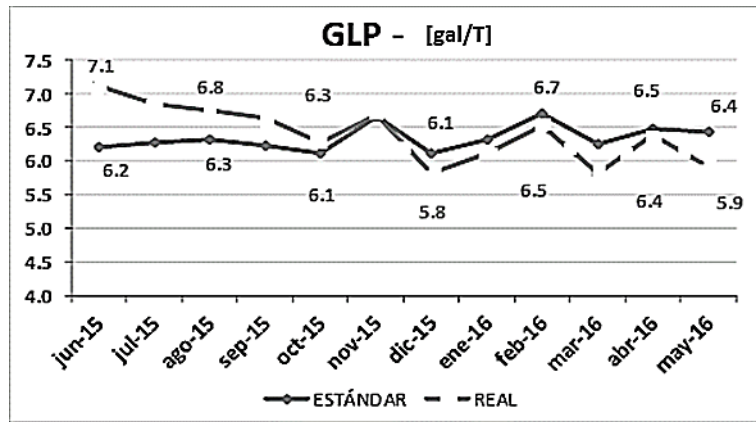
Fuente: Ternium Internacional Guatemalam, S.A. (2016).

Figura 5. Consumo de hidrógeno



Fuente: Ternium Internacional Guatemala, S.A. (2016).

Figura 6. Consumo de gas licuado del petróleo (GLP)



Fuente: Ternium Internacional Guatemala, S.A. (2016).

Tabla XVII. **Indicadores asociados a las variables ambientales**

Variable ambiental	Sub-Tipo	Unidad Indicador	Componentes del indicador
Emisiones atmosféricas	Gases emanados en el proceso de combustión, calentamiento y fundición (partículas suspendidas, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO)	µg/m <sup>3</sup>	Lectura mensual de medidor de gases dividida por los metros cúbicos de gases de combustión según producción mensual de acero galvanizado
Descargas al Agua	Soluciones acuosas residuales alcalinas, ácidas y contaminadas con otros químicos provenientes líquidos provenientes del proceso de galvanizado.	mg/L	Lectura mensual de medidor de microgramos de contaminantes en aguas residuales tratadas dividido los litros mensuales de agua consumidos
Descargas al suelo	Hidrocarburos líquidos, químicos y otros no diluidos con agua.	m <sup>3</sup> /T	El indicador para esta variable es 0.00 m <sup>3</sup> /T, lo que implica que no deben generarse descargas al suelo.
Manejo de Residuos	Desechos peligrosos y no peligrosos.	Kg/T m <sup>3</sup> /T	Peso mensual tratado/desechado dividido por la producción mensual de acero galvanizado.

Fuente: elaboración propia (2016).

### 6.3. Verificación del SGA

Esta etapa se define para medir el desempeño de un SGA adoptado e implementado, pero en el presente trabajo aún se tenía en fase de implementación.

El instrumento de auditorías diseñado, y que será el que permita obtener los resultados para la validación de las acciones del SGA, se muestra a continuación y este responde a la concepción de mejora continua.



En conjunto con la tabla III, Descripción de la matriz de control operacional, monitoreo y medición, esta tabla de auditoría muestra que los controles serán efectivos si cumplen con los parámetros acordados de tipo legal, internacional o corporativos. También resalta la prioridad del control en función del nivel de riesgo y, por último, permite establecer los planes de mejora necesarios cuando no se cumple la efectividad del control.

Tabla XVIII. **Auditoría de los indicadores del SGA**

Fecha:							
Departamento:							
Proceso:							
Responsable del Proceso:							
Auditor:							
Indicador	Control Efectivo		Nivel de Riesgo			Plan de Mejora	
	Si	No	Alto	Medio	Bajo	Si	No
Emisiones atmosféricas							
Descargas al Agua							
Descargas al suelo							
Manejo de residuos							

Fuente: elaboración propia (2016).



## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. De 500 eventos reportados del proceso de galvanizado, con impacto o probable impacto al medio ambiente, 48 correspondieron a emisiones atmosféricas (Tabla IX); 158 estuvieron relacionados a las descargas al suelo y subsuelo (Tabla X). En cuanto a las descargas al agua, se reportaron 40 eventos (Tabla XI); con relación al manejo de residuos, los eventos contabilizados fueron 132 (Tabla XII).
2. En el proceso de galvanizado, tres categorías se detectan para atención prioritaria: descargas al suelo y subsuelo, por fallas de condiciones de la instalación y humanas, con una participación de riesgo de un 31.6 % de los casos estudiados. Le siguen el manejo de residuos con un 26.4 %, principalmente por disposición inadecuada y falta de control en la separación entre peligrosos y no peligrosos. Por último, manipulación y uso de químicos con 17.8 % debido a manejo inadecuado representado por derrames y almacenamiento inadecuado al mezclar productos no compatibles dentro de los mismos almacenes.
3. Para la visualización, ubicación y gestión de eventos no deseados, el mapa de riesgos ambientales por sección del proceso de galvanizado y la categoría del impacto (Tabla XVI) registra que, para emisiones, los gases de combustión y humos de fundición son los principales generadores de riesgo. Las fugas y derrames los riesgos principales para descargas al suelo; por aparte, lodos y aguas residuales para descargas al agua y residuos metálicos, escoria, plásticos y materiales de empaque para la categoría residuos.

4. En concordancia con la evaluación de los riesgos, para la medición de los procesos se construyeron, en el periodo investigado, cuatro gráficas para mostrar consumos estándar y real de electricidad, diésel, hidrógeno y Gas Licuado del Petróleo (GLP) versus toneladas producidas: la energía eléctrica mostró entre 53.8 y 66.3 kWh por tonelada (figura 3). El diésel estuvo entre 4.7 y 7.9 litros por tonelada (figura 4); el hidrógeno mostró entre 2.3 y 2.9 metros cúbicos por tonelada y el GLP estuvo entre 5.9 7 7.1 galones por tonelada.
5. De la evaluación de riesgos y la medición de operaciones de producción, se definieron cuatro indicadores básicos (Tabla XVII), medidos mensualmente: emisiones atmosféricas en micro gramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), descargas al agua en miligramos por litro de agua consumida (mg/L), descargas al suelo en  $\text{m}^3/\text{T}$ , y para manejo de residuos en kilogramos por tonelada (Kg/T) en el caso de sólidos y  $\text{m}^3/\text{T}$  en caso de líquidos.
6. Para la verificación del SGA, se estableció un programa de revisión de los indicadores, se diseñó y construyó el formulario de auditoría (Tabla XVIII), que incluyó: fecha, departamento, proceso, responsable del proceso, auditor, las categorías de los indicadores, la efectividad del control operacional, el nivel de riesgo, y el plan de mejora asociado a los posibles hallazgos.

## CONCLUSIONES

1. Aplicando la metodología de “Cero Incidentes Ambientales” como un sistema de gestión ambiental, es posible determinar y cuantificar el nivel de riesgo y las áreas relevantes en mapa de riesgos del proceso como se muestra en la tabla XVI; adicionalmente en las tablas de la IX a la XV, se agrupan los riesgos en alto, medio y bajo. Lo anterior permite priorizar y establecer la línea de trabajo para implementar controles operacionales, a fin de eliminar o mitigar el impacto ambiental real o potencial.
2. Mediante la metodología “Cero Incidentes Ambientales”, derivado de la evaluación de riesgos y la medición de operaciones de producción, se definieron cuatro indicadores básicos (Tabla XVII), que podrán ser medidos de forma mensual para los cuatro grupos de control por emisiones atmosféricas, descargas al agua, descargas al suelo y residuos peligrosos y no peligrosos.
3. En función de los indicadores básicos definidos mediante la metodología “Cero Incidentes Ambientales”, tal y como se pide dentro de un SGA, se pudo establecer un programa de revisión y evaluación de efectividad y cumplimiento de tales indicadores, lo anterior se evidencia mediante el formulario de auditoría construido (Tabla XVIII), que incluye: fecha, departamento, proceso, responsable del proceso, auditor, las categorías de los indicadores, la efectividad del control operacional, el nivel de riesgo, y el plan de mejora asociado a los posibles hallazgos.

4. De acuerdo con los resultados obtenidos, consistentes con los requerimientos para definir y adoptar un SGA, se concluye que es posible implementar un SGA, basado en la metodología de “Cero Incidentes Ambientales” para una línea de galvanizado continuo por inmersión en caliente.

## RECOMENDACIONES

1. Gestionar en primera instancia los eventos de alto riesgo ambiental detectados y su causa raíz para ser controlados por medio de un plan, definiendo un único responsable, junto con un equipo de trabajo para coordinar las tareas, los ejecutantes y el tiempo de cierre de las mismas, dejando constancia por medio de documentación y registros.
2. En el proceso de gestión de los indicadores ambientales, para el caso de residuos, uso y eficiencia, volúmenes de generación, se observó que los datos históricos estaban asociados únicamente al consumo, por lo que se recomienda implementar equipos para pesaje de residuos, medidores de caudales en el caso del agua y medidores de emisiones en chimeneas.
3. Para la gestión de eficiencia y consumo de agua, combustibles y energía eléctrica, segmentar los puntos de medición, a fin de saber dónde, cuánto y cómo se está consumiendo o generando para obtener una línea base y así implementar mejoras y mantener el control según objetivos medibles.
4. Implementar auditorías periódicas iniciales de forma mensual, en línea con la medición mensual de los indicadores, para obtener datos base y así establecer tendencias y comparar de forma interna y contra normativas legales, de empresas similares o de la misma corporación el desempeño.

5. Antes de iniciar con las auditorías deben elaborarse los programas y el contenido en función de los indicadores y criterios adoptados, así como las áreas a evaluar. De preferencia debe ser por medio de un auditor líder y experimentado en la implementación de un SGA.
6. En el caso de la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos, se recomienda implementar un plan de capacitación al personal operativo, establecer puntos de acopio con señalización básica, a fin de orientar a quienes hacen uso de ellos y lograr una adecuada separación.
7. Dentro de los planes de mantenimiento se recomienda incluir rutinas de inspección en los puntos de fuga, derrames y emisiones, a fin mantener un control de los equipos, determinar periodos de cambio por uso y desgaste, así como detección inmediata para pronta reparación. Estas rutinas deben estar documentadas y definidas en instrucciones escritas para que el personal de mantenimiento las pueda realizar en forma metódica y objetiva.
8. Dado que la metodología “Cero Incidentes Ambientales” permite adoptar un modelo de gestión ambiental, se recomienda avanzar hacia el logro de la certificación en la norma ambiental ISO 14001 más reciente como SGA definitivo para la organización.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguayo Ríos, A. (Febrero de 2008). *Evidencias del Cs-137 en el área de canales y chinampas de Xochimilco; implicaciones ambientales*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. Recuperado el 31 de julio de 2015, de Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2181/aguayorios.pdf?sequence=1>
2. Cabrera Jerez, S. J. (Noviembre de 2005). *Sistema constructivo de techo con losacero para vivienda popular en losa final*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado el 31 de julio de 2015, de Biblioteca USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2532\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2532_C.pdf)
3. Centro Especializado de Formación Integrada, S. C. (Noviembre de 2014). *CERO Sistema Integral de Seguridad y Salud Ocupacional*. Recuperado el 23 de julio de 2015, de Autocapacitación Sistemas: <http://www.autocapacitacion.net/>
4. Coj López, J. (Abril de 2013). *Análisis jurídico en relación a la falta de aplicación de la normativa vigente sobre la contaminación ambiental por parte del Estado de Guatemala*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado el 24 de julio de 2015, de Biblioteca USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04\\_10501.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04_10501.pdf)

5. Díaz Figueroa, L. A. (Marzo de 2010). *El impacto global de la degradación ambiental de Guatemala en su desarrollo económico*. Tesis de Licenciatura en Relaciones Internacionales, Universidad de San Carlos, Guatemala. Recuperado el 05 de agosto de 2015, de Biblioteca USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/28/28\\_437.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/28/28_437.pdf)
6. García Ramón, P. J., & Vallejo Carrera, J. F. (Junio de 2014). *Cero accidentes es alcanzable*. FUNDACIÓN MAPFRE. Madrid: FUNDACIÓN MAPFRE Instituto de Prevención, Salud y Medio Ambiente. Recuperado el 3 de agosto de 2015, de *Revista de FUNDACIÓN MAPFRE*: <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n134/es/articulo3.html>
7. González Cardona, H. E. (Noviembre de 2005). *Implementación de un sistema de control de calidad en una planta de lámina galvanizada corrugada de acero*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad de San Carlos , Guatemala. Obtenido de Biblioteca USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1472\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1472_IN.pdf)
8. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (Febrero de 2013). El dato del mes. *ERGA FP Formación Profesional*(121), 2. Recuperado el 23 de julio de 2015, de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/PUBLICACIONES%20PERIODICAS/Erga\\_online/2013/ERG@nline%20n%C2%BA%20121.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/PUBLICACIONES%20PERIODICAS/Erga_online/2013/ERG@nline%20n%C2%BA%20121.pdf)

9. Mejía Duarte, I. O. (Abril de 2008). *Propuesta para la implementación de un sistema de gestión ambiental bajo la norma ISO 14,001:2004 para la pequeña y mediana empresa (PyMes) en Guatemala*. Tesis de Maestría en Artes en Gestión Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado el 21 de julio de 2015, de Biblioteca USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0132\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0132_MT.pdf)
10. Mendoza Berthet, J. M. (Enero de 2012). *Delito de contaminación industrial en la ciudad de Quetzaltenango*. Tesis de licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango. Recuperado el 21 de julio de 2015, de Biblioteca URL: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/07/01/Mendoza-Jose.pdf>
11. Mutzus Galván, C. V. (Abril de 2007). *Diseño y documentación de un plan para la implementación de un sistema de gestión ambiental conforme a la norma ISO 14001:2004*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de San Carlos, Guatemala. Recuperado el 25 de julio de 2015, de Biblioteca USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1042\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1042_Q.pdf)
12. Obregón Chávez, R. (Junio de 2007). *Implementación de la disciplina operativa en la administración de operaciones en la industria petrolera de Guatemala*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial, Universidad de San Carlos, Guatemala. Recuperado el 4 de agosto de 2015, de Biblioteca USAC: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1792\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1792_IN.pdf)

13. OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra, Suiza: Ediciones de la OMS. Recuperado el 3 de junio de 2016, de <<[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)>>
14. Perry, R. H., & Green, D. (1998). *Manual del Ingeniero Químico* (Sexta ed., Vol. 2). Distrito Federal, México: Mc Graw Hill.
15. Tuy, H. (Ed.). (Septiembre de 2005). *Amenazas al ambiente y vulnerabilidad social en Guatemala*. Recuperado el 25 de julio de 2015, de Biblioteca URL: [http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/serie\\_amb/3.PDF](http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/serie_amb/3.PDF)
16. USAID. (2010). *Compendio de legislación ambiental de Guatemala*. Compendio de leyes ambientales de la República de Guatemala, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Guatemala. Recuperado el 28 de julio de 2015, de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales: <http://apps.marn.gob.gt/web/documentos/novedades/compendio.pdf>





