

BALANCE AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE UN TIPO DE HEBILLA  
FABRICADA EN ZAMAC EN LA EMPRESA FANTAXIAS S.A.S.

SILVIA PATRICIA ESTÉVEZ DUARTE  
FABIO ALEJANDRO VELANDIA FLÓREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2012

BALANCE AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE UN TIPO DE HEBILLA  
FABRICADA EN ZAMAC EN LA EMPRESA FANTAXIAS S.A.S.

SILVIA PATRICIA ESTÉVEZ DUARTE

FABIO ALEJANDRO VELANDIA FLÓREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Directora:

MARÍA PAOLA MARADEI GARCÍA

Dra. Ingeniería Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2012

*Al Hacedor del Universo por la vida.*

*A mis padres por sus enseñanzas, su amor y su constante apoyo en mis decisiones.*

*A mi hermano por su apoyo incondicional, su ejemplo y sus palabras que han sido la semilla para mi formación personal y profesional.*

*A mis amigos, especialmente a Vane, Mariame y Rei, por su cariño y los momentos compartidos.*

*A Fabito por su tranquilidad y dedicación en el proyecto, y a su familia por su colaboración en la realización de este trabajo.*

*A todas las personas que han sido parte de mi vida que de alguna manera hay aportado en la realización de mis metas.*

**Silvia Patricia Estévez Duarte**

*A Dios por darme la vida y estar ahí en los momentos difíciles.*

*A mis padres Luis Enrique y Nancy, por su amor, formación y dedicación. A ustedes les debo lo que soy y son ustedes el motor que mueve mi vida.*

*A mis hermanos Sergio Ricardo y Juan Camilo por todos estos años compartiendo alegrías, experiencias y la vida misma. Los quiero mucho.*

*A mi nonita Mariela Moreno de Flórez, por todo su amor, cariño, enseñanzas, consejos, sabiduría y apoyo en todo momento.*

*A Silvia por su apoyo incondicional y dedicación, su sonrisa y buena energía fueron las hélices que movieron este proyecto. Parcerita la llevo en el corazón.*

*A Emma Vianey por haber hecho parte de mi vida durante esta etapa universitaria.*

*A mi familia, amigos y compañeros que de alguna forma contribuyeron a mi formación personal y profesional.*

*A todos GRACIAS.*

**Fabio Alejandro Velandía Flórez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos:

A la Doctora María Paola Maradei Garcia, por su valiosa colaboración y orientación durante la realización de nuestro proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander por nuestra formación integral.

Al Ingeniero Eduardo Niño Ruiz, Gerente de la empresa Fantaxias S.A.S. por brindarnos la oportunidad de realizar esta práctica.

Al Ingeniero Iván Darío Sotomonte Motta por su cordialidad y ayuda.

Al Grupo de Investigación de Espectroscopía Atómico y Molecular de la UIS liderado por el profesor Enrique Mejía Ospino por permitirnos realizar pruebas en su laboratorio.

Al Laboratorio Químico de Consultas Industriales dirigido por la Doctora Yolanda Vargas por la realización de pruebas de laboratorio.

A la Química Nathalia Bedoya y al personal de laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química por su colaboración en el préstamo de instrumentación.

Al personal de la empresa Fantaxias por su disposición a nuestras inquietudes.

A todas las personas que estuvieron involucradas en este proyecto y que de alguna forma contribuyeron a la materialización de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>1 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>23</b>
1.1 RECONOCIMIENTO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LA HEBILLA H-0788-12.....	23
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SUBPROCESOS QUE CONFORMAN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA HEBILLA.....	23
1.3 CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DEL SISTEMA.....	24
1.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES RESIDUALES.....	24
1.4.1 Métodos de caracterización.....	24
1.5 REALIZACIÓN DEL BALANCE DE AMBIENTAL.....	27
<b>2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
2.1 RECONOCIMIENTO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LA HEBILLA H-0788-12.....	27
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SUBPROCESOS QUE CONFORMAN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA HEBILLA.....	28
2.3 CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DEL SISTEMA.....	28
2.3.1 Balances de masa y energía. Subproceso 1. Elaboración del molde en el proceso de fabricación de la hebilla.....	28
2.3.2 Balances de masa y energía. Subproceso 2. Fundición en el proceso de fabricación de la hebilla .....	32
2.3.3 Balances de masa y energía. Subproceso 3. Pulido en el proceso de fabricación de la hebilla .....	33

2.3.4	Balances de masa y energía. Subproceso 4. Montaje del pin en el proceso de fabricación de la hebilla.....	35
2.3.5	Balances de masa y energía. Subproceso 5. Acabado con baños electrolíticos en el proceso de fabricación de la hebilla .....	37
2.3.6	Balances de masa y energía. Subproceso 6. Empacado y distribución en el proceso de fabricación de la hebilla .....	41
2.4	CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES RESIDUALES.....	44
2.4.1	Resultados de la caracterización de efluentes provenientes del subproceso de pulido en masa para la fabricación de la hebilla.....	44
2.4.2	Determinación de concentración de metales en los baños electrolíticos.....	46
2.4.3	Determinación de concentración de cianuros, concentración de grasas y aceites, y medición de pH de efluentes de los baños electrolíticos .....	48
2.4.4	Medición de emisiones gaseosas de la combustión en el horno de fundición para la fabricación de la hebilla .....	49
2.4.5	Medición niveles de ruido.....	50
2.5	REALIZACIÓN DEL BALANCE AMBIENTAL.....	51
2.5.1	Residuos líquidos (Vertimientos).....	52
2.5.2	Residuos sólidos .....	53
2.5.3	Emisiones atmosféricas.....	54
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo herramientas de gestión ambiental.....	20
Tabla 2. Corrientes subproceso de elaboración del molde.....	31
Tabla 3. Corrientes subproceso fundición.....	33
Tabla 4. Corrientes subproceso pulido. ....	35
Tabla 5. Corrientes subproceso montaje del pin.....	36
Tabla 6. Corrientes subproceso acabado con baños de recubrimiento electrolítico. .....	40
Tabla 7. Corrientes subproceso Empacado y distribución.....	42
Tabla 8. Corrientes de insumos y aditivos no tenidos en cuenta en los balances de masa.....	43
Tabla 9. Corrientes no tenidas en cuenta en los balances de masa.....	43
Tabla 10. Caracterización de vertimientos del subproceso de pulido.....	45
Tabla 11. Concentración de metales en efluentes baños electrolíticos.....	46
Tabla 12. Concentración de cianuro, grasas y aceites y valor de pH de efluentes baños electrolíticos.....	48
Tabla 13. Medición de emisiones gaseosas de la combustión en horno de fundición.....	49
Tabla 14. Medición niveles de ruido.....	50
Tabla 15. Valores límites permisibles para ruido continuo o intermitente.....	50
Tabla 16. Demanda de recursos para la producción anual de la hebilla.....	51
Tabla 17. Residuos generados en el proceso para la producción anual de la hebilla.....	52

Tabla 18. Energía suministrada a los equipos involucrados en el proceso de elaboración de la hebilla. ....70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El ciclo de vida del producto usado para el ACV. ....	19
Figura 2. Estructura de un inventario. ....	21
Figura 3. Esquema del desarrollo de la práctica investigativa. ....	23
Figura 4. Diagrama de flujo general del proceso de fabricación de la hebilla. ....	28
Figura 5. Diagrama del subproceso de elaboración del molde para la fabricación de la hebilla. ....	30
Figura 6. Diagrama del subproceso de fundición en la fabricación de la hebilla. ....	33
Figura 7. Diagrama del subproceso de pulido. ....	34
Figura 8. Diagrama del subproceso de montaje del pin en la fabricación de la hebilla. ....	36
Figura 9. Diagrama del subproceso de baños de recubrimiento electrolítico en la fabricación de la hebilla. ....	39
Figura 10. Diagrama del subproceso empaclado y distribución en la fabricación de la hebilla. ....	42

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Determinación de concentración de metales .....	63
ANEXO B. Determinación de concentración de cianuros .....	65
ANEXO C. Energía eléctrica suministrada a los equipos.....	70

## RESUMEN

**TÍTULO:** BALANCE AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE UN TIPO DE HEBILLA FABRICADA EN ZAMAC EN LA EMPRESA FANTAXIAS S.A.S. \*

**AUTORES:** SILVIA PATRICIA ESTÉVEZ DUARTE

FABIO ALEJANDRO VELANDIA FLÓREZ \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Impacto ambiental, balance ambiental, inventario, Análisis de Ciclo de Vida, categorías de impacto ambiental.

### DESCRIPCIÓN:

La empresa Fantaxias S.A.S. puso en marcha un proceso de determinación de focos contaminantes en sus procesos productivos con el fin de realizar una Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) potencial de sus productos económicamente más importantes. Este trabajo se enmarcó dentro de este macroproyecto y se centró exclusivamente en la realización del balance ambiental del proceso de producción de la hebilla H-0788-12, basado en el inventario de corrientes de entrada y salida, conocido también como ecobalance, el cual corresponde a una de las etapas iniciales en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), lo que permitió realizar una evaluación de la carga ambiental actual en comparación con la normatividad ambiental colombiana.

Posteriormente, se clasificó cualitativamente la carga ambiental de acuerdo a las categorías de impacto que afecta: recursos naturales, salud humana y salud ecológica. De acuerdo con el balance ambiental se determinó que todos los residuos generados en la empresa Fantaxias S.A.S., durante la fabricación de la hebilla presentan Potencial de Toxicidad Humana, siendo la “salud humana” la categoría más afectada por la carga ambiental del proceso productivo. Los gases de combustión presentaron concentraciones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO que exceden en 19051, 5823 y 1257%, respectivamente, el valor máximo por exposición en horas permitido por la legislación colombiana, convirtiéndose en un riesgo para la salud de las personas presentes en el entorno de trabajo. Los efluentes provenientes del subproceso de baños de recubrimiento electrolítico son el principal foco de contaminación del proceso al presentar concentraciones de metales, cianuros y grasas y aceites superiores hasta en un 52, 3704 y 455%p, respectivamente, a las permitidas por las normativas colombianas vigentes, representando impactos al medio ambiente debido a su disposición sin previo tratamiento.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ph.D. María Paola Maradei García.

## ABSTRACT

**TITLE:** ENVIRONMENTAL BALANCE OF THE PRODUCTION OF A KIND OF BUCKLE MADE OF ZAMAC IN THE COMPANY FANTAXIAS S.A.S. \*

**AUTHORS:** SILVIA PATRICIA ESTÉVEZ DUARTE  
FABIO ALEJANDRO VELANDIA FLÓREZ \*\*

**KEY WORDS:** Environmental impact, environmental assessment, inventory, Life Cycle Assessment (LCA), environmental impact categories.

### DESCRIPTION:

The company Fantaxias S.A.S. initiated a process to identify contaminant sources in their production processes in order to perform an Environmental Impact Assessment (EIA) potential of its most economically important products. This work was part of this macroproject and focused exclusively in the carrying of the environmental assessment of the production process of the buckle H-0788-12, based on the inventory of input and output streams, also known as ecobalance, which corresponds to one of the stages in the Life Cycle Assessment (LCA), which allowed an evaluation of the current environmental load compared with colombian environmental regulations.

Subsequently, the environmental load was classified qualitatively according to environmental impact categories concerned: natural resources, human health and ecological health. According to the environmental balance, was determined that all waste generated in the company Fantaxias S.A.S., during the manufacture of the buckle show potential human toxicity, being the "human health" the most affected category by the environmental load of the production process. Combustion gases had levels of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and CO that exceed in 19051, 5823 and 1257%, respectively, the maximum limit in hours allowed for exposure in Colombian law, becoming a risk to the health of people in the work environment. The effluents from the electroplating baths subprocess are the main source of contamination of the process to have concentrations of metals, cyanides and fats and oils higher up to 52, 3704 and 455%p, respectively, than those permitted by the current regulations in Colombia, representing environmental impacts due to disposal without treatment.

---

\*Final Degree Project

\*\*Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Project Director: Ph.D. María Paola Maradei García.

## INTRODUCCIÓN

El análisis de impacto ambiental es indispensable en nuestros días, sobre todo si la industria desea ser un ente activo de una sociedad que exige cada vez más que ésta asuma su responsabilidad frente al medio ambiente, el cual viene degradándose drásticamente afectando directamente la salud humana. La empresa Fantaxias S.A.S. es consciente de ello y por eso, en asociación con la Universidad Industrial de Santander, ha puesto en marcha un proceso de determinación de focos contaminantes en sus procesos productivos con el fin de realizar una Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) potencial de sus productos económicamente más importantes.

Este trabajo se enmarca dentro de este macroproyecto y se centra exclusivamente en la realización del balance por etapas del proceso de producción de la hebilla H-0788-12, estandarizada por la empresa Fantaxias S.A.S., de la cual se fabrican alrededor de 400000 unidades anuales (2011) con proyección a incrementarse dentro de los próximos 5 años.

Los subprocesos comprendidos para la producción de esta hebilla son la fabricación de moldes, fundición de las piezas, pulidos y recubrimientos electrolíticos para el acabado final. Estos subprocesos se llevan a cabo siguiendo hojas de ruta desarrolladas por el departamento de producción de la empresa, con el fin de obtener un producto final que cumpla con los parámetros de calidad fijados para su venta.

Sin embargo, dentro de la información compilada por la empresa para la producción de la hebilla, no se cuenta actualmente con datos que permitan analizar el impacto ambiental que genera su proceso productivo.

Por definición, el impacto ambiental de un producto es cualquier cambio en el medio ambiente (entorno en el cual opera, incluyendo aire, tierra, agua, flora, fauna, seres humanos y sus interrelaciones), sea perjudicial o beneficioso,

causado por la actividad realizada para obtenerlo. Específicamente, el impacto ambiental es la categorización o valoración de ese cambio: inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza [14].

En la fabricación de un producto, las empresas tienen la responsabilidad sobre el impacto ambiental que ocasiona el proceso productivo hasta que el producto llega al cliente (proveedores, distribuidores y consumidores), e incluso, cuando termina su vida útil, como se representa en la Figura 1. Esta cadena comprendida “desde la cuna hasta la tumba” es lo que se denomina ciclo de vida de un producto [3, 12].



**Figura 1. El ciclo de vida del producto usado para el ACV [12].**

Una de las estrategias para determinar el impacto ambiental es la realización de un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Es una herramienta de gestión ambiental que tiene como propósito identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales asociados a las etapas llevadas a cabo en un proceso de producción [17].

La principal función del ACV es dar a conocer, con el mayor detalle posible, las consecuencias ambientales inherentes al modelo de producción utilizado y proveer información para que la dirección de una organización pueda tomar decisiones técnicas para la modificación de dicho modelo mejorando así su desempeño ambiental sin que conlleve a desmejorar la calidad del producto obtenido. El primer ACV fue realizado en 1969 por el Midwest Research Institute (MRI) para la compañía Coca-Cola, donde la premisa fue disminuir el consumo de recursos y las emisiones al ambiente. Posteriormente, se desarrollaron métodos para cuantificar el impacto del producto en distintas categorías de problemas ambientales (calentamiento global y agotamiento de los recursos) y estudios del ACV que comenzaron a estar disponibles para uso público. Esto llevó a la necesidad de

desarrollar estructuras de trabajo, formulación de códigos de prácticas y metodologías para aplicar ACV [17, 21, 4].

La Universidad de los Andes y la Universidad Pontificia Bolivariana fueron las instituciones que impulsaron en Colombia el conocimiento y la aplicación del ACV [13, 20]. Los primeros trabajos se dieron a partir de 1997 con la creación del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) y los Comités Técnicos de Normalización, espejos del ISO/TC-207, para discutir y homologar, a normas nacionales, la serie de estándares internacionales de la familia ISO 14000, entre ellas la ISO 14040 sobre ACV. Se realizaron tesis de grado en ACV que abarcaron diferentes sectores industriales (químico, petroquímico, metalmeccánico y servicios públicos) [21].

La estructura técnica del ACV, según la norma ISO 14040 existe en cuatro fases: definición del objetivo y alcance, análisis del inventario, valoración del impacto, e interpretación.

A menudo tiende a confundirse el ACV con dos de las herramientas de gestión ambiental más conocidas, como son la EIA y la Auditoría Ambiental (AA). En el siguiente cuadro comparativo (Tabla 1) se presentan las principales diferencias entre estas herramientas.

**Tabla 1. Comparativo herramientas de gestión ambiental [3].**

Herramienta	Objeto de estudio	Objetivo	Metodología
ACV	Producto	Evaluación y mejora del impacto ambiental	Inventario Evaluación de impacto Acciones
AA	Empresa	Adaptación a una norma ambiental	Análisis situacional Puntos débiles Propuestas
EIA	Proyecto	Decisión sobre un proyecto	Evaluación de impacto ambiental y social Medidas correctivas

Desde el año 2001 la Universidad Industrial de Santander ha venido realizando trabajos de grado sobre los procesos de producción de la empresa Fantaxias

S.A.S., en cabeza principalmente de la Escuela de Ingeniería Química. Se han realizado trabajos enfocados en el diseño de alternativas para mejorar el cumplimiento del objetivo de una etapa de proceso [2, 9], estudios de viabilidad para la implementación de nuevas técnicas para la corrección de problemas en alguna etapa del proceso de producción [15, 1, 19], evaluación de la carga contaminante de una etapa de proceso y propuestas para su tratamiento [1, 18], entre otros.

El objetivo de este trabajo de investigación aplicada es realizar un balance ambiental sobre la línea de producción de la hebilla H-0788-12, basado en el inventario de corrientes de entrada y salida, lo que permite realizar una evaluación de la carga ambiental actual en comparación con la normatividad ambiental colombiana.

Por tanto inicialmente se levantará un inventario del proceso, conocido también como ecobalance, el cual corresponde a una de las etapas iniciales en el ACV. Este inventario está destinado a determinar y cuantificar todos los flujos de entrada y salida del sistema (materia prima, energía, productos, subproductos y residuos), calculando los requerimientos energéticos y materiales del mismo, así como la identificación y caracterización de las corrientes residuales líquidas, sólidas y gaseosas presentes en cada subproceso que compone el proceso productivo [17, 21]. En la Figura 2 se presenta la estructura de un inventario.

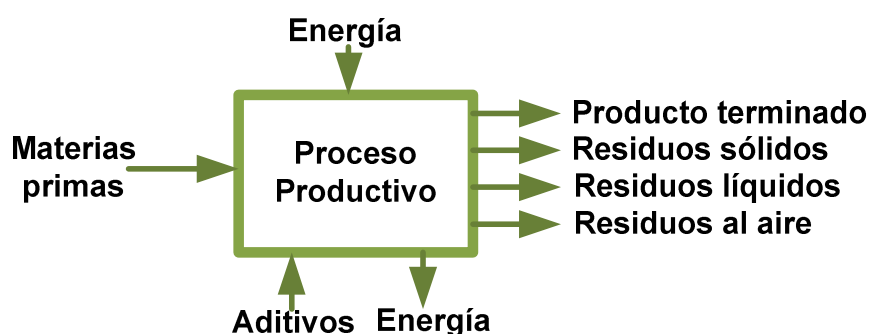


Figura 2. Estructura de un inventario [4].

Posteriormente se evalúan las corrientes contaminantes teniendo presente la normatividad colombiana utilizada para elaborar el ACV. Finalmente, se realiza una clasificación de todos los residuos del proceso y se relacionan, si es el caso, con efectos ambientales observables. Esto con el fin de generar información suficiente para ayudar en la toma de decisiones que la empresa Fantaxias S.A.S. debe hacer frente a la disminución de eventuales cargas ambientales del proceso de producción de la hebilla H-0788-12.

Dentro de las normas colombianas que se utilizarán en el marco de este estudio se encuentra la Resolución 8321 de 1983 (Protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos), la Resolución 0627 de 2006 (Norma Nacional de Emisión de Ruido y Ruido Ambiental), la Resolución 610 de 2010 (Norma de calidad del aire o nivel de emisión), la Resolución 0909 de 2008 (Norma y estándares de emisión admisibles) y el Decreto 1594 de 1984 (Usos del agua y residuos líquidos).

## 1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la Figura 3 se presenta el procedimiento realizado para la investigación aplicada sobre la línea de producción de la hebilla H-0788-12.

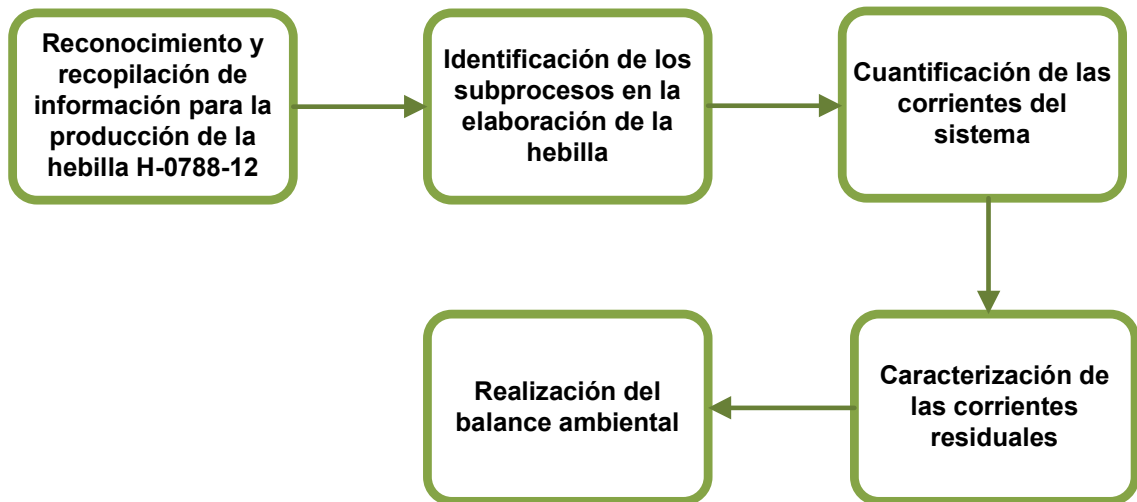


Figura 3. Esquema del desarrollo de la práctica investigativa.

### 1.1 RECONOCIMIENTO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LA HEBILLA H-0788-12

Se realizaron visitas a la empresa Fantaxias S.A.S. con el fin de observar el proceso de producción de la hebilla, consultar y recopilar la información empleada para su fabricación y acceder a estudios internos, proyecciones y datos históricos del proceso de esta pieza en zamac utilizada en la industria del calzado.

### 1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SUBPROCESOS QUE CONFORMAN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA HEBILLA

El inventario inicia con la identificación de los subprocesos que conforman el proceso productivo. Se realizó el acompañamiento a los operarios durante las

visitas a la empresa para conocer la secuencia del proceso y el funcionamiento de los equipos utilizados en cada subproceso.

### **1.3 CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DEL SISTEMA**

Se identificaron las corrientes que componen cada subproceso, determinando para cada uno los datos de consumo de materias primas, energía eléctrica y tiempo empleado. Mediante balances de masa y cantidad de energía eléctrica suministrada a los equipos se cuantificaron todas las corrientes. Se realizó además su clasificación como residuo sólido, líquido o emisión a la atmósfera.

### **1.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES RESIDUALES**

Se caracterizaron estas corrientes para determinar la concentración con las cuales son dispuestas al medio y se llevó a cabo la comparación con la normatividad ambiental colombiana vigente. El muestreo se realizó de forma manual en los puntos de emisiones identificados. Las muestras de aguas residuales se recolectaron en recipientes plásticos de capacidad de 50ml, debidamente sellados para evitar alteraciones en la muestra por contaminación.

#### **1.4.1 Métodos de caracterización**

##### **1.4.1.1 Determinación de concentración de metales**

La concentración de metales presentes en los baños del proceso de galvanizado se determinaron mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica realizado en el equipo Espectrómetro Serie S711682 v1.27 de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander. Se analizó la presencia de zinc, aluminio, cobre y níquel debido que estos tres primeros hacen parte de la composición del zamac, aleación con la cual se fabrica la pieza en estudio. Los dos últimos metales de la lista corresponden a los recubrimientos a aplicar en las piezas.

#### **1.4.1.2 Determinación de concentración de cianuros**

La concentración de cianuros presentes en los baños del proceso de galvanizado fue determinado por el Laboratorio de Servicios Industriales de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander mediante el método Titrimétrico de detección de cianuro libre, Norma SM 4500- CN-D.

#### **1.4.1.3 Determinación de concentración de grasas y aceites**

Los aceites y las grasas presentes en los baños del proceso de galvanizado fueron analizados en los Laboratorios de Investigaciones de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. Para ello se basó en la norma ASTM, siguiendo el siguiente procedimiento: cada muestra se separó por medio de extracción líquido – líquido con hexano; a 10ml de muestra se le adicionó 0,1ml de ácido clorhídrico y 20ml de hexano, se mezcló y se dejó reposar durante 10min en un embudo para separar las fases formadas (orgánica y acuosa) por decantación. La fase orgánica recuperada se filtró con sulfato de sodio anhidro para absorber remanentes de agua. El procedimiento descrito fue realizado 2 veces a la fase acuosa obtenida después de la decantación, con el fin de lograr mayor extracción de aceites.

La fase orgánica obtenida fue rotoevaporada para extraer el hexano. Los aceites extraídos se pesaron en balanza analítica para su registro.

#### **1.4.1.4 Medición de pH**

Se realizó la determinación del pH de las muestras provenientes de los baños del proceso de galvanizado con papel pH, disponible en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. Se sumergió la tira de papel en la muestra durante 2s y se comparó la tonalidad adquirida por ésta con la tabla de correspondencia a escala de pH.

#### **1.4.1.5 Medición de emisiones gaseosas de la combustión en el horno de la fundición**

El procedimiento de medición se realizó con el equipo ENERAC 700 Sistema Integrado de Emisiones (SIE), que es un sistema portátil de monitoreo de emisiones y gases de combustión, el cual cuenta con tres sensores electroquímicos filtrados tipo SEM, un sistema infrarrojo no dispersivo (NDIR), sondas Inconel para el sistema de acondicionamiento, sensores de temperatura y con los requerimientos de los métodos de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). El equipo mide NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, combustibles, temperatura ambiente, temperatura de chimenea y calcula CO<sub>2</sub>, eficiencia y exceso de aire. El equipo es de propiedad de la Escuela de Ingeniería Química, de la Universidad Industrial de Santander. El instrumento operó con el siguiente procedimiento: Se insertó la sonda (incluye una probeta de muestra lineal, una muestra de sistema de acondicionamiento y una trampa de agua) en la chimenea donde se genera la combustión del horno HECHIZO, usado para fabricar la hebilla en la empresa Fantaxias S.A.S. El conjunto de sensores analizó el contenido del gas en la chimenea, su temperatura, y el equipo calculó y mostró los resultados en la pantalla de datos. ENERAC 700 cuenta con un tubo pitot del tipo S, el cual midió la velocidad del gas en la chimenea. Se realizaron mediciones cada 15s durante 19min.

#### **1.4.1.6 Medición de niveles de ruido**

Se realizaron mediciones sobre las partes del proceso donde los equipos utilizados generan mayor cantidad de ruido (según datos de la empresa) y donde es obligatorio el uso de protección auditiva. Se utilizó para ello un decibelímetro de marca Radio Shack y modelo 33-2050 facilitado por la empresa.

## **1.5 REALIZACIÓN DEL BALANCE DE AMBIENTAL**

Se clasificó cualitativamente la carga ambiental de acuerdo a las categorías de impacto que afecta: recursos naturales, salud humana y salud ecológica.

Se realizó un análisis de los efectos sobre el ambiente y la salud del personal de trabajo que participa en la producción.

## **2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **2.1 RECONOCIMIENTO Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE LA HEBILLA H-0788-12**

Al realizar las visitas y el seguimiento de las partes del proceso se encontró que no se cuenta con la medida de la carga ambiental que genera su proceso productivo.

Dentro de las corrientes de residuos líquidos del proceso es posible que se encuentren metales pesados en solución, ya que la composición del zamac (Z331) usado para la fabricación de esta pieza es: 3,788%p de Al; 2,634%p de Cu; 0,362%p de Mg; 0,027%p de Fe; 0,003%p de Cd; 0,004%p de Mn; 0,002%p de Pb; 0,005%p de Si; 0,006%p> de Pb+Cd; y Zn remanente. Igualmente, en los recubrimientos electrolíticos se utiliza cobre y níquel, como materia prima.

Actualmente la empresa desconoce la composición de los gases de combustión que salen del horno de fundición del zamac, así como las cantidades de servicios industriales (combustible, agua, energía eléctrica) requeridos para el funcionamiento de los equipos usados para realizar la pieza en una producción anual.

## 2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS SUBPROCESOS QUE CONFORMAN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA HEBILLA

De acuerdo con la información suministrada por la empresa, el proceso de fabricación de la hebilla en zamac de Referencia H-0788-12 consta de 6 subprocesos. La descripción esquemática del mismo se presenta en la Figura 4. En cuanto a la cuantificación de la energía eléctrica, se determinó la corriente y el voltaje de cada uno de los equipos usados en el proceso (ver Anexo 3).

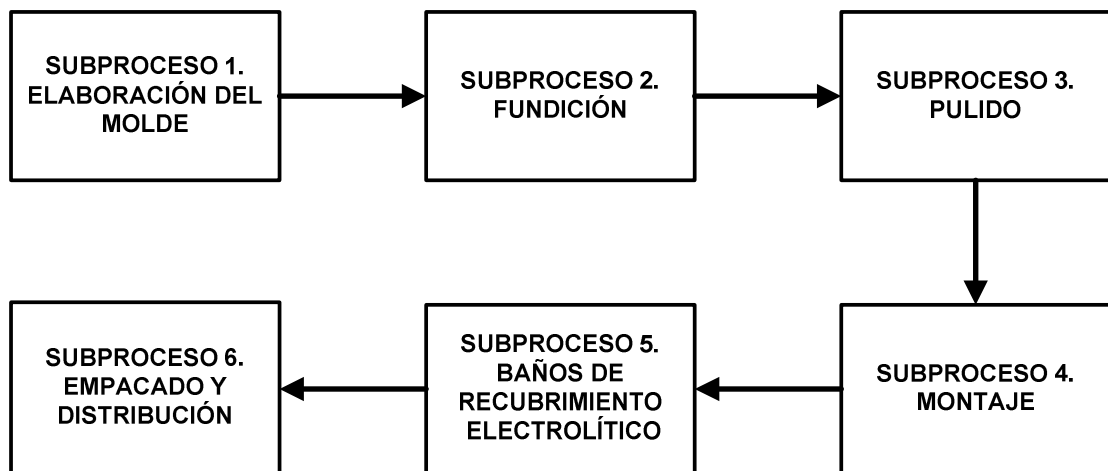


Figura 4. Diagrama de flujo general del proceso de fabricación de la hebilla.

## 2.3 CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DEL SISTEMA

La cuantificación de las corrientes de entrada y salida del proceso permitieron la construcción de los balances de masa y cantidad de energía eléctrica suministrada a los equipos utilizados, que se exponen por subprocesos de fabricación.

### 2.3.1 Balances de masa y energía. Subproceso 1. Elaboración del molde en el proceso de fabricación de la hebilla

El molde final está compuesto por dos platos. Cada plato está conformado por una hoja de papel periódico, una lámina de silicona de relleno y una lámina de silicona de contacto.

Debido que la vida útil del molde es de 300 ciclos y en cada uno de ellos se producen 50 hebillas, se requieren fabricar varios moldes para satisfacer la producción anual, contabilizada en 440500 unidades, lo cual fue tenido en cuenta para realizar los cálculos de los balances de este proceso. Para compensar las pérdidas que se presentan en el proceso, se realiza una sobreproducción aproximada del 5%, por tanto, se tomó como base de cálculo del proceso 465000 unidades de hebilla.

En la elaboración del molde hay elementos que se reutilizan, como las hebillas modelo, posicionadores y la matriz de hierro, que se contabilizaron una sola vez en los balances.

Se consideró la entrada de la energía eléctrica como la suma de la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos y la energía disipada al medio. En la Figura 5 se presenta el diagrama de flujo del subproceso. Sobre la figura, las corrientes másicas se identificaron con las letras S y f. Todas las corrientes de energía eléctrica se nombraron con la letra Q.

En la Tabla 2 se presenta el balance de masa realizado y el consumo de energía eléctrica del subproceso. Se presenta además la identificación y clasificación de las corrientes como entrada, salida o residuo.



**Tabla 2. Corrientes subproceso de elaboración del molde.**

Etapa	Corriente	Composición	Masa (g)	Energía eléctrica (J)	Entrada	Salida	Residuo	
							Emisión	Sólido
Satinado	S1	Hebillas modelo (60 unidades)	135,27		x			
	S2	Pasta para satinado	188,79		x			
	Q1	Energía eléctrica satinadora		13608099,66	x			
	Q1*	Energía disipada al medio por satinadora		13608099,66		x	x	
	S3	Residuo de pasta para satinado	188,79			x		x
Desengrase	S4	Hebillas modelo satinadas (60 unidades)	135,27		x			
	S5	Tiner	3484,40		x			
	S6	Salida reutilizable de tiner	3484,40			x		
Secado	S7	Hebillas modelo limpias (60 unidades)	135,27		x			
	Q2	Energía eléctrica secado		109148299,34	x			
	Q2*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por secado)		109148299,34		x	x	
Armado de la matriz con el molde	S8	Hebillas modelo limpias	135,27		x			
	S9	Posicionadores de zamac (sobre el plato inferior)	74,00		x			
	S10	Silicona de contacto para fijar los posicionadores	13,33		x			
	S11	Talco	43,40		x			
	Q3	Energía eléctrica aspiradora		388740,00	x			
	Q3*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por aspiradora)		388740,00		x	x	
	S12	Residuo de talco	43,40			x		x
	S13	Silicona de contacto retirada al ubicar las hebillas	10,54			x		
	S14	Hebillas modelo no utilizadas	22,54			x		
	Preparación de los platos superior e inferior de la matriz	S15	Platos inferior y superior de la matriz	20000,00		x		
S16		Hojas de papel periódico	195,61		x			
S17		Matriz preparada	20195,61			x		
Preparación de las láminas de silicona de relleno y contacto para el plato inferior de la matriz	S18	Lámina de silicona de contacto (espesor 5 mm)	17701,00		x			
	S19	Lámina de silicona de relleno (espesor 4 mm)	17360,00		x			
	S20	Tapón de refuerzo de silicona de contacto	282,10		x			
	S21	Cuña de silicona de contacto	6,20			x		
	S22	Cuña de silicona de relleno	7,44			x		
	S23	Tapas de silicona de contacto y de relleno preparadas	35329,46			x		
Preparación de las láminas de silicona de relleno y contacto para el plato superior de la matriz	S24	Tapa de silicona de contacto (espesor 4 mm)	14384,00		x			
	S25	Tapa de silicona de relleno (espesor 5 mm)	21700,00		x			
	S26	Silicona de contacto para refuerzo	1587,20		x			
	S27	Boquilla de silicona de contacto retirada	508,40			x		
	S28	Boquilla de silicona de relleno retirada	1965,40			x		
	S29	Tapas de silicona de contacto y de relleno preparadas	35197,40			x		
Vulcanizado	S30	Matriz armada con el molde	90911,99		x			
	Q4	Energía eléctrica vulcanizado		272870748,32	x			
	Q4*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por vulcanizado)		272870748,32		x	x	
Enfriamiento y retro de la matriz	S31	Matriz con molde vulcanizado	90911,99		x			
	Q5	Energía eléctrica enfriamiento		3375900,00	x			
	Q5*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por enfriamiento)		3375900,00		x	x	
	S32	Molde con hebillas	70911,99			x		
Canalizado del molde	S33	Matriz	20000,00			x		
	S32	Molde con hebillas	70911,99		x			
	S34	Silicona de contacto retirados para formar los canales	1360,28			x		
	S35	Hebillas modelo retiradas	112,73			x		
Prueba de fundición	S36	Molde canalizado	69438,98			x		
	f1	Lingotes de zamac	4464000,00		x			
	f2	Sal de rejuva	No se cuenta		x			
	f3	Pastilla desgasificante	No se cuenta		x			
	f4	Combustible (gas natural)	13,17		x			
	f5	Aire	320,51		x			
	Qf	Energía eléctrica (horno+centrifuga)		897756,58	x			
	f6	Gases combustión	333,68			x	x	
	Qf*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por prueba fundición)		897756,58		x	x	
	f7	Molde	69438,98		x			
	f10	Hebillas obtenidas (50 unidades)/ciclo	3048,75			x		
	f11	Canales en zamac	6489,95			x		
	f12	Zamac fundido no usado	4454461,30			x		
	f13	Molde	69438,98			x		
f14	Zamac reciclado/ciclo	9538,70			x			

x Corriente reutilizable

### **2.3.2 Balances de masa y energía. Subproceso 2. Fundición en el proceso de fabricación de la hebilla**

La fundición del zamac se lleva a cabo en el horno de marca Hechizo, el cual funciona utilizando gas natural como combustible. El ingreso de la aleación fundida al molde se realiza manualmente por medio de una cuchara industrial y la formación de la hebilla se lleva a cabo en una centrífuga. El tiempo de realización de 50 hebillas es de 20s, tiempo que incluye el cuchareo, la centrifugación y el enfriamiento del molde (la centrifugadora cuenta con tres puestos).

Para realizar los cálculos de producción anual se supuso que el horno se encuentra encendido en el momento de fabricación de la pieza y por tanto no se requiere contabilizar el tiempo de calentamiento y fundición del horno (que es de aproximadamente 3h) cuando se ingresan los lingotes de zamac para llenar el equipo (según protocolo de arranque el cual se realiza una vez por semana). Cabe anotar que durante la jornada de trabajo, se van agregando lingotes de zamac al horno, con el fin de mantener el nivel del metal fundido.

No se tuvo en cuenta en el balance de masa el desgasificante y la rejuva usada debido que estos se adicionan cada 12h de jornada de trabajo, independientemente de la pieza que se vaya a fabricar. Tampoco la escoria que se recoge al final de la jornada y que se recicla (se vende a una empresa de recuperación de Pb).

No se tuvieron en cuenta los vapores producidos durante la fundición, debido que la configuración del horno no permite recolectar una muestra de estos para su análisis. Sin embargo, actualmente la empresa está realizando caracterizaciones a los lingotes de zamac, las piezas de zamac obtenidas y la escoria formada, para determinar las pérdidas por emisiones.

En la Figura 6 se presenta el diagrama de flujo del subproceso. Sobre la figura, las corrientes másicas se identificaron con la letra F. Las corrientes de energía eléctrica se nombraron con la letra Q.

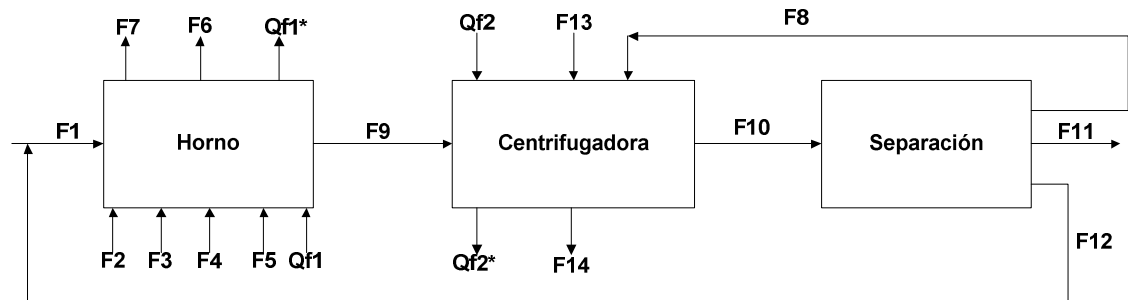


Figura 6. Diagrama del subproceso de fundición en la fabricación de la hebilla.

En la Tabla 3 se presenta el balance de masa realizado y el consumo de energía eléctrica del subproceso. Se presenta además la identificación y clasificación de las corrientes como entrada, salida o residuo.

Tabla 3. Corrientes subproceso fundición.

Etapa	Corriente	Composición	Masa (g)	Energía eléctrica (J)	Entrada	Salida	Residuo	
							Emisión	Sólido
Fundición en el horno	F1	Lingotes de zamac	13392000,00		x			
	F2	Sal de rejua	No se cuenta		x			
	F3	Pastilla desgasificante	No se cuenta		x			
	F4	Combustible (gas natural)	122450,00		x			
	F5	Aire	2980744,24		x			
	Qf1	Energía eléctrica horno		70875519,04	x			
	F6	Escoria en polvo+rejua	No se cuenta				x	
F7	Gases combustión	3103194,24				x	x	
Qf1*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por fundición)		70875519,04			x	x	
Centrifugación	F8	Molde	69438,98		x			
	F13	Talco chino	13020,00		x			
	F9	Zamac fundido	2861610,00		x			
	Qf2	Energía eléctrica centrifugadora		198451453,30	x			
	F14	Residuo talco chino	13020,00				x	x
F10	Hebillas+ canales en zamac+ molde	2931048,98				x		
Qf2*	Energía eléctrica (funcionamiento equipo+disipada al medio por centrifugado)		198451453,30			x	x	
Separación	F10	Hebillas+ canales en zamac+ molde	2931048,98		x			
	F11	Hebillas obtenidas	914625,71			x		
	F8	Molde	69438,98				x	
	F12	Zamac recirculado	1946984,29				x	

x Corriente reutilizable

### 2.3.3 Balances de masa y energía. Subproceso 3. Pulido en el proceso de fabricación de la hebilla

Obtenidas las piezas en la fundición se procede al subproceso de pulido. Se realizan tres tipos de pulido: el pulido manual, el pulido Harper y el pulido en vibradora. El primer pulido se encarga de remover las asperezas de mayor tamaño y arreglar los bordes irregulares. El segundo pulido tiene como objetivo remover

las asperezas menores. El tercer pulido tiene como finalidad dejar la superficie de las hebillas más uniforme y regular con el fin de facilitar la deposición electrolítica en el siguiente subproceso. Este pulido también proporciona a la pieza un leve brillo.

En la etapa de pulido manual se consideró despreciable y no se tuvo en cuenta en el balance de masa, la pérdida de masa de lija 180 debido que se usa para pulir diferentes piezas de diversos tamaños, imposibilitando determinar específicamente el consumo de ésta sobre la hebilla. Además, se consideró que el residuo particulado generado en esta etapa se recupera en su totalidad en la cabina dispuesta para este fin.

En este subproceso se presenta pérdida de masa por unidad de hebilla, y pérdidas por unidades de hebilla debido al rompimiento de algunas durante los pulidos y al rechazo de unidades durante la inspección manual.

En la Figura 7 se presenta el diagrama de flujo del subproceso. Sobre la figura, las corrientes másicas se identificaron con la letra P. Las corrientes de energía eléctrica se nombraron con la letra Q.

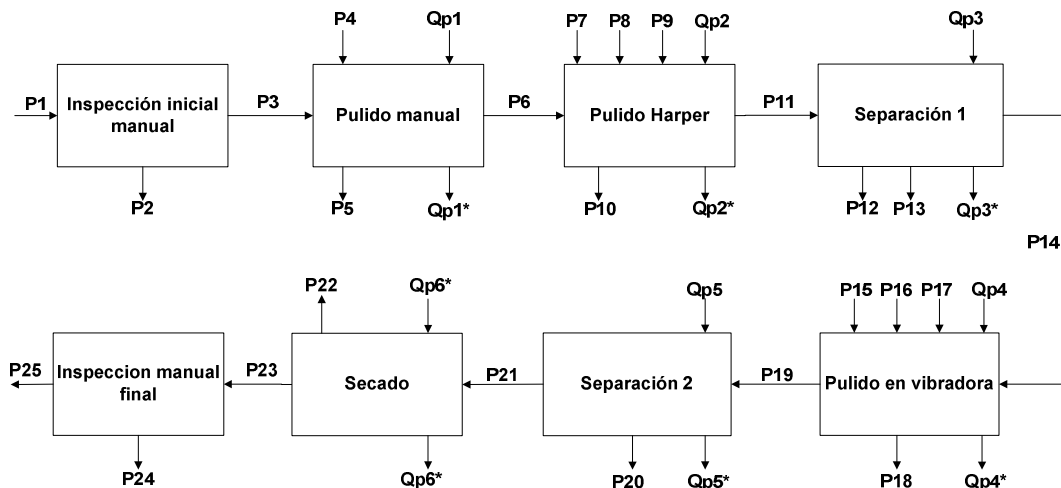


Figura 7. Diagrama del subproceso de pulido.

En la Tabla 4 se presenta el balance de masa realizado y el consumo de energía eléctrica del subproceso. Se presenta además la identificación y clasificación de las corrientes como entrada, salida o residuo.

**Tabla 4. Corrientes subproceso pulido.**

Etapa	Corriente	Composición	Masa (g)	Energía eléctrica (J)	Entrada	Salida	Residuo		
							Emisión	Vertimiento	Sólido
Inspección manual inicial	P1	Lote de hebillas inicial (465 000 unidades)	914625,71		x				
	P2	Hebillas descartadas (18 600 unidades)	36585,03			x			
Pulido manual	P3	Hebillas seleccionadas (446 400 unidades)	878040,68		x				
	P4	Lija 180	Despreciable		x				
	Qp1	Energía eléctrica pulidora manual + cabina recuperación de zamac		8324790035,32	x				
	Qp1*	Energía (disipada al medio por pulido manual + cabina recuperación de zamac+ funcionamiento equipos)		8324790035,32		x	x		
	P5	Pérdida de masa(zamac polvo)	2588,80			x			
Pulido Harper	P6	Hebillas pulidas (446 400 unidades)	875451,88		x				
	P7	Piedra de corte referencia 3/16	1349489,36		x				
	P8	Agua (4 ciclos) + Agua para limpiar lote de hebillas	5682893,62		x				
	P9	Jabón líquido (4 ciclos)	1360,81		x				
	Qp2	Energía eléctrica Harper (para 27 072 hebillas*2 veces aprox.)		102426556,56	x				
	Qp2*	Energía (disipada al medio por pulido Harper+ funcionamiento equipo)		102426556,56		x	x		
Separación 1	P10	Residuo (agua+jabón+piedra+zamac desprendido)	5726572,59			x		x	x
	P11	Hebillas pulidas en Harper + piedra 3/16	2182623,08		x				
	Qp3	Energía eléctrica seleccionadora		7992345,76	x				
	Qp3*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por seleccionadora)		7992345,76		x	x		
	P12	Hebillas partidas y descartadas	5950,18			x			
Pulido en vibradora	P13	Piedra de corte referencia 3/16	1307276,60			x			
	P14	Hebillas pulidas (443 365,96 g aprox. 443 366 unidades)	869396,31		x				
	P15	Piedra SHIP	3132978,72		x				
	P16	Polvo desbarbante	4049,79		x				
	P17	Agua	7914,89		x				
	Qp4	Energía eléctrica vibradora		96511345,07	x				
Separación 2	Qp4*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio por vibradora)		96511345,07		x	x		
	P18	Residuo (polvo+agua+masa piedra ship+ masa perdida hebillas)	15804,71			x			x
	P19	Hebillas+ piedra ship	3998535,00		x				
	Qp5	Energía eléctrica separadora		72835905,75	x				
Secado	Qp5*	Energía (funcionamiento equipo + disipada al medio por separadora)		72835905,75		x	x		
	P20	Piedra ship	3131000,00			x			
	Qp6	Energía eléctrica para secado hebillas pulidas		37398146,22	x				
Inspección manual final	P21	Hebillas húmedas pulidas	880232,24		x				
	P22	Agua evaporada por secado	12697,24			x	x		
	Qp6*	Energía (funcionamiento equipo+disipada al medio por secado)		37398146,22		x	x		
	P23	Hebillas pulidas (aprox. 443 366 unidades)	867535,00		x				
	P24	Hebillas descartadas (aprox. 2 572 unidades)	5033,30			x			
	P25	Hebillas pulidas finales (44 0793,62 aprox. 440 794 unidades)	862501,70			x			

x Corriente reutilizable

### 2.3.4 Balances de masa y energía. Subproceso 4. Montaje del pin en el proceso de fabricación de la hebilla

Se realiza el montaje del pin en la hebilla con el fin de obtener la hebilla armada para realizar el subproceso de baños de recubrimiento electrolítico. En la Figura 8 se presenta el diagrama de flujo del subproceso. Sobre la figura, las corrientes

másicas se identificaron con la letra M. Las corrientes de energía eléctrica se nombraron con la letra Q.

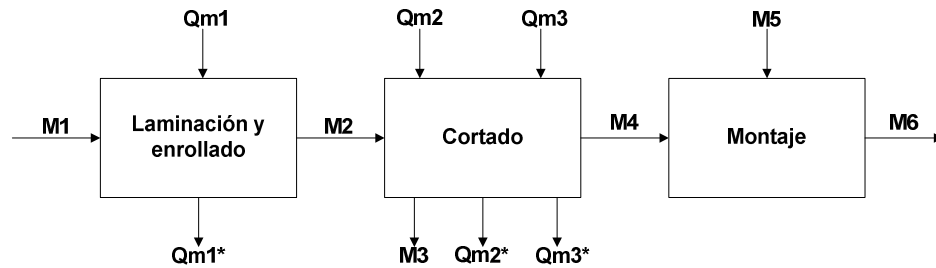


Figura 8. Diagrama del subproceso de montaje del pin en la fabricación de la hebilla.

En la Tabla 5 se presenta el balance de masa realizado y el consumo de energía eléctrica del subproceso. Se presenta además la identificación y clasificación de las corrientes como entrada, salida o residuo.

Tabla 5. Corrientes subproceso montaje del pin.

Etapa	Corriente	Composición	Masa (g)	Energía eléctrica (J)	Entrada	Salida	Residuo
							Emisión
Laminación + enrollado	M1	Alambre de hierro (2 bloques de alambre de 25kg cada uno)	50000,00		x		
	M2	Alambre (laminado + enrollado)	50000,00			x	
	Qm1	Energía eléctrica laminadora + enrolladora (para 440 794 hebillas)		1981987859,13	x		
	Qm1*	Energía (funcionamiento equipo+ disipada al medio laminadora+ enrolladora) (para 440 794 hebillas)		1981987859,13		x	x
Cortado	M2	Alambre (laminado + enrollado)	50000,00		x		
	Qm2	Energía eléctrica alimentador de cortado		201558087,34	x		
	Qm3	Energía eléctrica cortadora y formadora de pin		655063783,93	x		
	M3	Alambre no cortado	13414,10			x	
	Qm2*	Energía disipada al medio por alimentador de cortado+ funcionamiento equipo		201558087,34		x	x
	Qm3*	Energía (funcionamiento de equipos+ disipada al medio por cortadora y formadora de pin)		655063783,93		x	x
Montaje	M4	Pines	36585,90		x		
	M5	Hebillas	862502,45		x		
	M6	Hebillas con pines (armadas)	899088,35			x	

x Corriente reutilizable

### **2.3.5 Balances de masa y energía. Subproceso 5. Acabado con baños electrolíticos en el proceso de fabricación de la hebilla**

Las hebillas armadas se someten a una serie de baños electrolíticos con el fin de darle un acabado a la pieza. Esta pieza pasa por una etapa de cobrizado y seguidamente a una etapa de niquelado, como recubrimiento final.

Las piezas se colocan en el tambor, en este caso para el lote de 6683 unidades de hebilla se utilizó un tambor que puede soportar una carga de 20 kg. No se conoce el peso del tambor giratorio, pero durante todo el balance de masa no se tuvo en cuenta, pues su función es depositar y cargar las hebillas.

Los tanques se mantienen a temperatura ambiente, excepto los baños de cobre y níquel. El primero permanece a una temperatura entre 25-40°C debido a la agitación constante producida por el movimiento del tambor para lograr el recubrimiento, y el segundo baño debe trabajar a temperaturas entre 55-60°C, para ello se utiliza una resistencia eléctrica de titanio que le transfiera la energía para el calentamiento requerido.

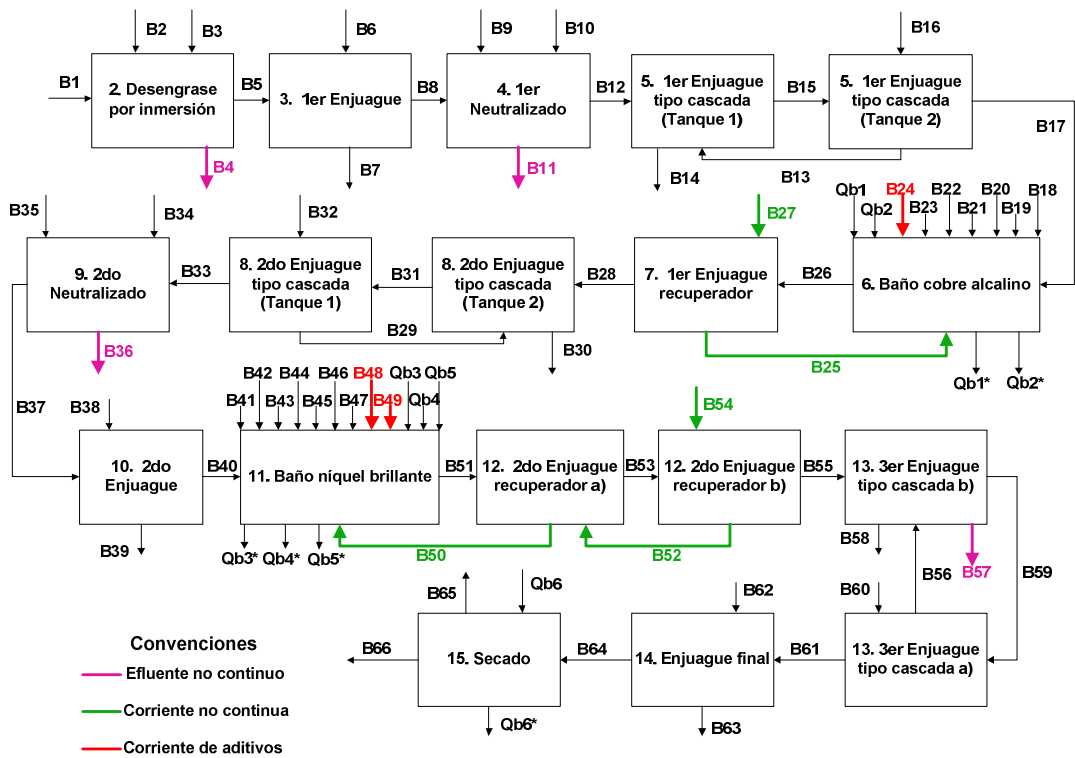
El tiempo de inmersión del tambor en cada uno de los tanques del subproceso es de 20s (excepto para el baño de cobre alcalino y níquel brillante, con tiempos de 1,5 y 2h, respectivamente). Durante la inmersión del tambor se ingresa agua limpia durante el mismo tiempo.

Para los flujos de entrada y salida de las parejas de corrientes másicas B13 y B14, B29 y B30, B38 y B39, el valor del flujo másico que entra es inferior al que sale, a pesar que el volumen de la solución del tanque se mantiene constante. Esto debido a la presencia de metales, grasas y aceites en los efluentes provenientes de las etapas anteriores a estos efluentes. Esto se verificó con la caracterización de los vertimientos de los baños electrolíticos (Ver secciones 2.4.2. y 2.4.3).

A continuación se mencionan las corrientes no tenidas en cuenta en la realización de los balances:

- El volumen de los tanques. La cantidad de agua requerida para cada etapa del subproceso se determinó a partir del consumo para una cantidad de piezas procesadas.
- La corriente B4 en la etapa 2. Esto debido a que el tanque se desocupa y se lava cada 3 días, aproximadamente, dependiendo de la suciedad de las piezas procesadas.
- Las corrientes B11 y B36, correspondientes a las etapas 4 y 9. Debido a que la frecuencia de lavado de los tanques es de 3 y 8 días, respectivamente, sujetos de igual forma a la cantidad y suciedad de las piezas a recubrir.
- Las corrientes de soluciones concentradas con los metales usados para recubrir que se recirculan (B25 y B50) hacia la respectiva etapa de recubrimiento cuando se observa disminución del nivel de solución en los tanques causado por el arrastre del tambor así como las corrientes de agua limpia (B27 y B54) que simultáneamente ingresan a los tanques de recuperación con el mismo objetivo.
- El consumo eléctrico de la resistencia de titanio que se utiliza para el calentamiento del baño de níquel que se deja encendida durante 10h para que el baño alcance la temperatura de trabajo (55-60°C), debido que el calentamiento no sólo se realiza para la hebilla a recubrir sino para todas las piezas que reciben un acabado de níquel durante 1 día de trabajo.
- Las emisiones producidas en los baños electrolíticos ya que no fue posible su cuantificación porque no existe un sistema de recolección y/o extracción por tanques. La presencia de emisiones se evidencia por los fuertes olores que emanan del cuarto de recubrimiento.
- La humedad ganada por el lote de hebillas procesadas en cada etapa de recubrimiento electrolítico, debido a la imposibilidad de realizar el cálculo en cada una, ya que el subproceso se realiza de forma continua sin retirar las hebillas del tambor. Se calculó la humedad ganada por las piezas pesando el lote antes (corriente B64) y después del secado (corriente B66) y se tomó este valor como la humedad del subproceso.

En la Figura 9 se presenta el diagrama de flujo del subproceso. Sobre la figura, las corrientes másicas se identificaron con la letra B. Las corrientes de energía eléctrica se nombraron con la letra Q.



**Figura 9. Diagrama del subproceso de baños de recubrimiento electrolytico en la fabricación de la hebilla.**

En la Tabla 6 se presenta el balance de masa realizado y el consumo de energía eléctrica del subproceso. Se presenta además la identificación y clasificación de las corrientes como entrada, salida o residuo.

**Tabla 6. Corrientes subproceso acabado con baños de recubrimiento electrolítico.**

Etapa	Corriente	Composición	Masa (g)	Energía eléctrica (J)	Entrada	Salida	Residuo	
							Emisión	Vertimiento
Desengrase por inmersión (899 088,35 g procesados de piezas)	B1	Hebillas armadas	899088,35		x			
	B2	Agua para desengrase	66033,68		x			
	B3	Novaclean ZAM	2461,77		x			
	B4	Solución agua+ Novaclean ZAM	No se cuenta			x		x
	B5	Hebillas armadas+ Novaclean ZAM	899088,35			x		
1er Enjuague (aprox. 13 631,33 g x 66 tambores procesados de piezas)	B5	Hebillas armadas	899088,35		x			
	B6	Agua limpia 1er enjuague	363000,00		x			
	B7	Agua salida 1er enjuague tras desengrase	363000,00			x		x
	B8	Hebillas armadas	899088,35			x		
1. Neutralizado (899 088,35 g procesados de piezas)	B8	Hebillas armadas	899088,35		x			
	B9	Acido sulfúrico para 1er neutralizado	1945,97		x			
	B10	Agua para 1er neutralizado	216435,01		x			
	B11	Salida agua (con H2SO4)	No se cuenta			x		x
1er Enjuague tipo cascada. Tanque 1. (aprox. 13 631,33 g x 66 tambores procesados de piezas) aprox. 6683 hebillas cada tambor	B12	Hebillas armadas	899088,35		x			
	B13	Agua 1er enjuague cascada tanque 2.	363000,00		x			
	B14	Agua 1er enjuague cascada tanque 1.	377520,00			x		x
	B15	Hebillas armadas	899088,35			x		
1er Enjuague tipo cascada. Tanque 2. (aprox. 13 631,33 g x 66 tambores procesados de piezas)	B15	Hebillas armadas	899088,35		x			
	B16	Agua limpia 1er enjuague cascada tanque 2.	363000,00		x			
	B13	Agua 1er enjuague cascada tanque 2.	363000,00			x		
	B17	Hebillas armadas	899088,35			x		
Baño cobre alcalino (899 088,35 g procesados de piezas)	B17	Hebillas armadas	899088,35		x			
	B18	Ánodos cobre metálico	5133,73		x			
	B19	Agua limpia para cobrizado	71682,50		x			
	B20	Cianuro de sodio	14083,50		x			
	B21	Cianuro de cobre	9877,43		x			
	B22	Sal de Rochelle	843,32		x			
	B23	Abrillantador de cobre (Alkabright)	493,34		x			
	B24	Alcamiz	No se cuenta		x			
	B25	Agua del 1er enjuague recuperador	No se cuenta		x			
	Qb1	Energía eléctrica rectificador para cobrizado		1465288704,00	x			
	Qb2	Energía eléctrica rotación tambor cobrizado		122225975,72	x			
	Qb1*	Energía (disipada al medio+ funcionamiento equipo para cobrizado)		1465288704,00		x		x
	Qb2*	Energía (disipada al medio + funcionamiento rotación tambor en cobrizado)		122225975,72		x		x
1er Enjuague recuperador (aprox. 13 703,47 g x 66 tambores procesados de piezas)	B26	Hebillas armadas cobrizadas	903846,72		x			
	B27	Agua limpia al 1er enjuague recuperador	No se cuenta		x			
	B25	Agua del 1er enjuague recuperador	No se cuenta			x		
	B28	Hebillas armadas	903846,72			x		
2do Enjuague tipo cascada. Tanque 2. (aprox. 13 703,47 g x 66 tambores procesados de piezas)	B28	Hebillas armadas	903846,72		x			
	B29	Agua 2do enjuague cascada tanque 1.	363000,00		x			
	B30	Agua 2do enjuague cascada tanque 2.	366630,00			x		x
	B31	Hebillas armadas	903846,72			x		
2do Enjuague tipo cascada. Tanque 1. (aprox. 13 703,47 g x 66 tambores procesados de piezas)	B31	Hebillas armadas	903846,72		x			
	B32	Agua limpia 2do enjuague cascada tanque 1.	363000,00		x			
	B29	Agua 2do enjuague cascada tanque 1.	363000,00			x		
	B33	Hebillas armadas	903846,72			x		
2do Neutralizado (903 846,72 g procesados de piezas)	B33	Hebillas armadas	903846,72		x			
	B34	Agua limpia para 2do neutralizado	89879,01		x			
	B35	Acido sulfúrico para 2do neutralizado	1053,38		x			
	B36	Agua salida 2do neutralizado	No se cuenta			x		x
	B37	Hebillas armadas	903846,72			x		
2do Enjuague (aprox. 13 703,47 g x 66 tambores procesados de piezas)	B37	Hebillas armadas	903846,72		x			
	B38	Agua limpia para 2do enjuague	363000,00		x			
	B39	Agua de 2do enjuague	366630,00			x		x
	B40	Hebillas armadas	903846,72			x		

**Continuación Tabla 6. Corrientes subproceso acabado con baños de recubrimiento electrofítico.**

Etapa	Corriente	Composición	Masa (g)	Energía eléctrica	Entrada	Salida	Residuo	
							Emisión	Vertimiento
Niquelado brillante (903 846,72 g procesados de piezas)	B40	Hebillas armadas	903846,72		x			
	B41	Anodos níquel	12848,98		x			
	B42	Sulfato de níquel	1791,21		x			
	B43	Cloruro de níquel	656,78		x			
	B44	Ácido bórico	597,07		x			
	B45	Contenido de base (base para níquel)	6448,37		x			
	B46	Abrillantador de níquel	12766,82		x			
	B47	Agua para niquelado	131355,71		x			
	B48	Antiporos	No se cuenta		x			
	B49	Níplex	No se cuenta		x			
	B50	Agua 2do enjuague recuperador tanque a)	No se cuenta		x			
	Qb3	Energía eléctrica calentamiento baño niquelado			12988800,00	x		
	Qb4	Energía eléctrica rectificador niquelado			25344000,00	x		
	Qb5	Energía eléctrica rotación tambor niquelado			2469211,63	x		
	Qb3*	Energía (funcionamiento resistencia de calentamiento+disipada al medio)			12988800,00		x	x
	Qb4*	Energía (funcionamiento equipo para niquelado+ disipada al medio)			25344000,00		x	x
	Qb5*	Energía (funcionamiento rotación tambor en niquelado+ disipada al medio)			2469211,63		x	x
2do Enjuague recuperador. Tanque a). (aprox. 13 850,21 g x 66 tambores procesados de piezas)	B51	Hebillas armadas niqueladas	913525,32		x			
	B52	Agua de 2do enjuague recuperador tanque b)	No se cuenta		x			
	B50	Agua de 2do enjuague recuperador tanque a)	No se cuenta			x		
2do Enjuague recuperador. Tanque b). (aprox. 13 850,21 g x 66 tambores procesados de piezas)	B53	Hebillas armadas	913525,32		x			
	B54	Agua limpia al 2do enjuague recuperador	No se cuenta		x			
	B52	Agua 2do enjuague recuperador tanque a)	No se cuenta			x		
3er Enjuague cascada. Tanque b). (13 850,21 g x 66 tambores procesados de piezas)	B55	Hebillas armadas	913525,32		x			
	B56	Agua 3er enjuague cascada tanque a)	363000,00		x			
	B57	Agua salida 3er enjuague cascada tanque b)	No se cuenta			x	x	
	B58	Agua 3er enjuague cascada tanque b)	363000,00			x	x	
3er Enjuague cascada. Tanque a). (aprox. 13 850,21 g x 66 tambores procesados de piezas)	B59	Hebillas armadas	913525,32		x			
	B60	Agua limpia 3er enjuague cascada tanque a)	363000,00		x			
	B56	Agua 3er enjuague cascada tanque a)	363000,00			x		
	B61	Hebillas armadas	913525,32			x		
Enjuague final (aprox. 13 850,21 g x 66 tambores procesados de piezas)	B61	Hebillas armadas	913525,32		x			
	B62	Agua limpia para enjuague final	363000,00		x			
	B63	Agua de enjuague final	363000,00			x	x	
	B64	Hebillas armadas	913525,32			x		
Secado (aprox. 13 850,21 g x 66 tambores procesados de piezas)	B64	Hebillas armadas	924442,50		x			
	Qb6	Energía eléctrica secado hebillas niqueladas		471900,00	x			
	Qb6*	Energía eléctrica disipada al medio		471900,00		x	x	
	B65	Agua evaporada por secado	10917,18			x	x	
B66	Hebillas armadas niqueladas secas	913525,32			x			

### 2.3.6 Balances de masa y energía. Subproceso 6. Empacado y distribución en el proceso de fabricación de la hebilla

Las hebillas con el recubrimiento final se empaquetan en bolsas con capacidad para almacenar 500 unidades y luego en cajas para su posterior distribución.

En la Figura 10 se presenta el diagrama de flujo del subproceso. Sobre la figura, las corrientes másicas se identificaron con la letra E. Las corrientes de energía eléctrica se nombraron con la letra Q.

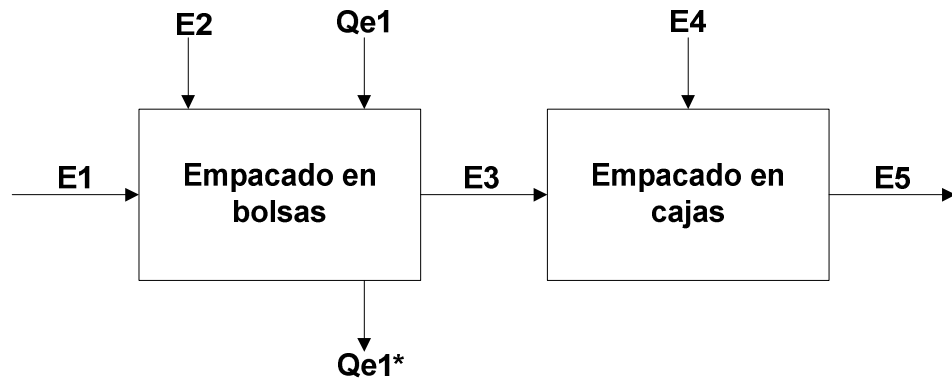


Figura 10. Diagrama del subproceso empacado y distribución en la fabricación de la hebilla.

En la Tabla 7 se presenta el balance de masa realizado y el consumo de energía eléctrica del subproceso. Se presenta además la identificación y clasificación de las corrientes como entrada, salida o residuo.

Tabla 7. Corrientes subproceso Empacado y distribución.

Etapa	Corriente	Composición	Masa (g)	Energía eléctrica (J)	Entrada	Salida	Residuo
							Emisión
Empacado en bolsas	E1	Aprox. 500 unidades de hebillas*881= (13000 unidades)	912916,03		x		
	E2	Bolsas polietileno (26 unidades)	2643,00		x		
	Qe1	Energía eléctrica por selladora		6299150,00			
	Qe1*	Energía (funcionamiento de equipo+ disipada al medio por selladora)		6299150,00			x
Empacado en cajas	E3	Hebillas en bolsas	915559,03			x	
	E4	Caja	750,00		x		
	E5	Hebillas en caja (881 bolsas con hebillas + 34 cajas)	941059,03			x	

x Corriente reutilizable

### 2.3.7 Insumos y aditivos no tenidos en cuenta en el proceso

En la Tabla 8 se presenta el listado de los insumos y aditivos requeridos para el proceso que no se tuvieron en cuenta en los balances de masa debido que son cantidades que no se aplican de forma continua y se adicionan de manera

empírica cuando se requiere mejorar la calidad de las piezas o realizar ayudas al proceso.

**Tabla 8. Corrientes de insumos y aditivos no tenidos en cuenta en los balances de masa.**

Insumo	Etapas	Función	Cantidad	Tiempo de adición
Sal de rejuva	Fundición	Recolectar escoria	250 g	Al final de 12h de trabajo
Desgasificante	Fundición	Desgasificar el zamac fundido	35,32 g	Al inicio de 12h de trabajo
Lija 180	Pulido manual	Retirar asperezas de la pieza	1 lija	Depende de las piezas
Alcamiz	Baño cobre alcalino	Evitar formación de vapores de cobre	1,5 l	Mensual
Antiporos	Baño níquel brillante	Evitar formación de poros en las piezas	200 ml	Diario
Niplex	Baño níquel brillante	Evitar presencia de manchas en las piezas	15 gal	Mensual

En la Tabla 9 se presenta el listado de corrientes que no se tuvieron en cuenta en los balances de masa de los subprocesos de fabricación de la hebilla debido que el tiempo de entrada o salida no es simultáneo con la fabricación de las piezas, existen más por el cuidado de los baños y por limpieza, que como parte esencial de la elaboración de la hebilla. Se presentan también las corrientes que salen de los tanques de los baños de recubrimiento electrolytico con el fin de mantener el nivel de otros tanques y aprovechar de mejor manera las materias primas (en el caso del níquel). La cantidad de dichas corrientes no es significativa en comparación con los demás efluentes, para una producción anual.

**Tabla 9. Corrientes no tenidas en cuenta en los balances de masa.**

Corriente	Subproceso	Residuo	Cantidad	Base de cálculo	Tiempo
F6	Fundición	Sólido	4000g	150kg de lingote de zamac	Cada 12 horas
B4	Baño electrolytico	Efluente	649766,67g	8529kg piezas procesadas	Aprox. cada 21 días
B11	Baño electrolytico	Efluente	2071622,22g	8529kg piezas procesadas	Aprox. cada 21 días
B25	Baño electrolytico	-----	371000g	8529kg piezas procesadas	Aprox. cada 21 días
B27	Baño electrolytico	-----	350000g	8529kg piezas procesadas	Aprox. cada 21 días
B36	Baño electrolytico	Efluente	286022,8g	8529kg piezas procesadas	Cada 8 días
B50	Baño electrolytico	-----	367500g	8529kg piezas procesadas	Aprox. cada 21 días
B52	Baño electrolytico	-----	357000g	8529kg piezas procesadas	Aprox. cada 21 días
B54	Baño electrolytico	-----	350000g	8529kg piezas procesadas	Aprox. cada 21 días
B57	Baño electrolytico	Efluente	500000g	8529kg piezas procesadas	Cada mes

## **2.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES RESIDUALES**

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa, se encontró que ya se cuenta con datos de caracterización de efluentes del subproceso de pulido, los cuales se referencian en el presente trabajo, teniendo en cuenta que corresponden a un estudio realizado procesando piezas de zamac [18].

Existen, además, trabajos de caracterización de los efluentes del subproceso de recubrimiento electrolítico, en los que se determinó la concentración de metales pesados, sólidos suspendidos, pH y grasas y aceites [2,10]. Sin embargo, se hizo necesario realizar un nuevo estudio de cuantificación y caracterización de las corrientes residuales de este subproceso debido que se han presentado modificaciones en las etapas del mismo.

Se presentan caracterizaciones correspondientes a las corrientes residuales del subproceso de pulido (corrientes P10 y P18), del subproceso de baños de recubrimiento electrolítico (corrientes B4, B7, B11, B14, B30, B36, B39, B58 y B63) y de los gases de combustión generados en el horno del subproceso de fundición.

### **2.4.1 Resultados de la caracterización de efluentes provenientes del subproceso de pulido en masa para la fabricación de la hebilla**

Se referencian los datos obtenidos en el trabajo de grado realizado por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, en el 2011 [18]. De acuerdo a la información suministrada del documento mencionado, se tomó una muestra compuesta de los vertimientos del pulido HARPER y el pulido en vibradora y se realizó la caracterización mostrada en la Tabla 10.

**Tabla 10. Caracterización de vertimientos del subproceso de pulido.**

Parámetro	Método	Unidad	Resultado	Norma <sup>◊</sup>
pH	Potenciométrico	Unidades de pH	11	5 - 9
Grasas y aceites	Extracción Líquido-Líquido	mg/l	691,2	20
Humedad	Gravimétrico	%	88	-----
Densidad	Gravimétrico	g/ml	1,08	-----
Zinc	Absorción atómica	mg/l	74,84	10
Aluminio	Absorción atómica	mg/l	418,5	5
Cobre	Absorción atómica	mg/l	103,14	3
Hierro	Absorción atómica	mg/l	19,54	25
Nitrógeno total	Kjeldahl	g/l	21,03	-----
Calcio	Absorción atómica	mg/kg	12,3	-----
Sodio	Absorción atómica	mg/kg	69,2	-----
Fósforo	Espectrofotométrico	mg/kg	146,7	-----
Silice	Gravimétrico	%	1,2	-----
Magnesio	Absorción atómica	mg/l	4,21	15

<sup>◊</sup> **Norma ambiental colombiana para vertimientos. Decreto 1594/84**

Se observa que la concentración de zinc, aluminio y cobre excede los límites permitidos por la norma colombiana de vertimientos en un 648,4, 8270 y 3338%p, respectivamente. Esto se debe posiblemente a que se presenta pérdida de masa de las piezas de zamac durante el pulido.

Dentro de la caracterización se encontró igualmente la presencia de otros elementos como Na, Ca, P y Si, no contemplados por la norma, y que son producto probablemente de la pérdida de masa del chip abrasivo (en vibradora), la piedra 3/16 (en Harper) y el polvo desbarbante usados en el pulido en masa.

Por otra parte, existe una concentración de grasas y aceites que supera la norma en 3356%p. Esta alta concentración se debe probablemente a la remoción de la grasa adquirida por las piezas durante el pulido manual y a la presencia de jabón líquido residual utilizado durante el pulido en masa.

Finalmente, el lodo presenta un pH superior al permitido por la norma, debido a la pérdida en masa de las piedras y al polvo desbarbante usado en el proceso.

## 2.4.2 Determinación de concentración de metales en los baños electrolíticos

Se realizó el análisis de los efluentes de los baños de recubrimiento electrolítico, de acuerdo a la Figura 9, en donde se determinó la concentración de metales: zinc, aluminio, cobre y níquel.

En el Anexo 1 se explica la obtención de los valores de concentración de metales de los vertimientos del subproceso mencionado, reportados en la Tabla 11.

**Tabla 11. Concentración de metales en efluentes baños electrolíticos.**

Corriente	Concentración zinc (ppm)	Concentración aluminio (ppm)	Concentración cobre (ppm)	Concentración níquel (ppm)
B4	687,728	29,391	1,39	0,485
B7	6,58	No se detecta	0,74	5,653
B11	194,256	No se detecta	0,802	6,679
B14	32,559	No se detecta	0,864	4,805
B30	1,359	No se detecta	215,015	6,824
B36	15,196	No se detecta	24,737	146,548
B39	0,705	No se detecta	6,684	47,85
B58	0,586	No se detecta	No se detecta	349,704
B63	2,987	No se detecta	No se detecta	21,617
<b>NORMA<sup>◊</sup></b>	<b>10,0</b>	<b>5,0</b>	<b>3,0</b>	<b>2,0</b>

<sup>◊</sup> Norma ambiental colombiana para vertimientos. Decreto 1594/84, artículos 73 y 74

La concentración de **zinc** encontrado en los efluentes correspondientes a las corrientes B4, B11, B14 y B36, supera el valor máximo permitido por la norma colombiana en 6777,3, 1842,6, 225,6 y 52%p, respectivamente. Durante el subproceso de recubrimiento electrolítico no se usan materias primas que contengan zinc, por tanto, se sospecha que la presencia de este metal en los efluentes se debe al desprendimiento del mismo de las hebillas de zamac durante el recubrimiento (componente mayoritario del zamac).

Por otra parte, el recubrimiento de cobre protege a la pieza evitando el desprendimiento de zinc evidenciado en la baja concentración de zinc presente en la corriente B30 en comparación con la corriente B11 proveniente de la etapa de

neutralizado, en donde se realiza un decapado de la pieza que provoca mayor desprendimiento del material.

En cuanto al **aluminio**, la concentración detectada en el efluente correspondiente a la corriente B4 supera el valor máximo permitido por la norma colombiana en 487,8%p. De igual forma a lo mencionado anteriormente, esto se debe al desprendimiento de aluminio presente en la aleación de zamac de la hebilla.

La concentración de **cobre** en las corrientes B4, B7, B11, B14 (anteriores al cobrizado) excede el límite permitido por la norma. Su presencia se debe posiblemente al desprendimiento del mismo durante el galvanizado.

En las corrientes B30, B36 y B39 (posteriores al cobrizado), la concentración de cobre excede la norma en 7067,2, 724,6 y 122,8%p, respectivamente. Esta alta concentración se debe a la contaminación de los tanques por el arrastre del agua de la etapa de baño de cobre alcalino causado por el tambor transportador de las piezas. En las etapas posteriores al niquelado no se detecta concentración de cobre en los efluentes.

La presencia de **níquel** en las corrientes B7, B11, B14 por encima de la norma (182,7, 234 y 140,3%p, respectivamente) se explica por un eventual desprendimiento de este metal por el reproceso de piezas que ya tienen recubrimiento y que deben realizar el subproceso completo nuevamente ya que no aprobaron la inspección final por presencia de fisuras y opacamiento.

En los efluentes B30, B36 y B39 (posteriores al cobrizado) la concentración de níquel por encima de la norma (241,2, 7227,4 y 2292,5%p, respectivamente) se debe a la contaminación de los tanques debido al paso constante de los tambores con las piezas sin previa limpieza.

En la corriente B36 la elevada concentración de níquel se debe a que ese efluente no es continuo, el lavado del tanque se realiza cada 8 días, lo que permite la acumulación de materias primas. La alta concentración de níquel por encima de la norma en las corrientes residuales B58 y B63 (17385,2 y 980,9%p por encima de

la norma, respectivamente) se debe al arrastre del agua de la etapa de baño de níquel provocada por el tambor transportador de las piezas.

### 2.4.3 Determinación de concentración de cianuros, concentración de grasas y aceites, y medición de pH de efluentes de los baños electrolíticos

En el Anexo 2 se presentan las especificaciones de la determinación de concentración de cianuros en los efluentes de los baños electrolíticos que son reportados en la Tabla 12.

Tabla 12. Concentración de cianuro, grasas y aceites y valor de pH de efluentes baños electrolíticos.

Corriente	B4	B7	B11	B14	B30	B36	B39	B58	B63	NORMA <sup>◇</sup>
Concentración de cianuros (ppm)	0,035	N.D	0,012	0,008	76,6	46,5	38,04	0,073	0,12	1
Concentración de grasas y aceites (ppm)	122,5	143,545	186	160	113,04	141,91	111,18	146,52	135,91	20
pH	1	6	1	5	10	1	3	4	7	5 - 9

<sup>◇</sup> Norma ambiental colombiana para vertimientos. Decreto 1594/84, artículos 73 y 74

La concentración de **cianuro** detectada, que sobrepasa el valor máximo permitido por la norma (en 7560, 4550 y 3704%p) corresponde a las corrientes B30, B36 y B39, respectivamente. Estos efluentes pertenecen a etapas posteriores al cobrizado, cuyo baño contiene entre sus materias primas cianuro de sodio y cianuro de cobre. La alta presencia de cianuros se debe posiblemente a la contaminación del agua de las corrientes nombradas por el arrastre de agua de la etapa de baño de cobre alcalino por el tambor transportador de las piezas. Los demás efluentes analizados presentan presencia de cianuros dentro de los límites permitidos por la norma colombiana.

La concentración de **grasas y aceites** de todos los efluentes analizados sobrepasa la norma en más del 455%p. Se piensa que estos valores se deben a la suciedad de las piezas y el jabón usado para el desengrase de las mismas.

Se determinó que los valores de pH medidos en los efluentes líquidos provenientes de las corrientes B7, B14 y B63, se encuentran entre los valores permitidos por la norma colombiana.

#### 2.4.4 Medición de emisiones gaseosas de la combustión en el horno de fundición para la fabricación de la hebilla

Debido que el horno de fundición del zamac opera con gas natural sin ningún sistema de control de emisiones, se realizó la medición de éstas en planta durante el proceso de fabricación usando el equipo Enerac 700 para el horno marca HECHIZO. En la Tabla 13 se reportan los valores promedio de los datos medidos por el equipo.

**Tabla 13. Medición de emisiones gaseosas de la combustión en horno de fundición.**

Parámetro medidos	Unidad	Valor	Límite máximo permisible	
			De contaminantes al aire <sup>◇</sup>	Por exposición <sup>□</sup>
Eficiencia de la combustión	%	84,2	----	----
Temperatura gases salida horno	°C	135	----	----
O <sub>2</sub>	%	12	----	----
CO	ppm	475	----	35 (1 hora)
CO <sub>2</sub>	%	4,8	----	----
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	ppm	62	50 mg/m <sup>3</sup>	----
NO <sub>x</sub>	ppm	20,3	441,53 (550 mg/m <sup>3</sup> )	0,106 (1 hora)
SO <sub>2</sub>	ppm	17	210,14 (550 mg/m <sup>3</sup> )	0,287 (3 horas)
Velocidad gases de combustión	CFM	17	----	----

<sup>◇</sup> Resolución 0909 de 2008 (Norma colombiana de emisión admisibles)

<sup>□</sup> Resolución 610 de 2010 (Norma colombiana de calidad del aire)

Las concentraciones de **NO<sub>x</sub>** y **SO<sub>2</sub>** no exceden la norma colombiana de emisiones admisibles, mientras que si exceden el máximo permisible por exposición en 1 y 3h de trabajo en 19050,9 y 5823,3%, respectivamente.

La concentración de **C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>** en los gases de combustión, suponiendo que es CH<sub>4</sub> mayoritariamente su presencia, no excede al límite máximo permisible por contaminante al ambiente.

La concentración de **CO** presente en los gases de combustión excede la norma de exposición en 1h en 1257,1%, la concentración medida puede generar efectos nocivos en la salud del personal que labora en la empresa [7].

#### 2.4.5 Medición niveles de ruido

Se midió el ruido generado por los equipos utilizados para la elaboración de la hebilla en estudio. En la Tabla 14 se reportan los resultados obtenidos. En la Tabla 15 se presentan los valores permisibles de exposición al ruido por la norma colombiana.

**Tabla 14. Medición niveles de ruido.**

Equipo	Subproceso	Ruido (dB)
Satinadora, secador pulido, secador cuarto de recubrimientos	1	75 (c/u)
Prensa hidráulica, pulidora manual, pulidora Harper, seleccionadora Harper, seleccionadora, rectificador, cuarto de recubrimiento electrolítico	1,3,5	80 (c/u)
Aspiradora	1	100
Horno de fundición, centrifugadora	2	85 (c/u)
Vibradora	3	94

**Tabla 15. Valores límites permisibles para ruido continuo o intermitente.**

Exposición diaria (h)	8	7-6	5-4	3	2	1	1/2	1/4	1/8
Nivel máximo permitido (dB)	90	92	95	97	100	102	105	110	115

**Resolución 8321 de 1983 (Protección y conservación de la audición de la salud), Capítulo V (Emisión de ruido en los lugares de trabajo). No se permite ningún tiempo de exposición a ruido continuo o intermitente por encima de 115 dB.**

La exposición al ruido en todos los equipos utilizados corresponde a 8h diarias (una jornada de trabajo), a excepción de la aspiradora (ruido intermitente, 1h en total). Durante la jornada laboral, sólo cierta parte del tiempo de uso de estos corresponde a la fabricación de la hebilla, sin embargo se toma en cuenta el tiempo diario que los operarios están expuestos al ruido de cada uno.

De acuerdo a los resultados la vibradora supera el límite permitido, razón por la cual es obligatorio el uso de doble protección auditiva dentro del cuarto de

vibradoras (tapones y protector auditivo). La exposición al ruido generado por los demás equipos cumple con la normatividad colombiana.

## 2.5 REALIZACIÓN DEL BALANCE AMBIENTAL

Basados en los inventarios de masa y energía del proceso, se presenta en la Tabla 16 un resumen de la demanda de recursos naturales y energéticos necesarios para la producción anual de la hebilla.

**Tabla 16. Demanda de recursos para la producción anual de la hebilla.**

<b>Demanda</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Uso</b>	
<b>Recurso Natural</b>	Aire	2981,06kg	Horno de fundición
	Agua	8444,19 m <sup>3</sup>	Enjuagues en pulido y baño de recubrimiento electrolítico
<b>Recurso Energético</b>	Electricidad	3829,24 kWh	Funcionamiento de equipos usados en el proceso
	Gas Natural	122,46kg	Horno de fundición

En la Tabla 17 se presenta el listado de los residuos generados y su clasificación de acuerdo a la categoría ambiental que impactan: consumo de agua – CA (recursos naturales), potencial de toxicidad humana – PTH (salud humana), potencial de calentamiento global - PCG, potencial de ecotoxicidad acuática - PEcAq, potencial de ecotoxicidad terrestre – PecTe y potencial de acidificación PA (salud ecológica).

**Tabla 17. Residuos generados en el proceso para la producción anual de la hebilla.**

Residuos		Cantidad (kg)	Categoría de impacto					
			CA	PTH	PCG	PEcAq	PEcTe	PA
Vertimientos	Efluentes baños de recubrimiento electrolítico y pulido	7942,16	x	x		x		
	Moldes de silicona	69,44					x	
Sólidos	Talco chino	13,063		x			x	
	Gases de combustión	3103,53		x	x			x
Emisiones	Vapores de fundición	-----		x				
	Vapores de recubrimiento electrolítico	-----		x				
	Ruido	-----		x				

### 2.5.1 Residuos líquidos (Vertimientos)

En la empresa Fantaxias S.A.S., los subprocesos de pulido y de acabado con baños de recubrimiento electrolítico de las piezas, involucran consumo de agua. Básicamente se trata de las etapas de desengrase, enjuagues y neutralizados. Las descargas de estos efluentes al alcantarillado sin previo tratamiento caracterizándose entonces por su carga contaminante tóxica: contenido de cianuro, grasas y metales pesados.

Por otra parte, los vertimientos líquidos realizados por la empresa Fantaxias S.A.S., presentan características ácidas (efluentes después del niquelado) y básicas (enjuague después del baño de cobre alcalino y efluentes del pulido). Estos vertimientos son dispuestos a la red de alcantarillado sin que se les realice ningún pretratamiento.

La concentración elevada de metales pesados interfiere en los procesos biológicos de tratamiento de aguas debido que inhibe el crecimiento microbiano [8]. Los metales pesados son en general tóxicos por sus concentraciones, y no por sus características esenciales, para los seres humanos ya que de acuerdo a la

Organización Mundial de la Salud, la contaminación por metales pesados contribuye a más del 80% de todas las enfermedades. Por sus características de bioacumulativos, las concentraciones permitidas de metales en el agua de consumo humano deben ser muy pequeñas (níquel: 20µl/l y cobre: 2ml/l) según RD 140/03.

Por otro lado la alta concentración de grasas y aceites en efluentes puede impactar en el ambiente al disminuir la transferencia de oxígeno en el cuerpo receptor, afectando los procesos de fotosíntesis de algas, plantas y organismos acuáticos en general [8].

El vertimiento de aguas contaminadas con cianuros a fuentes hídricas causa la muerte de peces y fauna que habita estas corrientes. La exposición de personas a niveles altos de cianuro durante un período breve daña el cerebro y el corazón y puede producir coma y la muerte. El cianuro produce efectos tóxicos a niveles de 0,05 miligramos de cianuro por decilitro de sangre (mg/dl) [5].

### **2.5.2 Residuos sólidos**

Los residuos de talco pueden generar problemas respiratorios. La exposición prolongada sin el correcto uso de elementos de protección personal causa además resequedad e irritación en la piel. El contacto con los ojos puede causar irritación y daños irreversibles. La disposición directa de estos residuos en el ambiente afecta los terrenos sobre los cuales hace contacto, provocando cambios de acidificación (MSDS – Talco industrial).

Otros de los residuos sólidos generados durante la producción de la hebilla son los moldes de silicona. Estos no presentan ningún riesgo para la salud de los trabajadores. Sin embargo tienen gran resistencia a la biodegradación, lo que representa un problema ambiental.

### 2.5.3 Emisiones atmosféricas

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) contribuye considerablemente al efecto invernadero. Concentraciones superiores a 0,03% en el ambiente producen pérdida inmediata de la conciencia en seres humanos expuestos.

De manera general, el monóxido de carbono (CO) presente en la atmósfera no presenta gran peligrosidad ya que reacciona rápidamente y pasa a  $\text{CO}_2$ . Sin embargo, en espacios cerrados el CO llega a ser peligroso a concentraciones de 700 ppm provocando pérdida de conciencia en seres humanos, e incluso puede llevar hasta la muerte.

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son tóxicos. En la salud humana los principales efectos nocivos comprenden problemas respiratorios.

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es un gas tóxico. Sin la adecuada limpieza de los gases de combustión, el  $\text{SO}_2$  liberado a la atmósfera puede formar ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), los cuales presentan efectos dañinos en la naturaleza y llevan a la formación de lluvia ácida.

Las emisiones de hidrocarburos ( $\text{C}_x\text{H}_x$ ) también contribuyen al efecto invernadero. Algunas emisiones pueden contener componentes cancerígenos.

Los sólidos (polvo, hollín) presentes en los vapores de fundición son peligrosos para los seres vivos ya que pueden estar recubiertos de sustancias tóxicas y cancerígenas [7].

Los vapores de recubrimiento electrolítico no son relevantes desde el punto de vista ambiental global, pero se tiene presente que existe un efecto importante para la salud de las personas que laboran en ese ambiente de trabajo y que están expuestas a dichos vapores. Sin el debido uso de protección personal (máscaras de filtro, guantes, gafas de seguridad) pueden presentar a largo plazo problemas respiratorios, irritación de las mucosas y de la piel [8].

Los efectos de la exposición del ruido en la salud dependen de la intensidad y tipo de ruido, el tiempo de exposición, la edad y la susceptibilidad individual. Entre las principales consecuencias se encuentran la pérdida temporal o permanente de la audición, nerviosismo, estrés, fatiga y disminución de la productividad laboral, entre otros [6, 16].

## CONCLUSIONES

El balance ambiental realizado determinó que todos los residuos generados en la empresa Fantaxias S.A.S., durante la fabricación de la hebilla H-0788-12, presentan Potencial de Toxicidad Humana – PTH, siendo la “salud humana” la categoría más afectada por la carga ambiental del proceso productivo. En cuanto a los residuos generados, se encontró en los subprocesos analizados que la mayor cantidad de estos corresponden a residuos líquidos (7942,16 kg), en comparación con los residuos sólidos (82,5 kg) y las emisiones (3103,53 kg), para una producción anual de 465000 unidades de hebilla.

Los gases de combustión constituyen un ejemplo del impacto del proceso en la salud humana. Presentan concentraciones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO que exceden el valor máximo por exposición en horas permitido por la legislación colombiana en 19050,9, 5823,3 y 1257,14%, respectivamente, convirtiéndose en un riesgo para la salud de las personas presentes en el entorno de trabajo.

Los resultados obtenidos en la identificación, cuantificación y caracterización de las corrientes residuales del proceso de producción de la hebilla H-0788-12 fabricada en la empresa Fantaxias S.A.S, mostraron que los efluentes provenientes del subproceso de baños de recubrimiento electrolítico, en comparación con los efluentes del subproceso de pulido, son el principal foco de contaminación del proceso al presentar concentraciones de metales y cianuros, superiores hasta en un 17385 y 7560%p , respectivamente, a las normativas colombianas vigentes, representando impactos al medio ambiente debido a su disposición sin previo tratamiento.

A partir de la cuantificación másica de las corrientes del proceso y de la cantidad de energía eléctrica suministrada a los equipos usados en la fabricación de la hebilla H-0788-12, se calculó la cantidad de recursos naturales necesarios para satisfacer su producción anual estimada.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental potencial de la línea de producción de la hebilla con ayuda del software para realizar Análisis de Ciclo de Vida, Simapro, con el fin de determinar cuantitativamente los impactos del proceso en categorías ambientales.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Amado Duarte D *et al.* “Evaluación técnica para la recuperación y reutilización de las aguas residuales industriales de la empresa Fantaxias Ltda. por resinas de intercambio iónico.” Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 2006.

[2] Ballesteros Carrillo E *et al.* “Diseño de alternativas para la oxidación de de cianuros y remoción de metales presentes en los efluentes de la empresa de electro recubrimientos Fantaxias Ltda.” Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 2007.

[3] Bernal Pedraza A. La responsabilidad ambiental de las empresas. Un compromiso ético con el desarrollo sostenible. *Management*, Vol.31, Enero-Junio 2009, p. 91-103, Universidad de San Buenaventura, Bogotá D.C.

[4] Chacón Vargas R. “Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV)”. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* No 72, Octubre-Diciembre de 2008, p. 37-70.

[5] Departamento de Salud de los Estados Unidos. Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades – ATSDR. “Resumen de Salud Pública – Cianuro” En: ATSDR [En línea] (2006). (Consultado 03 sept. 2012).

Disponible en:

[http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs8.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.pdf)

[6] Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Facultad de Ingeniería Industrial. Laboratorio de Producción. “Niveles de ruido. Protocolo. Laboratorio de condiciones de trabajo.” En: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito [En línea]. (2007) (consultado 03 sept. 2012). Disponible en:

<http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/HYSI/PROTOCOLO%20DE%20RUIDO1.pdf>

[7] Empresa productora de instrumentos electrónicos de medición – TESTO. “Análisis de gases de combustión en la industria. Guía práctica para medir emisiones y procesos.” En: TESTO [En línea]. (2007). (Consultado 03 sept. 2012).

Disponible en:

[http://www.testo.com.ar/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia\\_emisiones.pdf](http://www.testo.com.ar/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia_emisiones.pdf)

[8] FUNDES Colombia. República de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. “Guía de buenas prácticas para el sector galvanotecnia”. En: Ministerio del Medio Ambiente [En línea]. (Consultado 03 sept. 2012). Disponible en:

<http://www.minambiente.gov.co/documentos/galvanotecnica.pdf>

[9] Gamboa Gualdrón M *et al.* “Desarrollo de una técnica de precipitación para reducir el contenido de cobre, níquel, zinc presentes en las aguas industriales de la empresa de electro-recubrimientos Fantaxias Ltda. de Bucaramanga.” Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 2006.

[10] Guerrero Gómez A *et al.* “Evaluación de la carga contaminante de las vertientes líquidas de la empresa de herrajes Fantaxias Ltda.” Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 2006.

[11] Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos. Centro Común de Investigación, CCI. Comisión Europea. “Prevención y control integrados de la contaminación.” Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos. En: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, PRTR-España. [En línea]. (2006). [consultado 03 sept. 2012]. Disponible en:

<http://www.prtr-es.es/data/images/Borrador-TRATAMIENTO-DE-RESIDUOS-ES.pdf>

[12] Monroy N *et al.* “Introducción a la producción más limpia (PML)”. Bogotá. 2004.

[13] Naranjo C. “Análisis de ciclo de Vida”. Universidad Pontificia Bolivariana. Recuento histórico. Comunicación personal. 2009.

[14] Norma Técnica Colombiana, NTC-ISO 14001. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. 2004.

[15] Orozco Rozo A *et al.* “Caracterización de las propiedades del recubrimiento electrolítico mediante la implementación de la técnica de ondas pulsantes en la empresa Fantaxias Ltda.” Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 2006.

[16] República de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. Subdirección de Estudios Ambientales – IDEAM. “Documento soporte norma de ruido ambiental”. En: Ministerio del Medio Ambiente [En línea]. (2006). (Consultado 03 sept. 2012). Disponible en:

[http://www.minambiente.gov.co/documentos/3126\\_1727\\_Documento\\_soporte\\_ruido\\_mayo\\_25.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/3126_1727_Documento_soporte_ruido_mayo_25.pdf)

[17] Romero Rodríguez B. “El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental.” Tendencias Tecnológicas, Boletín IIE, Julio-Septiembre, 2003. p. 92 – 97.

[18] Ruiz Cañas M. “Propuesta tecnológica para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pulido en masa realizado en la empresa de galvanoplastia Fantaxias S.A.S.” Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 2011.

[19] Vergel Zapata C *et al.* “Optimización de un nuevo proceso de producción de recubrimientos electrolíticos en la empresa Fantaxias Ltda. aplicando el método

Taguchi.” Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. 2007.

[20] Van Hoof B. “El análisis de ciclo de vida (ACV) como herramienta de la gestión ambiental para la industria colombiana.” Universidad de los Andes. Conferencia para el Seminario de Producción más Limpia. Bucaramanga, Colombia. 1999.

[21] Witjes S *et al.* Hacer posible la aplicación de “Life Cycle Assesment” en Colombia. Grupo de investigaciones Desarrollo Integral de Productos Sostenibles, DIPS. Primer Encuentro Nacional de Investigación en Diseño. Universidad Icesi. 2004.

## ANEXOS

### ANEXO A. Determinación de concentración de metales

#### 1. Determinación de concentración de zinc en muestras analizadas.

Patrón de Zinc	
Concentración (ppm)	absorción atómica
0,2	0,072
0,4	0,14
0,6	0,23
0,8	0,31
1	0,37

Corriente	Absorción atómica	Concentración muestra diluida (ppm)	Concentración muestra original (ppm)
B4	0,258	0,688	687,728
B7	0,045	0,132	6,580
B11	0,069	0,194	194,256
B14	0,244	0,651	32,559
B30	0,515	1,359	1,359
B36	0,111	0,304	15,196
B39	0,057	0,014	0,705
B58	0,219	0,586	0,586
B63	0,109	0,299	2,987

#### 2. Determinación de concentración de aluminio en muestras analizadas.

Patrón de Aluminio	
Concentración (ppm)	absorción atómica
10	0,032
20	0,056
30	0,083
40	0,098
50	0,125

Corriente	Absorción atómica	Concentración muestra original (ppm)
B4	0,078	29,391
B7	No se detecta	No se detecta
B11	No se detecta	No se detecta
B14	No se detecta	No se detecta
B30	No se detecta	No se detecta
B36	No se detecta	No se detecta
B39	No se detecta	No se detecta
B58	No se detecta	No se detecta
B63	No se detecta	No se detecta

### 3. Determinación de concentración de cobre en muestras analizadas.

Patrón de Cobre	
Concentración (ppm)	absorción atómica
1	0,03
2	0,063
3	0,096
4	0,126
5	0,16

Corriente	Absorción atómica	Concentración muestra diluida (ppm)	Concentración muestra original (ppm)
B4	0,043	1,390	1,390
B7	0,022	0,740	0,740
B11	0,024	0,802	0,802
B14	0,026	0,864	0,864
B30	0,137	4,300	215,015
B36	0,078	2,474	24,737
B39	0,214	6,684	6,684
B58	No se detecta	No se detecta	No se detecta
B63	No se detecta	No se detecta	No se detecta

### 4. Determinación de concentración de níquel en muestras analizadas.

Patrón de Níquel	
Concentración (ppm)	absorción atómica
1	0,064
2	0,136
4	0,217
5	0,277

Corriente	Absorción atómica	Concentración muestra diluida (ppm)	Concentración muestra original (ppm)
B4	0,046	0,485	0,485
B7	0,308	5,653	5,653
B11	0,36	6,679	6,679
B14	0,265	4,805	4,805
B30	0,056	0,682	6,824
B36	0,17	2,931	146,548
B39	0,264	4,785	47,850
B58	0,376	6,994	349,704
B63	0,131	2,162	21,617

## ANEXO B. Determinación de concentración de cianuros

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16 Página 1 de 6	



*"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1659 de 2011, en los parámetros pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"*



*"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"*

<b>Informe de resultados No.</b> 12-289	<b>Fecha de emisión:</b> Junio 13 de 2012
<b>Cliente:</b> PAOLA MARADEY	
<b>Dirección del cliente:</b> Universidad Industrial de Santander Escuela de Ingeniería Química	
<b>Solicitud de servicio No.</b> 12-295	<b>No. de muestras:</b> 10
<b>Fecha de recepción de las muestras:</b> Junio 01 de 2012	
<b>Muestras recibidas por:</b> Johanna Riveros	
<b>Fecha de análisis:</b> Junio 05 de 2012	

### 1. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-01	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Desengrase por inmersión	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	


PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,035	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

### 2. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-02	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Enjuague	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	<L.D.	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

*L.D: Límite de Detección del cianuro 0,005 mg /L CN-*

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	<b>Código:</b> F-PA-02	
	POST-ANALITICO	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16 Página 2 de 6	

Informe de resultados No. 12-289 Solicitud de servicio No. 12-295

### 3. ANALISIS FISICOQUIMICO


<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-03	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Neutralizado	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,012	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

### 4. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-04	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Enjuague Tanque No 1	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN/L)	0,008	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16 Página 3 de 6	

Informe de resultados No. 12-289

Solicitud de servicio No. 12-295

### 5. ANALISIS FISICOQUIMICO


<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-05	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Enjuague Tanque No 2	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN <sup>-</sup> /L)	76,6	Titrimétrico / SM 4500 –CN <sup>-</sup> D

### 6. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-06	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Neutralizado	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN <sup>-</sup> /L)	46,5	Titrimétrico / SM 4500 –CN <sup>-</sup> D

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16	
		Página 4 de 6	

Informe de resultados No. 12-289 Solicitud de servicio No. 12-295

### 7. ANALISIS FISICOQUIMICO



<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-07	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Enjuague	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN <sup>-</sup> /L)	38,04	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

### 8. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-08	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Enjuague Cascada A	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN <sup>-</sup> /L)	0,069	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

	<b>LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES</b>	<b>Código:</b> F-PA-02	
	<b>POST-ANALITICO</b>	<b>Versión:</b> 05	
	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	<b>Fecha:</b> 2012/01/16 Página 5 de 6	

Informe de resultados No. 12-289 Solicitud de servicio No. 12-295

### 9. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-09	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Enjuague Cascada B	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN <sup>-</sup> /L)	0,073	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

### 10. ANALISIS FISICOQUIMICO

<b>Codificación de la Muestra:</b> 12-295-10	<b>Tipo de muestra:</b> Puntual
<b>Identificación de la muestra:</b> Enjuague Final	
<b>Matriz de la muestra:</b> Aguas de Producción	
<b>Muestreo realizado por:</b> El Cliente	
<b>Lugar y punto de muestreo:</b> Universidad Industrial de Santander / Ingeniería Química	
<b>Fecha del muestreo:</b> Mayo 11 de 2012	

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Cianuro (mg CN <sup>-</sup> /L)	0,12	Titrimétrico / SM 4500 –CN'D

## ANEXO C. Energía eléctrica suministrada a los equipos

**Tabla 18. Energía suministrada a los equipos involucrados en el proceso de elaboración de la hebilla.**

Equipo	Base de cálculo (hebillas)	Sistema de consumo de energía eléctrica	Tiempo de uso (s)	Corriente (A)	Voltaje (volt)	Potencia (W)	Energía (J)	Energía (kWh)
Satinadora	15000	Trifásico	480	2,4	220	914,52	438970,96	0,12
Secadora (plancha hidráulica)	15000	Trifásico	1200	7,7	220	2934,09	3520912,88	0,98
Aspiradora	15000	Monofásico	20	5,7	110	627,00	12540,00	0,00348
Vulcanizadora (plancha hidráulica)	15000	Trifásico	3000	7,7	220	2934,09	8802282,20	2,45
Enfriador de moldes	15000	Monofásico	900	1,1	110	121,00	108900,00	0,03
Horno fundición	7050	Trifásico	2820	1	220	381,05	1074564,32	0,30
Centrifugadora	7050	Trifásico	2820	2,8	220	1066,94	3008780,10	0,84
Pulidora manual	6768	Trifásico	19257,40	3,9	220	1486,10	28618417,36	7,95
Cabina de recuperación de zamac	6768	Trifásico	19257,40	13,3	220	5067,98	97596141,26	27,11
Harper	27072	Trifásico	4800	28	220	10669,43	51213278,28	14,23
1° Seleccionadora Harper	6768	Trifásico	212	1,5	220	571,58	121174,27	0,03
Vibradora	6722	Trifásico	2400	1,6	220	609,68	1463236,52	0,41
2° Seleccionadora en cuarto vibradora	6722	Trifásico	420	6,9	220	2629,25	1104286,31	0,31
Secador	6722	Trifásico	120	12,4	220	4725,03	567004,15	0,16
Laminadora + Enrolladora	6683	Trifásico	13366	5,9	220	2248,20	30049467,24	8,35
Alimentador para cortado	6683	Trifásico	6683	1,2	220	457,26	3055878,02	0,85
Cortadora	6683	Trifásico	6683	3,9	220	1486,10	9931603,58	2,76
Rectificador para cobrizado	6683	Trifásico	5400	14,6	220	4111,36	22201344,00	6,17
Motor de tambor para cobrizado	6683	Trifásico	5400	0,9	220	342,95	1851908,72	0,51
Resistencia eléctrica de titanio para calentamiento de baño niquelado	6683	Monofásico	7200	8,2	220	1804,00	12988800,00	3,61
Rectificador para niquelado	6683	Trifásico	7200	12,5	220	3520,00	25344000,00	7,04
Motor de tambor para niquelado	6683	Trifásico	7200	0,9	220	342,95	2469211,63	0,69
Secador	6683	Trifásico	300	12,4	220	4725,03	1417510,38	0,39
Selladora	13000	Monofásico	130	0,5	110	55,00	7150,00	0,00199