

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL DE LA PRODUCCIÓN  
DE PIEZAS DE FERRETERÍA DE LA EMPRESA FANTAXIAS S.A.S.**

**MARÍA XIMENA SALAS VILLARREAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2014**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL DE LA PRODUCCIÓN  
DE PIEZAS DE FERRETERÍA DE LA EMPRESA FANTAXIAS S.A.S.**

**MARÍA XIMENA SALAS VILLARREAL**

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental**

**Director**

**HUMBERTO ESCALANTE H.  
INGENIERO QUÍMICO PH.D.**

**Co-Director**

**ALEXANDER MENESES  
INGENIERO QUÍMICO M. SC.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2014**

*Hoy le doy gracias a Dios por darme tantas bendiciones en mi vida. Por darme la oportunidad de crecer como persona y como profesional.*

*A mis padres, por formar en mí una persona con principios y valores que día a día me han servido para desempeñarme como madre, esposa, profesional y lo más importante como una gran persona en la sociedad.*

*A mi esposo, por creer y confiar en mí, por su amor, paciencia y comprensión en todas esas largas jornadas de trabajo.*

*A mi hijo Luis Alejandro quien hizo parte de este crecimiento profesional. Por ti hijo di lo mejor de mí para llevar a feliz término esta meta tan importante en mi vida profesional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa Fantaxias S.A.S. por creer y apoyar incondicionalmente este tipo de estudios, poniendo a disposición los recursos tecnológicos, humanos y financieros requeridos para su desarrollo.

Al personal operativo de la empresa Fantaxias S.A.S por compartir su conocimiento y experiencia del proceso realizado, lo que facilitó el entendimiento del mismo.

A los profesores Humberto Escalante y Alexander Meneses, director y codirector del proyecto, por su confianza, colaboración, asesoría y aportes para llevar a feliz término el presente estudio y versión final de esta tesis.

A Carlos y Margareth, estudiantes de pregrado de Ingeniería Química, quienes participaron en la recolección de los datos requeridos para el proceso estudiado en planta.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, quienes han contribuido a mi formación académica y personal.

A mis compañeros de maestría por su amistad, colaboración y esos momentos gratos que pasamos juntos.

A mi familia en especial a mi esposo e hijo, por ser el motor de mi vida y brindarme su apoyo incondicional en mi crecimiento profesional.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	14
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MANIJAS PARA MUEBLES (MAMU) EN FANTAXIAS S.A.S.	17
1.1 GENERALIDADES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAMU	17
1.1.1 Diseño y elaboración del molde	17
1.1.2 Inyección y Fundición	19
1.1.3 Pulido	20
1.1.4 Recubrimiento electrolítico	22
1.1.5 Cobrizado y niquelado de la MAMU	24
1.1.6 Terminación Final	27
1.2 IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL MEDIANTE ACV	28
1.3 FUNDAMENTO CONCEPTUAL DEL ACV	33
1.3.1 Etapas del ACV	34
1.3.2 Software para ACV	40
1.3.3 Bases de datos desarrolladas para apoyar el ACV	42
2. METODOLOGIA	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1 DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA FABRICACIÓN DE LA MANIJA DE FERRETERÍA PARA MUEBLES	53
3.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO	54
4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO	68
4.1 PERFIL MEDIOAMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MAMU	68
4.2 DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES	72
4.2.1 Análisis de caracterización y ponderación	72
5. INTERPRETACIÓN DEL ESTUDIO Y CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	90

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso productivo de MAMU en Fantaxias S.A.S.	17
Figura 2. Molde de acero para la fabricación de MAMU.	18
Figura 3. Horno para fundición de MAMU en Fantaxias S.A.S.	20
Figura 4. Pulido de MAMU con lija.	21
Figura 5. Maquinas vibradoras de la sección de pulido de la empresa Fantaxias S.A.S.	22
Figuras 6. Tanques plásticos utilizados en Fantaxias S.A.S. para el desengrase y enjuague de MAMUs	23
Figura 7. Tanques plásticos utilizados en Fantaxias S.A.S. para el proceso de decapado y neutralizado de piezas MAMU	24
Figura 8. Celda para la electrodeposición de metales	25
Figura 9. Baño electrolítico utilizado en Fantaxias S.A.S. para el cobrizado y niquelado de piezas MAMU	27
Figura 10. Manija para Mueble (MAMU) terminada.	28
Figura 11. Ciclo de vida de un producto	29
Figura 12. Etapas del ACV	34
Figura 13. Elementos componentes de la valoración del IAP	36
Figura 14. Metodología aplicada en la evaluación del impacto ambiental de la MAMU	43
Figura 15. Esquema del proceso para producción de MAMU	53
Figura 16. Proceso I: elaboración del molde	55
Figura 17. Diagrama de flujo del Proceso II: (fundición MAMU)	57
Figura 18. Proceso III: Preparación Mecánica (Pulido de la MAMU)	59
Figura 19. Proceso IV: recubrimiento electrolítico de la MAMU	62
Figura 20. Proceso V: embalaje de la manija	66

Figura 21. Árbol global de proceso de obtención de MAMU con corte de visualización al 0% de relevancia ambiental	70
Figura 22. Caracterización de impactos ambientales potenciales	74
Figura 23. Ponderación de impactos ambientales	76
Figura 24. Análisis de contribución	79
Figura 25. Perfil medioambiental para el calentamiento global	81
Figura 26. Perfil medioambiental para acidificación	82
Figura 27. Perfil medioambiental para toxicidad humana en el suelo	83
Figura 28. Perfil medioambiental para toxicidad humana en el agua	84
Figura 29. Perfil medioambiental para eutrofización terrestre	85
Figura 30. Perfil medioambiental para agotamiento de ozono	86

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características operacionales para la electrodeposición de cobre sobre MAMU	26
Tabla 2. Características operacionales para la electrodeposición de níquel en MAMU.	26
Tabla 3. Ensamblajes utilizados para la elaboración del árbol global del proceso de fabricación de MAMU	51
Tabla 4. Etapas involucradas en el proceso de obtención de MAMU	54
Tabla 5. Corrientes de entrada y salida de la etapa I (Moldeo) del proceso	56
Tabla 6. Corrientes de entrada y salida de la etapa II del proceso de fundición de la MAMU	57
Tabla 7. Flujos volumétricos del horno	58
Tabla 8. Composición química de las emisiones atmosféricas producidas en la etapa 2 del proceso	58
Tabla 9. Características fisicoquímicas del zamak utilizado para fabricar MAMU	58
Tabla 10. Condiciones de operación la etapa de moldeo e inyección	59
Tabla 11. Corrientes de entrada y salida de la etapa III del proceso	60
Tabla 12. Caracterización de los efluentes generados en el proceso de pulido en masa	60
Tabla 13. Condiciones iniciales de operación etapa de pulido manual	61
Tabla 14. Condiciones iniciales de operación etapa de pulido en masa	61
Tabla 15. Condiciones de operación etapa de recubrimiento electrolítico	62
Tabla 16. Corrientes de entrada y salida de la etapa 4 del proceso de fabricación de MAMU	63
Tabla 17. Caracterización de los efluentes generados en el proceso 4 en las corrientes 16 y 17	64

Tabla 18. Caracterización de los efluentes generados en el proceso 4 en las corrientes 18 y 19	64
Tabla 19. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en las corrientes 22 y 23	65
Tabla 20. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en las corrientes 24 y 27	65
Tabla 21. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en la corriente 28	66
Tabla 22. Corrientes de entrada y salida de la etapa V del proceso	67
Tabla 23. Etapas finales agrupadas consideradas en la evaluación del impacto ambiental potencial	69
Tabla 24. Cargas ambientales del proceso general de obtención de la MAMU	71
Tabla 25. Categorías con mayor impacto en cada una de las etapas de obtención de la MAMU.	75

## RESUMEN

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL DE LA PRODUCCIÓN DE PIEZAS DE FERRETERÍA DE LA EMPRESA FANTAXIAS S.A.S\*.

**AUTOR:** María Ximena Salas Villarreal\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Análisis de ciclo de vida, zamak, manija de ferretería, simapro.

### DESCRIPCIÓN:

El presente estudio consistió en la realización del análisis del impacto ambiental potencial que ocasiona la producción de piezas de ferretería en la empresa Fantaxias S.A.S, utilizando la metodología propuesta en la NTC 14040 y el software SimaPro, tomando como modelo una manija y como límites del sistema el transporte de la materia prima zamac en camiones desde la ciudad de Bogotá hasta el empaque y alistamiento final de la manija puesta dentro de la planta para su distribución. De esta forma la evaluación del impacto ambiental potencial realizado se categoriza como un estudio "Puerta a Puerta", que responde al interés de la empresa Fantaxias S.A.S.

Los resultados obtenidos mostraron que, al analizar los procesos externos e internos de obtención de la manija de ferretería para muebles, el proceso de los baños electrolíticos representa el mayor porcentaje de la carga ambiental total, esta etapa aporta una contribución de 37,2 % a la carga ambiental total. Seguido del proceso de fundición con el 32,7% y del proceso de satinado y empaque con un 13,6% de las cargas totales del proceso realizado en la planta de producción de Fantaxias S.A.S. En el proceso de obtención de la manija de ferretería para muebles toda la carga ambiental está asociada al uso de sustancias químicas dentro del proceso de los baños electrolíticos, de la cantidad de Zamac utilizado en el proceso de fundición y del material con el que se asumió estaba elaborado el tornillo que se adiciona a la pieza terminada para su comercialización. En cuanto a las categorías de impacto las de mayor contribución fueron toxicidad humana en el suelo, toxicidad humana en agua y acidificación. Estos resultados permitieron proponer mejoras al proceso estudiado.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Maestría en Ingeniería Ambiental. Director: Humberto Escalante H., Ingeniero Químico PH.D. Co-Director: Alexander Meneses. Ingeniero Químico M. Sc.

## ABSTRACT

**TITLE:** POTENTIAL ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF PRODUCTION PARTS HARDWARE COMPANY FANTAXIAS SAS\*

**AUTHORS:** María Ximena Salas Villarreal\*\*

**KEYWORDS:** Life cycle analysis, zamak, handle hardware, Software SimaPro

### SUMMARY:

The present study consisted in the realization of the analysis of the potential environmental impact that causes the production of pieces of hardware in the company FANTAXIAS SAS, using the methodology proposed in the NTC 14040 and the SimaPro software, taking as a model a handle and as limits of the system the transport of the raw material zamak in trucks from the city Bogota to the packaging and final enrollment handle placed inside the plant for distribution. Thus the potential environmental impact assessment conducted study is categorized as a "Door to Door" that responds to the interests of the company FANTAXIAS SAS.

The results showed that, in analyzing the external and internal processes to obtain hardware handle for furniture, the process of electrolytic bath represents the highest percentage of the total environmental burden, this stage is contributing 37.2% to the total environmental load. Casting process followed with 32.7% and satin and packaging process with 13.6% of the total charges of the processing performed in the production plant FANTAXIAS SAS. In the process of getting the handle of hardware for furniture all the environmental burden associated with the use of chemicals in the process of the electrolytic bath, amount of Zamak used in the casting process and the material from which it was assumed was made screw is added to the finished piece for marketing. As for the impact categories were the major contributing human toxicity in soil, water and human toxicity acidification. These results allowed to suggest improvements to the process studied.

---

\* Graduation Project

\*\* Physicochemical Faculty. Chemical Engineering School. Director: Dr. Humberto Escalante Hernández. Codirector: M.Sc. Alexander Meneses

## INTRODUCCIÓN

Fantaxias S.A.S. es una empresa mediana localizada en la ciudad de Bucaramanga, dedicada al diseño y fabricación de herrajes, elementos para ferretería y piezas decorativas. Fantaxias S.A.S tiene una producción promedio de 675,75 kg/día de piezas de ferretería (manijas, patas de sillas, etc.), hebillas, herrajes y artículos decorativos. Esta empresa tiene quince años de trayectoria y vende sus productos en Colombia, México, Guatemala, Honduras, Puerto Rico, República Dominicana, Costa Rica, Venezuela, Ecuador y Chile [GUERRERO y ROMERO, 2006].

En Fantaxias S.A.S la fabricación de las piezas metálicas generan residuos como plastilinas de moldeo, virutas de acero, residuos sólidos de zamak, lodos de los materiales de pulimento, efluentes líquidos (de los procesos de pulido y de los baños electrolíticos), emisiones de gases de combustión de los hornos y vapores de los tanques electrolíticos, etc. La empresa ha venido realizando una serie de estudios en algunos efluentes y vertimientos de sus procesos con el propósito de conocer y evaluar el impacto ambiental que ocasiona la elaboración de sus productos. Varios de estos estudios han sido realizados por la Universidad Industrial de Santander y por la empresa de servicios Ecoeficiencia.

En Fantaxias S.A.S. los efluentes del proceso de electrorecubrimiento presentan concentraciones de cianuros, cobre, níquel y zinc aproximadamente de hasta 2472,78 ppm, 7749,57ppm, 1060,52 ppm y 1309,66 ppm respectivamente, sobrepasando por encima del 100% los requerimientos ambientales en Colombia [GUERRERO y ROMERO, 2006]. Por otra parte, en la etapa de pulimento se generan lodos los cuales presentan concentraciones de cobre, zinc y aluminio que exceden la legislación ambiental colombiana en un 748,4, 8370 y 3438% respectivamente [RUIZ, 2011]. Así mismo, los vertimientos provenientes del

lavado de las piezas y de la reposición de los baños electrolíticos contienen cianuros complejos de cobre, zinc y cadmio. Por otra parte, en la fundición de las piezas y en la etapa de terminación con pinturas de acabados a altas temperaturas, se utilizan hornos que operan con gas metano y generan emisiones con posibles contaminantes que a la fecha la empresa no ha valorado.

Los efluentes al ser vertidos directamente al sistema de alcantarillado ocasionan un impacto ambiental fuerte, ya que poseen compuestos químicos que son agresivos y perjudiciales para el medio ambiente y la salud del hombre. El límite permisible recomendado de cianuro en agua potable es de 0,07 mg/l, y la dosis letal para humanos es de 1-2 mg/L, ya que este compuesto bloquea la respiración celular de los organismos inhibiendo la actividad de la enzima citocromooxidasa [ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2004].

Actualmente, Fantaxias S.A.S. desconoce el nivel de agresividad que sus procesos productivos pueden estar ocasionando al medio ambiente, razón por la cual el objetivo principal de este estudio fue realizar una evaluación de impacto ambiental potencial (EIAP) del proceso de fabricación de uno de sus productos; para lo cual se escogió la manija para muebles (MAMU) que se fabrica en zamak niquelado e incluye las etapas de moldeo, pulido, electrorecubrimiento metálico (cobre y níquel), lavados, secados, lacados y empaquetamiento, y cuya producción oscila en doscientos cincuenta (250) kg/día [Departamento de producción FANTAXIAS S.A.S., 2012].

Existen diferentes metodologías para identificar y valorar los impactos ambientales inherentes a la producción de un bien o servicio, como es el ejemplo de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Esta metodología permite generar información sobre los impactos ambientales potenciales (IAP) de un sistema, producto, proceso o servicio. Por lo anterior, en este trabajo, para realizar el análisis del impacto ambiental potencial que ocasiona la producción de la

MAMU en la empresa Fantaxias S.A.S, se utilizó la metodología propuesta en la segunda etapa del análisis de ciclo de vida.

Para llevar a cabo el presente estudio se identificaron y analizaron los procesos involucrados en la elaboración de la MAMU, desde la adquisición de la materia prima (zamac) hasta la etapa de empaque del producto terminado para su posterior distribución. Se tuvieron en cuenta los informes históricos que posee la empresa, sobre reportes de producción y consumo de materias primas, combustibles, energía, etc. y, adicionalmente, se cuantificaron y caracterizaron (parcialmente) cada una de las corrientes de entrada y salida de las etapas del proceso. Se construyó una base de datos con la información recopilada que se constituyó en el inventario del proceso. Este inventario sirvió de soporte para realizar el análisis del impacto ambiental potencial mediante la utilización del software SimaPro versión 7.1. La determinación del IAP de la fabricación de la MAMU permitió identificar las etapas del proceso más críticas, con el fin de proponer alternativas para realizar el proceso más sostenible.

De los resultados obtenidos se pudo concluir que el proceso que presentó el mayor impacto ambiental fue los baños electrolíticos con un porcentaje de 28,8%, seguido del proceso de fundición con un 25,3%. Se identificó toxicidad humana en el suelo, toxicidad humana en agua, acidificación y agotamiento de la capa de ozono, como las categorías de impacto con mayor relevancia. Dentro de los procesos o entradas que contribuyeron significativamente en el impacto ambiental se encuentran el consumo de agua, el uso de la materia prima (lingotes de zamac), uso de químicos tales como: sales cianuradas de cobre y sodio, ácido sulfúrico, cloruro de níquel, sulfato de níquel y ácido bórico.

## 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MANIJAS PARA MUEBLES (MAMU) EN FANTAXIAS S.A.S.

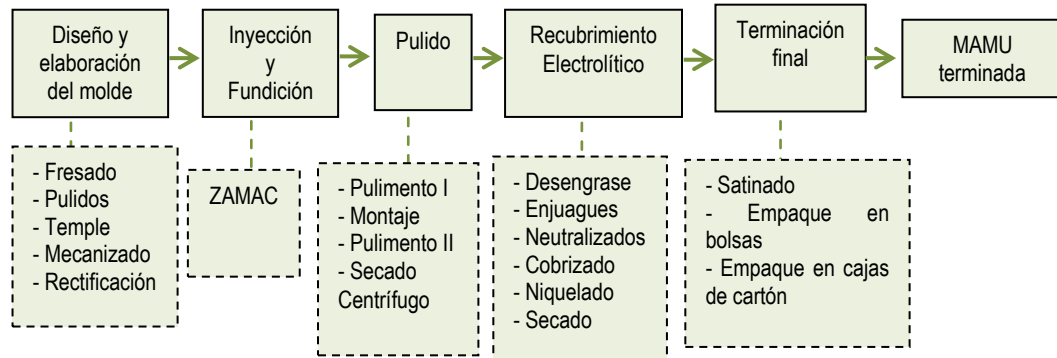
El presente capítulo contiene los fundamentos teóricos para el desarrollo del trabajo, concernientes a:

- La descripción del proceso productivo de la MAMU en Fantaxias S.A.S.
- Fundamento conceptual de la metodología ACV
- El impacto ambiental potencial

### 1.1 GENERALIDADES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE MAMU

El proceso productivo de la MAMU en Fantaxias S.A.S. involucra las siguientes etapas (Figura 1).

**Figura 1. Proceso productivo de MAMU en Fantaxias S.A.S.**



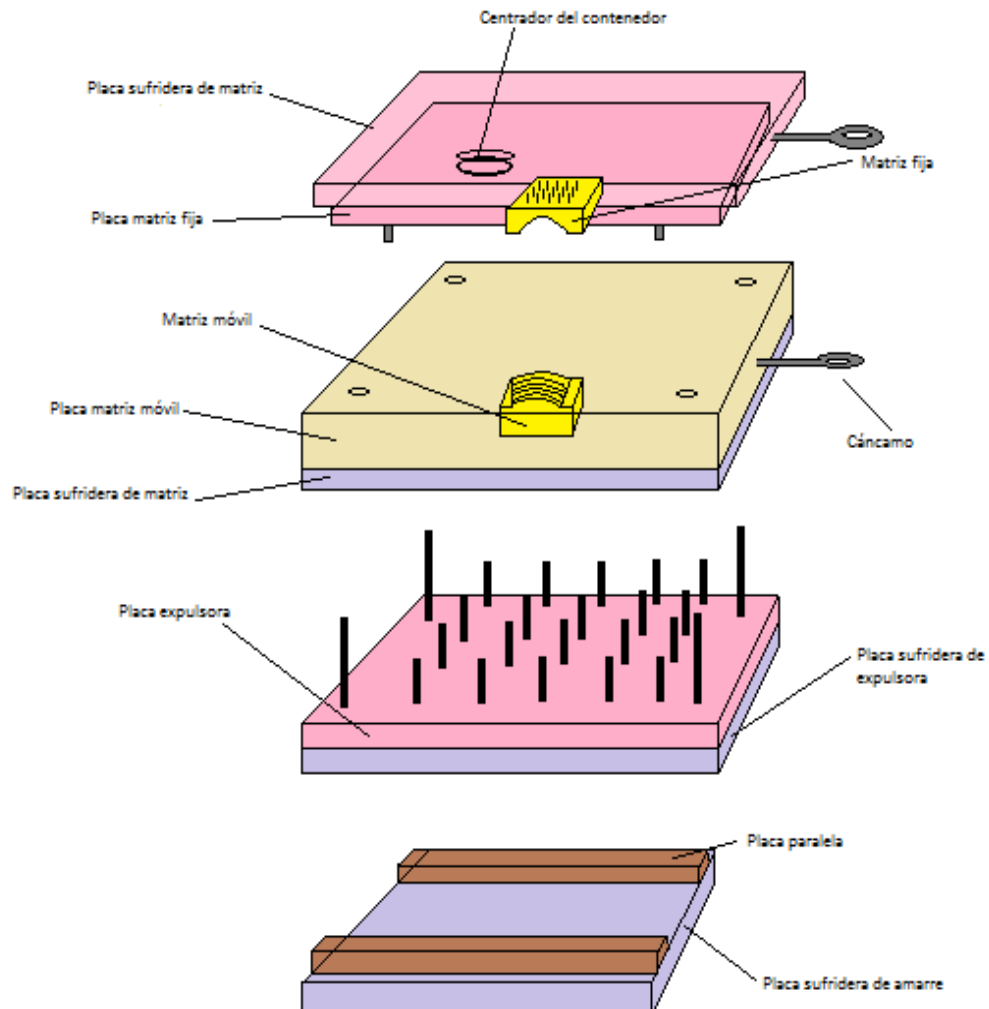
Fuente: Adaptación de la información suministrada por la empresa Fantaxias S.A.S.

**1.1.1 Diseño y elaboración del molde.** Las características de la pieza se plasman y se moldea en bloques de acero, teniendo en cuenta los coeficientes de contracción y las tolerancias para la construcción de las piezas, de acuerdo con el

metal y la temperatura con la que se inyecta. En esta etapa se generan residuos como restos metálicos de moldes.

La elaboración del molde dura alrededor de 20 días. El molde tiene una vida útil por encima de los 20 años porque es sometido a mantenimiento y reparaciones periódicas luego de cada turno de trabajo. El acero es reutilizado en la fabricación de nuevos moldes y piezas para herramientas. El consumo de energía oscila entre los 316.465 kJ [Departamento de Producción FANTAXIAS S.A.S., 2012].

**Figura 2. Molde de acero para la fabricación de MAMU.**



Fuente: Adaptación de la información suministrada por la empresa Fantaxias S.A.S.

**1.1.2 Inyección y Fundición.** La MAMU se elabora en zamak, que es una aleación de zinc con aluminio, magnesio y cobre. Esta aleación que tiene alta resistencia a la tracción, densidad  $6,6 \text{ g/cm}^3$  y temperatura de fusión de  $386 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Dado el elevado volumen de piezas que fabrica Fantaxias S.A.S., todos los moldes son diferenciados mediante códigos. En el caso de la MAMU, el molde se denomina: "ZITAI modelo ZDC-100T V2BP-PNC serie A607/007". El metal se funde en un horno tipo crisol. El zamak es llevado desde un estado sólido a un estado líquido, por medio de aporte de calor proporcionado por energía eléctrica y combustible (gas natural).

El zamak, en estado líquido ( $470 \text{ }^\circ\text{C}$ ) se introduce dentro del molde a alta velocidad, la cual es producida por un pistón que es empujado por un sistema hidráulico. Para realizar este procedimiento la inyectora está dotada de un sistema de bombas de flujo y válvulas hidráulicas que son las encargadas de producir y regular el flujo del líquido hidráulico, para generar el movimiento que lleve la aleación al interior de la cavidad del molde. La pieza fundida, junto con el sistema de llenado, una vez solidificados son retirados del molde. Posteriormente, se retira la pieza y los sobrantes del llenado son reciclados siendo agregados nuevamente al horno. En la figura 3 se presenta el horno para Fundición.

**Figura 3. Horno para fundición de MAMU en Fantaxias S.A.S.**



Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**1.1.3 Pulido.** En esta etapa la MAMU se somete al proceso de pulido por medio de vibradoras, sistema de bandas abrasivas etc., El pulido, permite eliminar las aristas, asperezas, rayas y mellas producidas durante la fundición de las piezas y darle aspecto óptimo a la superficie. El pulido de la MAMU involucran las siguientes etapas:

Pulido 1. Consiste en eliminar de la MAMU las asperezas e irregularidades grandes, mediante una lija que está adherida a un disco que gira a alta velocidad. En esta etapa quedan como residuos lijas, que se descartan al basurero municipal y los residuos de virutas de zamac, que son almacenados en depósitos. En esta etapa, adicionalmente, se realiza el montaje de la MAMU. Para este fin se utiliza taladros (con brocas y machos de acero rápido) para el perforado y enroscado de la manija. Esta etapa genera residuos de zamac, brocas y machos usados.

**Figura 4. Pulido de MAMU, con lija.**



Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

Pulido 2. En esta etapa, mediante fricción se retira de la pieza las asperezas finas y grasas y se obtiene una superficie pulida. Las MAMU son vertidas en tanques vibradores de 10 kg de capacidad, junto con chips plásticos, un producto denominado “*desbarbante A-11*” y un producto tensoactivo (denominado TH) y sometidas a agitación a 1800 rpm. Los desechos de esta etapa son aguas y lodos residuales, compuestos principalmente de grasas y metales.

**Figura 5. Maquinas vibradoras de la sección de pulido de la empresa Fantaxias S.A.S.**



Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

Secado. En esta etapa, la humedad de las MAMU se retira mediante una secadora centrífuga que consta de un tambor giratorio, donde se depositan las piezas. Este tambor, esta acoplado a un eje con su respectivo sistema de transmisión (poleas y correas) a un motor eléctrico.

#### **1.1.4 Recubrimiento electrolítico**

Desengrase y enjuague: En esta etapa se elimina de las MAMU los restos de grasas, aceites y otras impurezas superficiales procedentes de las etapas anteriores, sumergiendo las piezas en un baño ultrasonido, que contiene soluciones alcalinas como son los desengrasantes “*Novaclean*” y “*Ultrafe*” (nombres comerciales suministrados por la empresa).

Este lavado de las MAMU se hace mediante dos tipos de enjuague: a) tipo cascada y b) tipo ordinario. El enjuague tipo cascada se efectúa en una serie de baños colocados en cascada y vaciándose el uno en el otro. Las piezas transitan

en el sentido contrario al flujo del agua de enjuague. El agua limpia está añadida al primer baño (último en el sentido del flujo de producción).

En el enjuague tipo ordinario los tanques son de plástico con una capacidad de 350L aproximadamente. El efluente contiene metales pesados, grasas, cianuros, detergentes y desengrasantes. Después del desengrase las piezas se enjuagan en un tanque con agua para evitar el arrastre de las soluciones de desengrase a la etapa siguiente. En la figura 6 se presentan tanques plásticos, utilizados en Fantaxias S.A.S., para el desengrase y enjuague de MAMUs.

**Figuras 6. Tanques plásticos utilizados en Fantaxias S.A.S. para el desengrase y enjuague de MAMUs.**



Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

Decapado y neutralizado: En esta etapa se retiran las diferentes capas de óxidos que se han formado sobre la superficie de la pieza por efecto del contacto con el ambiente. Este proceso se realiza justo antes del proceso de recubrimiento metálico (cobrizado y niquelado de las piezas). El decapado se realiza en tanques plásticos de 350 L sometiendo la MAMU al ataque químico con una solución de ácido sulfúrico al 5% (Figura 8).

**Figura 7. Tanques plásticos utilizados en Fantaxias S.A.S. para el proceso de decapado y neutralizado de piezas MAMU.**

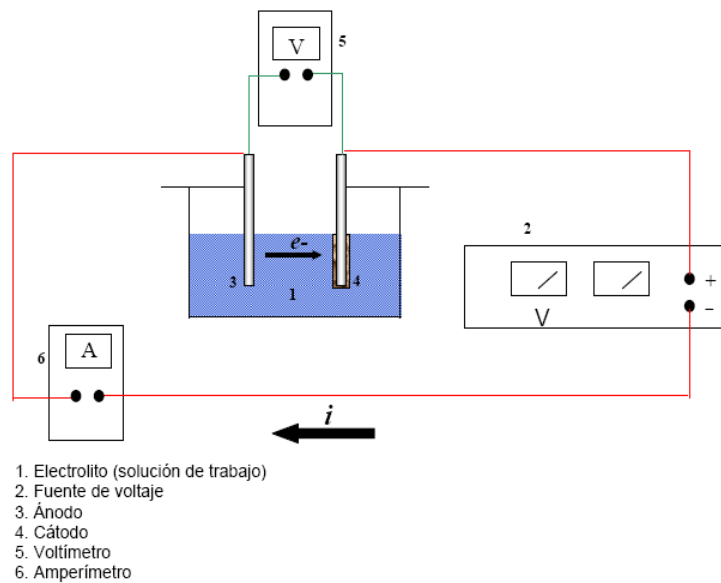


Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**1.1.5 Cobrizado y níquelado de la MAMU.** La galvanotecnia es un proceso electroquímico por el cual se deposita una capa fina de metal sobre una base metálica. Los objetos se galvanizan para evitar la corrosión y obtener una superficie dura con un acabado atractivo.

La pieza a recubrir se coloca en una disolución (baño) de una sal del metal recubridor, y se conecta a una terminal negativa de una fuente de electricidad externa. Otro conductor, compuesto por el metal recubridor, se conecta al terminal positivo de la fuente de electricidad. Cuando se pasa una corriente continua (bajo voltaje de 1 a 6 V) a través de la disolución, los átomos del metal recubridor se depositan en el cátodo o electrodo negativo. En la figura 9 se esquematiza la celda para electrodeposición de metales.

**Figura 8. Celda para la electrodeposición de metales.**



Fuente: AFRICANO y PINZON, 2004.

La MAMU se somete a electrodeposición de cobre en un baño alcalino que opera a temperatura de 25-40°C y contiene cianuro de cobre, cianuro de sodio y aditivos.

La MAMU se convierte en el cátodo (conectado al terminal negativo de electricidad) y la barra de metal recubridor (conectada al terminal positivo de la electricidad) es el ánodo. Cuando se pasa la corriente a través de la solución electrolítica, los átomos del metal recubridor se depositan en el cátodo [AFRICANO y PINZON, 2004]. El espesor de la capa de recubrimiento es aproximado de 1  $\mu\text{m}$  hasta 2 mm y depende del tiempo de proceso, intensidad de corriente y temperatura. Con frecuencia se añaden al baño coloides para mejorar la uniformidad de la superficie. En la tabla 1 se presentan las variables operacionales en el cobrizado de MAMU.

**Tabla 1. Características operacionales para la electrodeposición de cobre sobre MAMU.**

<b>VARIABLES OPERACIONALES EN EL COBRIZADO DE MAMU</b>	
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
pH	13
T(°C)	38
Densidad °B	20
Voltaje (V)	10
CuCN2 (g/l)	42
NaCN (g/l)	56
Sal de Rochelle (g/l)	45
Abrillantador (cm <sup>3</sup> /l)	12
Carbonatos (g/l)	25
Anodo	Cu
Tiempo (min)	90

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

La MAMU recubierta en cobre se somete a recubrimiento con níquel. La deposición del níquel se realiza en celdas que operan en forma similar a las utilizadas para el cobrizado, pero empleando baños electrolíticos diferentes (tabla 2). El baño de níquel opera a temperatura de 55-60°C y está compuesto de sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico y aditivos de brillo.

**Tabla 2. Características operacionales para la electrodeposición de níquel en MAMU.**

<b>VARIABLES OPERACIONALES EN EL NIQUELADO DE MAMU</b>	
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
pH	4,2
T(°C)	60-65
Densidad °B	25
Voltaje (V)	10
NiSO4.6H2O (g/l)	300
NiCl2.6H2O (g/l)	75
H3BO3 (g/l)	50
Base (cm <sup>3</sup> /l)	40
Abrillantador (cm <sup>3</sup> /l)	2,5
Anodo	Ni
Tiempo (h)	1,5

Fuente: empresa Fantaxias S.A.S

En la figura 9 se observa un tanque donde se lleva a cabo el proceso de electrodeposición de metales en FANTAXIAS S.A.S.

**Figura 9. Baño electrolítico utilizado en Fantaxias S.A.S. para el cobrizado y niquelado de piezas MAMU**



Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

Durante el proceso de cobrizado y niquelado la MAMU es sometida a varios enjuagues con agua limpia para evitar cambios en las características de los baños al pasar las piezas de un tanque a otro.

Secado: las MAMUs terminadas se secan para eliminar el agua residual proveniente de los enjuagues y evitar que el producto salga con manchas. Las MAMU se secan aproximadamente 3 minutos en un secador rotatorio centrífugo con una resistencia de 2000 voltios y una capacidad de 30 kilogramos.

### **1.1.6 Terminación Final**

Satinado y Empacado. La MAMU se pasa por una pasta quedando lisa y brillante. En la etapa de satinado la pasta empleada se consume por completo. En la última etapa (empacado), se envuelve cada manija terminada junto con un tornillo de

hierro galvanizado en bolsas de propileno, posteriormente se introduce una cantidad determinada de manijas empacadas en una caja de cartón para su distribución. En la figura 11 se presenta la manija terminada.

**Figura 10. Manija para Mueble (MAMU) terminada.**



Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

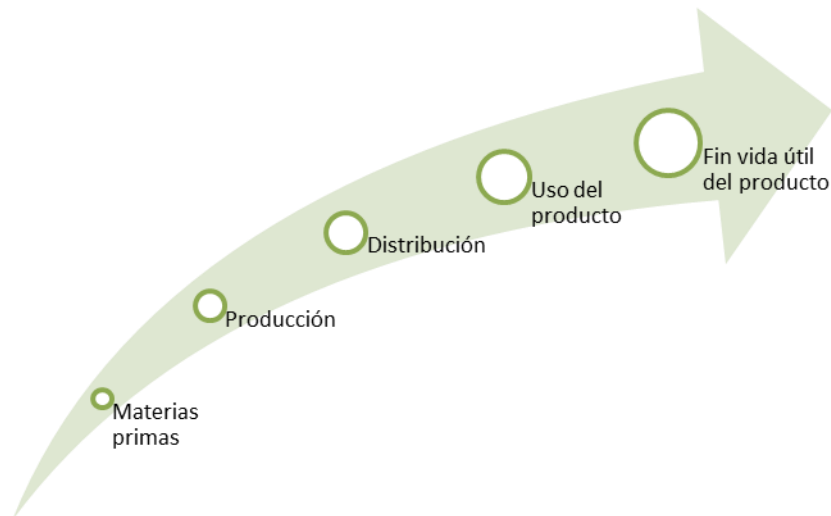
## **1.2 IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL MEDIANTE ACV**

Impacto ambiental (IA) es cualquier cambio en el medio ambiente (aire, tierra, agua, flora, fauna, seres humanos y sus interrelaciones) adverso o beneficioso como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización [ISO 14001:2004].

El Impacto Ambiental en el contexto de producción se refiere a todas aquellas emisiones de gas, contaminación hídrica y de suelos y demás efectos causados por el uso de los recursos en la creación de un producto; es decir, la producción se interpreta en términos de impacto potencial en la naturaleza o medio ambiente, como por ejemplo: la eutrofización (abundancia anormalmente alta de nutrientes), la acidificación, el cambio climático, toxicidad terrestre, uso de energía no renovables y la ocupación de la tierra [Vander Werf *et al.* 2009]. 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 (Figura 11).

**Figura 11. Ciclo de vida de un producto**



Colombia ha avanzado en legislar la gestión de su medio ambiente luego de la convención de las Naciones Unidas en Estocolmo en el año 1972. La Constitución Política Colombiana del 1991 consagra 49 artículos a la protección del medio ambiente y los recursos naturales. A la fecha existen en Colombia leyes, decretos y resoluciones que han profundizado en materia ambiental para que los procesos productivos del país y la población, en general, se adapten y adopten una conciencia ambiental que permitirá encontrar el equilibrio entre producción, desarrollo y ambiente. Dentro de estas normas colombianas se destacan:

- Decreto 1594 de 1984: Usos del agua y residuos líquidos, Artículos 72 y 73 aún vigentes.
- Decreto 3930 de 2010: En cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Deroga el decreto 1594 de 1984 excepto los artículos 72 y 73.
- Resolución 0627 de 2006: Norma Nacional de Emisión de Ruido y Ruido Ambiental

- Resolución 0909 de 2008: Norma y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
- 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.
- Ley 373 de 1997: Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua.
- Ley 697 de 2001: Uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 1713 de 2002: Gestión Integral de Residuos Sólidos.

La metodología del ACV ha sido utilizada en las últimas décadas para: a) evaluar impactos ambientales potenciales (IAP) en las cadenas productivas, b) tomar acciones correctivas en los procesos que están impactando gravemente el ambiente, y c) evaluar la amigabilidad del proceso. La norma ISO 14040:1997 establece que el ACV es una metodología para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

El ACV se utilizó en Estados Unidos para evaluar el IAP del proceso de mecanizado de piezas, teniendo en cuenta los aspectos del proceso, las características de desgaste y los flujos de lubricante. Este estudio incluyó la cuantificación de los flujos energéticos, la velocidad del proceso, los flujos de masas de la pieza principal, de los catalizadores empleados en el proceso, los efectos de la formación de viruta de corte y, finalmente, la duración de la herramienta debido al desgaste. La evaluación mostró que la utilización de energía en los procesos de mecanizado depende en gran medida del diseño de la pieza, selección de material y de la puesta a punto del fluido de corte [MUÑOZ, 1995].

El Instituto de Futuros Sostenibles de la Universidad de Tecnología, Sydney, realizó un estudio para identificar y modelar los impactos ambientales históricos asociados a la minería y fundición del cobre en Australia, desde 1940 hasta 2008, mediante una Evaluación del Ciclo de Vida (ACV). Utilizando modelos de la cuna a la tumba estimó los impactos de las cinco minas de cobre más grandes de Australia, incorporando los cambios en la ley del mineral, las diferencias en las tecnologías y fuentes de energía regionales. El estudio mostró que los diferentes impactos del ciclo de vida de los metales (tomando como base el cobre) están asociados a la influencia de factores temporales, que la huella de carbono del cobre producido estuvo en el rango entre 2,5 - 8,5 kgCO<sub>2</sub>-eq. / kg Cu, y se identificó que los impactos potenciales de la mina más grande en Australia están asociados al calentamiento global y la acidificación [MEMARY, R et. al, 2007] .

Así mismo, el Grupo de Investigación EnVoc de la Universidad de Ghent de Bélgica, en el año 2010, realizó la cuantificación de los impactos y la evaluación del ciclo de vida generado en el uso de recursos primarios de metales basado en la minería. La cuantificación de los impactos se basó en que la extracción de los recursos se ve amenazada por el cambio en las características del mineral; siendo el plomo y el zinc los metales con los factores de mayor caracterización. Sin embargo, el método propuesto en este estudio asigna valores relativos más elevados a los metales preciosos; esto sugiere que el suministro de metales preciosos puede estar bajo más presión que la indicada por otros métodos [SWART, P. DEWULF, JO, 2010].

En China, el ACV ha sido extendido a muchos aspectos de la producción y el consumo, incluyendo el diseño ecológico de los productos, la producción más limpia, etiqueta de medio ambiente, la compra verde, la gestión de recursos, gestión de residuos y la estrategia de medio ambiente. Sin embargo, algunas áreas que incluyen herramientas de ACV, y métodos para la evaluación de los impactos en los ecosistemas tales como uso de la tierra y el uso del agua;

evidencian la necesidad de lograr un mayor desarrollo a la hora de emplear dicha metodología. En general, las aplicaciones de ACV en China todavía son limitadas en varios campos y aún existe una gran brecha entre la evaluación de los resultados y los criterios de la gente [Zuo-ren NIE, Feng GAO, Xian-zheng GONG, Zhi-hong WANG, Tie-yong ZUO, 2010].

Así mismo, el ACV ha sido aplicado a la producción de manijas para puertas de baño elaborados en aluminio por fundición y por extrusión y en plástico por extrusión. La metodología utilizada para medir los impactos fue CML 2001 (Categorías de impacto elaboradas por el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden-Holanda), mediante el programa GABI 4 Prof DB y las categorías de impacto consideradas fueron para la entradas: agotamiento de recursos abióticos y para las salidas: calentamiento global, destrucción de la capa de ozono, acidificación y eutrofización. Los resultados mostraron que los tres tipos de manijas presentan los mismos máximos y mínimos con respecto a los indicadores medioambientales estudiados; siendo despreciables los valores de las etapas de gestión de residuos, transporte o utilización de la manija. [AIMME, 2008].

En Colombia, se realizaron los primeros estudios empleando la metodología de ACV en 1997, cuando se crearon en el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) los Comités Técnicos de Normalización del ISO/TC-207 para discutir y homologar a normas nacionales la serie de estándares internacionales de la familia ISO 14000 (serie ISO 14040 sobre ACV). Los comités más activos en ese período fueron el Comité 14 de Sistemas de Gestión Ambiental, el Comité 13 de Gestión Ambiental, el Comité 33 de Auditorías Ambientales y el Comité 36 de ACV [SAAVEDRA y VARGAS, 2000].

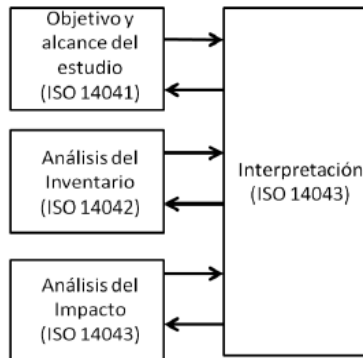
Algunos de los primeros casos de estudio que consideraron la aplicación ACV en Colombia, incluyen el análisis comparativo del cultivo de caña de azúcar orgánico. En éste se mostró que es mucho más conveniente para el medio ambiente el azúcar orgánico, que el cultivo tradicional, debido a que el proceso no incluye etapas de quema y requema, las cuales contribuyen al 92% del impacto ambiental [SAAVEDRA y VARGAS, 2000]. En etapas más recientes se estudió la producción de bioetanol mediante ACV. Este trabajo mostró que realizar el pretratamiento a la caña de azúcar mediante explosión con vapor, solo ocasiona un aporte contaminante de 43,5 %; mientras que el proceso con ácido diluido corresponde al 52% y mediante solvente orgánico un 97,5% [AVILA y SUAREZ, 2010].

No obstante, la revisión de la literatura demuestra poca o ninguna experiencia en la aplicación del ACV a procesos metalúrgicos y metalmecánicos de manufactura de piezas en el país.

### **1.3 FUNDAMENTO CONCEPTUAL DEL ACV**

El ACV es una metodología que permite la recopilación y valoración de las entradas (materia y energía), salidas (productos, emisiones y residuos) e impactos potenciales de un sistema de producción o servicio a lo largo de su ciclo de vida y está estructurada mediante cuatro etapas básicas (Figura 13) [ISO 14.040, 2007].

**Figura 12. Etapas del ACV.**



Fuente: ISO 14040, 2007.

Las etapas que estructuran el ACV son interactivas entre sí, lo que representa una flexibilidad para el proceso de evaluación proporcionado por esta metodología. El ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de un sistema, para posteriormente evaluar los IAP que éstos causan al medio ambiente. Todo ello, contribuye a considerar al ACV como un instrumento de apoyo para la toma de decisiones tendientes a reducir problemas medioambientales de sistemas, productos y procesos [ISO 14040, 2007].

### **1.3.1 Etapas del ACV**

#### **Etapa 1. Definición de los objetivos y el alcance del ACV**

El objetivo de un ACV establece:

- La aplicación prevista.
- Las razones para realizar el estudio.
- El público previsto, es decir, las personas a quienes se estima comunicar el estudio.
- Si se prevé utilizar los resultados en aseveraciones comparativas que se divulgarán al público [ISO 14040, 2007].

El alcance debe estar bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y el nivel de detalle del estudio sean compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo establecido. El alcance incluye:

- El sistema del producto a estudiar.
- Las funciones del sistema del producto.
- La unidad funcional: define la cuantificación de las funciones identificadas (características de desempeño) del producto. El propósito fundamental de una unidad funcional es proporcionar una referencia a la cual se relacionan las entradas y salidas.
- Los límites del sistema: definen los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema.
- Los procedimientos de asignación.
- Las categorías de impacto seleccionadas.
- La metodología de evaluación de impacto.
- Las suposiciones.
- Las limitaciones [ISO 14040, 2007].

### **Etapa 2. Análisis del inventario**

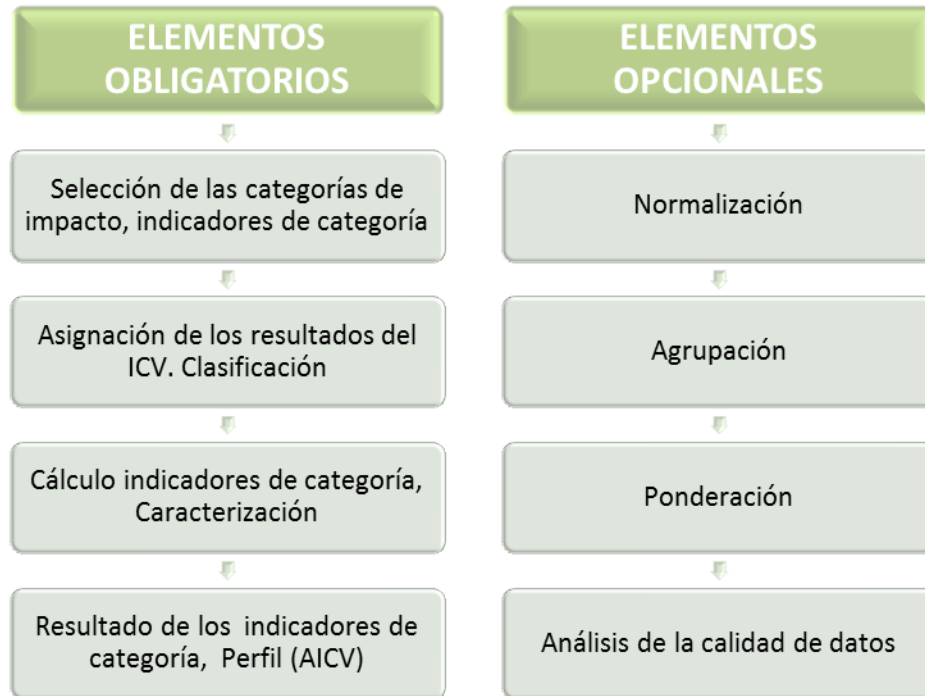
El análisis del inventario implica la recopilación de los datos y de los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes de un sistema del producto. La realización de un análisis de inventario es un proceso iterativo. A medida que se recopilan los datos y se aprende más sobre el sistema, se pueden identificar nuevos requisitos o limitaciones, que requieran cambios en los procedimientos de recopilación de datos, de manera que, aún se puedan alcanzar los objetivos del estudio [ISO 14040, 2007].

### **Etapa 3. Evaluación del impacto ambiental potencial del ciclo de vida.**

Esta etapa tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos

medioambientales. En la figura 13 se muestran los elementos que componen la valoración del impacto del análisis de ciclo de vida [ISO 14040, 2007].

**Figura 13. Elementos componentes de la valoración del IAP**



Fuente: Norma técnica NTC ISO-14040

Esta fase está dirigida a entender y evaluar la magnitud y el significado de los impactos ambientales potenciales del sistema de producción, del producto que se está estudiando [Finnveden et al. 2009].

En primer lugar, se deben definir las categorías de impacto referidas a efectos ambientales a los que se asignarán los resultados del inventario. Las categorías de impacto deben ser consistentes con el objetivo y alcance del estudio, ser comprensibles para la audiencia a la que van dirigidas, y estar internacionalmente aceptadas.

Los resultados obtenidos en el análisis de inventario se asocian a las diferentes categorías de impacto definidas y se aplican factores de caracterización para cada componente de la categoría. Estos factores convierten el resultado del análisis del inventario a una unidad común para cada categoría de impacto, agrupando todos los resultados de esa categoría en un único valor. Los factores de caracterización pueden variar en función del método de evaluación que se utilice en esta etapa.

Las técnicas de evaluación de impacto ayudan a convertir el resultado del inventario -tabla con centenares de datos referentes a las cantidades de cargas ambientales en todas las etapas del proceso- en una lista de pocos datos interpretados según su capacidad de afectar al medio ambiente. La evaluación se realiza de acuerdo a las categorías de impacto seleccionadas.

Este proceso conlleva los pasos de: clasificación, caracterización, normalización y valoración/ponderación. Cada uno de estos elementos, va estructurando los datos provenientes del inventario, reduciéndolos sucesivamente en cantidad o en complicación y facilitando su interpretación. No obstante, este proceso tiene un precio: frente a la objetividad de los datos de inventario (dentro de los márgenes de error que tengan), cada nuevo elemento incorpora una cierta subjetividad, de modo que al llegar al final del proceso se determina un único número o índice ambiental para describir el sistema (etapa de valoración), sencillo de interpretar.

Selección de las categorías: Las categorías de impacto son seleccionadas para describir los impactos que produce el sistema. Según la ISO 14044 una categoría de impacto es una clase representativa de variables medioambientales, a la que pueden asignarse los resultados del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

Clasificación: Este es un paso cualitativo en un análisis científico de los procesos que tienen relevancia ambiental. La clasificación asigna el inventario de entradas y salidas a las categorías de impacto. Si algunas salidas contribuyen a dos categorías de impacto diferentes, deben mencionarse dos veces. El resultado de

la doble contabilidad es aceptable si los efectos son independientes para cada uno; por ejemplo, la disminución del ozono estratosférico y efectos tóxicos sobre la salud humana del método CML baseline consideran ambas al metano.

Deben definirse las categorías de impacto más relevantes que cubran en lo posible los impactos producidos de acuerdo con los datos de inventario. Las categorías de impacto deben ser ubicadas en una escala, dividiéndolas en tres grandes grupos: impactos globales, regionales y locales (ver anexo A).

Caracterización: El objetivo de la caracterización es aplicar modelos a las categorías de impacto para obtener indicadores ambientales. Los indicadores ambientales según ISO 14044 son la representación cuantificable de una categoría de impacto.

Para caracterizar los datos del inventario y convertir los resultados asignados del ICV a la unidad común del indicador de categoría, se debe multiplicar cada una de las sustancias que contribuyen o forman parte de una categoría de impacto por su factor de caracterización.

Por ejemplo, el factor de caracterización para el CO<sub>2</sub> en la categoría de impacto “Cambio Climático” es de 1 por ser el compuesto de referencia; mientras que el factor de caracterización del CH<sub>4</sub> al momento actual es de 21. Esto significa que la emisión de 1 kg de metano causa la misma cantidad de cambio climático que 21 kg de dióxido de carbono. Estos factores deben ser científicamente justificables y aceptados internacionalmente. Los resultados de los indicadores de una categoría de impacto corresponde a la suma de las contribuciones de todas las sustancias que forman parte de dicha categoría. De esta forma se obtiene así un perfil ambiental del sistema, compuesto por el conjunto de los indicadores ambientales de todas las categorías de impacto consideradas.

Normalización: En esta etapa se evalúa la importancia del perfil ambiental (obtenido en la caracterización), mediante una serie de técnicas que permiten medir el grado de la contribución relativa de las categorías de impacto sobre el problema ambiental global. Según la SETAC (Sociedad de Toxicología y Química Ambiental), los datos de la caracterización se normalizan dividiéndolos por la magnitud real o predicha de la categoría de impacto correspondiente (también llamado valor de referencia o normal). En muchos casos, se toma como referencia la media de la carga ambiental anual en un país o continente, dividido por el número de habitantes. Sin embargo, la referencia puede ser elegida libremente.

Con la normalización se busca: a) dejar fuera de consideración las categorías de impacto que contribuyen sólo en pequeñas cantidades, comparadas con otras categorías de impacto, reduciendo así el número de puntos que necesitan ser evaluados y b) señalar el orden de magnitud de los problemas ambientales generados por el ciclo de vida de los productos, comparados con las cargas totales ambientales.

Después de la normalización los indicadores de las categorías de impacto tienen la misma unidad, generalmente 1/año, lo cual hace fácil su comparación.

Ponderación: Con la caracterización se logra un análisis cuantitativo de las diferentes categorías de impacto, pero la comparación entre éstas no se hace inmediatamente posible. Para ello es necesario una ponderación o valoración, donde se evalúa cualitativa o cuantitativamente la importancia relativa de las distintas categorías de impacto. Si dicha valoración es cuantitativa, supone un proceso similar al de la caracterización, donde los factores de ponderación son obtenidos con criterios socioeconómicos y no científicos y la suma de todos ellos debe ser la unidad.

El cálculo de la ponderación, donde los resultados de la categoría de impacto o daño son multiplicados por los factores de ponderación o peso, lleva a la obtención de un perfil ambiental ponderado que, si se suman todas las categorías, conducirá a un único índice ambiental global o puntuación total para el sistema, haciendo más fácil la toma de decisiones.

Los factores de valoración pueden variar de una región geopolítica a otra, dependiendo de la importancia relativa o alcance que se dé a las diferentes categorías de impacto: globales, regionales y locales. La ponderación puede ser aplicada tanto en resultados normalizados o no, como sucede en los métodos EPS 2000, Demanda Acumulada de Energía, Demanda Acumulada de Energía y Huella Ecológica, que no tienen normalización y sí se aplica la ponderación.

**1.3.2 Software para ACV.** La metodología del ACV ha permitido el desarrollo de diferentes software que facilitan su aplicación, mediante la utilización de librerías de bases de datos y programas de cálculos.

Umberto es una herramienta para modelar, calcular y visualizar sistemas de flujos de materia y energía. Se utiliza para analizar los sistemas de procesos en una planta o una compañía a lo largo del ciclo de vida de un producto [Randa Group S.A, 2003].

SimaPro fue desarrollado en Holanda (Universidad de Leiden), y permite la cuantificación en ecopuntaje de los impactos ambientales de cada etapa definida del proceso, determinando su prioridad y su relación con los problemas ambientales más relevantes [SAAVEDRA y VARGAS, 2000]. SimaPro es una herramienta profesional que sigue las recomendaciones de la norma ISO 14040.

Mediante seminarios y proyectos SimaPro ha sido introducido desde los años noventa a universidades e institutos [CHACON, 2008]. SimaPro tiene la característica de permitir utilizar bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas (BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM, ECOINVENT) [Manual demo SimaPro]. A continuación se mencionan las categorías de impacto consideradas [Instituto Tecnológico Metalmecánico AIMME, 2008].

**Entradas:**

**Agotamiento de recursos abióticos:** El agotamiento de los recursos abióticos se refiere al consumo de recursos naturales como minerales, petróleo, etc que son considerados como materia inerte en oposición a los seres vivos. Los impactos considerados son aquellos derivados de su extracción en las minas, canteras, pozos petrolíferos, etc. La unidad de caracterización de este impacto es kg de antimonio (Sb) equivalente por kg de mineral extraído.

**Salidas:**

**Calentamiento global:** El calentamiento global es el impacto producido por los gases de efecto invernadero. Estas emisiones tienen impactos negativos sobre la salud y el bienestar humano y sobre los ecosistemas. La unidad de caracterización de este impacto es kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente por kg de emisión.

**La destrucción de la capa de ozono:** se refiere a la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico debido a la emisión de sustancias químicas que atacan y descomponen las moléculas de O<sub>3</sub>. La unidad de caracterización de este impacto es de kg de Freon R-11 equivalente por kg de emisión.

**La acidificación:** es el resultado de la emisión de contaminantes de carácter ácido, tales como SO<sub>2</sub> o NO<sub>x</sub> a la atmósfera. Estas emisiones tienen efectos negativos en el suelo, acuíferos, aguas superficiales, microorganismos,

ecosistemas y bienes materiales en general. La unidad de caracterización de este impacto es kg de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) equivalente por kg de emisión.

**La eutrofización:** es la consecuencia de los altos niveles de macronutrientes, tales como nitrógeno y fósforo en el medio ambiente. La unidad de caracterización de este impacto es kg de Fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) equivalente por kg de emisión.

**1.3.3 Bases de datos desarrolladas para apoyar el ACV.** La validez del estudio de ACV depende de la calidad de los datos utilizados en el inventario. Las diferentes herramientas informáticas para elaborar ACV se basan en la misma metodología y presentan rasgos comunes; la importancia de utilizar unas u otras radica en la base de datos utilizada. Las conclusiones obtenidas en el estudio serán más o menos válidas dependiendo de la proximidad de los datos al sistema estudiado. Ecoinvent es la base de datos más completa actualmente en el mercado y ha sido ampliamente utilizada debido a sus características:

- Cubre una gran variedad de datos.
- Está bien documentada.
- Proporciona una especificación constante de datos inciertos
- Utiliza distribución logarítmica normal con desviación estándar.

El centro Ecoinvent (Suiza) trabaja tanto en el desarrollo de bases de datos para ICVs (Inventario de Ciclo de Vida) y EICVs (Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida) [GARCÍA, 2008].

## 2. METODOLOGIA

La metodología establecida para llevar a cabo el objetivo propuesto en este trabajo (evaluar el impacto ambiental potencial que ocasiona la producción de manijas de ferretería en la empresa Fantaxias S.A.S), se esquematiza en la siguiente figura:

**Figura 14. Metodología aplicada en la evaluación del impacto ambiental de la MAMU**



**Actividad 1.** *Apropiación teórico-práctica del proceso de fabricación de MAMU en Fantaxias S.A.S.*

Mediante una serie de visitas a FANTAXIAS S.A.S y la revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos, se comprendió el proceso que utiliza la empresa para la elaboración de la MAMU. Se identificaron las etapas del proceso, los tipos de equipos, las materias primas y los productos.

**Actividad 2.** *Construcción general del diagrama del proceso.*

La empresa Fantaxias S.A.S. a la fecha no dispone de los diagramas de flujo de sus procesos productivos. Por lo anterior, a partir de la información recopilada en las visitas, se procedió a elaborar el diagrama del proceso de fabricación de la MAMU. El proceso se dividió en cuatro subprocesos: a) moldeo, b) fundición, c) pulido, d) recubrimiento electrolítico y d) terminación final. Para cada uno de los subprocesos se identificaron (asignado su respectivo código) las diferentes corrientes (masas y energías, etc.) de entrada y salida.

El zamac utilizado, como materia prima para obtención de la MAMU, es suministrado desde la ciudad de Bogotá. El zamac es una aleación compuesta por: Zn, Al, Cu, Fe, Cd, Si, Mg, Ni, Pb y Sn. El compuesto en mayor proporción es el Zn (aproximadamente 90%).

El apartagas, empleado como desgasificante en la etapa de fundición, es un compuesto formado por hexacloroetano y minerales como el cuarzo (mayor cantidad). La presencia de hexacloroetano remueve el hidrógeno disuelto en el crisol del horno. El oxígeno presente en el desgasificante reduce la formación de cloruros [Garrido A. y Sánchez V., 2011]. De igual manera, la rejuva es un insumo útil para separar la escoria que se va formando durante la fundición. La escoria está compuesta por zamac, óxidos de Zn, aluminio, magnesio y cobre.

El horno utilizado para la fundición del zamac es de tipo crisol, el cual funciona utilizando como combustible gas natural, suministrado por la empresa Gasorient. El ingreso de la aleación fundida al molde se realiza manualmente por medio de

una cuchara industrial. En la actualidad Fantaxias S.A.S, procesa 8,5 toneladas de zamac al mes en promedio para la producción de artículos para muebles entre los cuales están las MAMU. Para hacer los cálculos de producción anual se trabajó con una base de cálculo de 12 horas, por ser éste el tiempo de un día de trabajo en la empresa.

Al momento de alimentar el software SIMAPRO con los datos del balance no se tuvo en cuenta el desgasificante y la rejuva usada debido a que estos se adicionan cada 12 horas de jornada de trabajo independientemente de la pieza que se vaya a fabricar.

**Actividad 3.** *Elaboración del inventario.*

Una vez construido el diagrama del proceso, se determinaron para las diferentes corrientes, las masas y energías de entradas y salidas. Adicionalmente, mediante información preexistente (trabajos de grado anteriores) se pudo establecer las características fisicoquímicas de estas entradas y salidas. Con esta información se elaboraron los balances de masa y energía. El compendio anterior conformó el inventario del proceso, el cual en forma de base de datos en excel, se alimentó al SimaPro. Sin embargo, dado que fue difícil disponer de toda la información en planta, no se realizó un balance de energía completo; sólo se llegó hasta calcular los consumos de energía eléctrica y química (combustión de gas natural en hornos). Se realizó un inventario de los equipos eléctricos involucrados en el proceso, registrando los tiempos de operación promedio para cada uno de ellos. En su mayoría los equipos de Fantaxias S.A.S. operan a 220V.

**Actividad 4.** *Estructuración del proceso de fabricación de la MAMU, mediante la definición de atributos específicos, según los requerimientos de SIMAPRO.*

Actualmente, existen diversos métodos de evaluación para estudios de ACV los cuales han sido elaborados con diferente visión o perspectiva. En este estudio, se seleccionó el método EDIP 2003 para la evaluar el impacto ambiental potencial en

la fabricación de la MAMU, por ser un método que permite englobar la totalidad de los impactos ambientales en un “score” o indicador único, y por ser un método muy completo en categorías, que permite en una primera aproximación identificar los aspectos que generan mayor sensibilidad ambiental en el ciclo de vida objeto de estudio.

Luego de definir los parámetros descritos anteriormente, se procedió a construir el escenario en SimaPro. Con los balances se hace el cálculo del inventario de ciclo de vida (ICV), el cual relaciona el valor de las descargas con el factor de caracterización para cada categoría de impacto seleccionada en el método de evaluación seleccionado EDIP 2003. Con el ICV se crean las gráficas de los perfiles medioambientales del sistema completo y por etapas del proceso.

En esta etapa, se realizó la estructuración del proceso de fabricación de MAMU, de acuerdo a los requerimientos del ACV estipulados en la NTC ISO 14040; por consiguiente, fue necesario definir los atributos específicos según los requerimientos SimaPro.

**Definición del objetivo:** Realizar la evaluación del impacto ambiental potencial al proceso de elaboración de MAMU en Fantaxias S.A.S, mediante la utilización del software SimaPro, para determinar los impactos ambientales potenciales por etapas y globales del proceso productivo y, de esta forma, proponer alternativas de mejora que contribuyan a la minimización de sus impactos ambientales, en las fronteras definidas como límites del sistema y de acuerdo al alcance descrito a continuación.

**Alcance del estudio:** Realizar la evaluación del impacto ambiental potencial al proceso de obtención de MAMU, vinculando en el estudio los consumos de energía eléctrica, recursos, insumos y sustancias químicas así como la generación de efluentes líquidos, desde el transporte del zamac desde la ciudad de Bogotá

hasta el alistamiento de la pieza para ser distribuida. Se tomarán las bases de datos disponibles en el software y, de esta forma, la calidad de los resultados no serán 100% representativos del contexto socio-económico local.

**Función del sistema bajo estudio:** El sistema bajo estudio tiene como fin la obtención de MAMU.

**Unidad funcional:** La unidad funcional definida para este estudio fue de 1 MAMU.

**Límites del sistema:** Se determinó como límites del sistema el transporte del zamac en camiones desde la ciudad de Bogotá hasta el empaque y alistamiento final de la MAMU puesta dentro de la planta para su distribución. De esta forma la evaluación del impacto ambiental potencial realizado se categoriza como un estudio “Puerta a Puerta”, que responde al interés de la empresa Fantaxias S.A.S.

**Límites temporales:** Para efectos temporales del estudio se contemplaron los datos que posee Fantaxias S.A.S, desde el 1 de enero de 2011 al 31 de diciembre de 2012.

**Limitaciones del estudio:**

Las bases de datos de SimaPro no contienen información para Latinoamérica. Para este estudio, se tomaron las siguientes bases de datos: IDEMAT 2001, Ecoinvent System Processes, Ecoinvent Unit Processes, BUWAL 250, Industry data 2.0.

Se tomaron los datos incorporados en las bases de datos para los compuestos químicos ácido sulfúrico, cianuro de sodio, sal de Rochelle (Tartrato de sodio y potasio), abrillantador de cobre (asumiendo aceite lubricante), Novaclean Z (detergente), sin crear modificaciones o variantes específicas para este proyecto.

Para el presente estudio se tomaron datos del banco mundial de producción, representado por los procesos contenidos en Ecoinvent a los cuales se les realizaron modificaciones teniendo en cuenta las composiciones químicas y características de los compuestos. Entre los compuestos creados están: Materia prima (Zamac), combustibles (Diesel, Gas Natural), energía eléctrica, agua utilizada para los diferentes procesos, pasta para satinar, cianuro de cobre, ánodo de níquel, cloruro de níquel, sulfato de níquel, abrillantador de níquel, piedras abrasivas.

Energía Eléctrica: la distribución es por la Electrificadora de Santander, ESSA, y la comercialización es por bolsa con la empresa Vatia. Para la energía eléctrica se consultó la Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, con el fin de conocer el mix colombiano de donde se pudo identificar las emisiones gaseosas para la generación de electricidad referida al caso colombiano donde predomina el uso de hidroeléctricas, seguido por la termoeléctrica. Con estos datos se creó un escenario de energía eléctrica más ajustado al caso colombiano el cual fue alimentado en la base de datos y usado para nuestro estudio. Para efectos de los valores de energía eléctrica alimentados a SIMAPRO, se asumió una pérdida del 16% de esta energía por redes de distribución, pérdida que fue sumada al consumo de energía calculada para cada etapa.

**Gas natural:** suministrado por la empresa Gasorient. Para este recurso se creó un escenario donde se excluyeron las cargas ambientales por la infraestructura de la línea de transporte del gas. Se dejaron las cargas para la explotación onshore, por ser el caso específico para Bucaramanga.

**Diesel:** utilizado para el transporte del zamac desde Bogotá hasta la empresa Fantaxias S.A.S en Bucaramanga. Para este recurso se creó un escenario donde se excluyeron las cargas ambientales debidas al transporte del crudo desde la extracción hasta la refinería y de la refinería hasta las estaciones de servicio, así

como las cargas por la construcción de la infraestructura física de la refinería. Sólo se dejaron las cargas ambientales por emisiones gaseosas debidas a la combustión del combustible en los vehículos.

**Etapas excluidas del análisis:** Para efectos de este análisis se excluyó del sistema estudiado los siguientes aspectos:

- ◆ Cargas ambientales de los proceso de obtención de: Zamac, bloque de Acero 23-63, Acero 10-45, tornillo que se añade a la pieza de MAMU terminada para ser comercializada, taladrina, lijas, chips plásticos.
- ◆ Proceso productivo del tornillo de acero que se añade a la pieza de MAMU terminada para ser comercializada.
- ◆ Sustancias químicas utilizadas en el proceso de fundición como el rejuva y el apartagas H7, por la baja concentración utilizada de estos compuestos dentro del proceso. El aporte de las sustancias químicas e insumos mencionados anteriormente fueron excluidas debido a que no se encontraron dentro de las bases de datos disponibles en SimaPro y debido a que su aporte al balance de masa es inferior al 1%.
- ◆ Transporte de sustancias químicas utilizadas en los baños electrolíticos, de los bloques de acero para la elaboración de moldes, bolsas plásticas y cajas de cartón utilizadas para el empaque de la MAMU terminada.
- ◆ Generación de residuos peligrosos y su transporte, tratamiento y disposición final por parte del gestor externo autorizado.
- ◆ Sustancias como desengrasantes, lubricantes y aceites utilizadas en operaciones de mantenimiento de equipos utilizados en el proceso de obtención de la MAMU.

**Actividad 5.** *Evaluación del impacto ambiental mediante el diseño de perfiles ambientales de acuerdo a los requerimientos del Simapro.*

Teniendo en cuenta las recomendaciones EDIP 2003, para la evaluación del ACV de la MAMU, luego de definir los parámetros descritos anteriormente, se procede a construir el escenario en SimaPro. Con los balances se realiza el cálculo del inventario de ciclo de vida (ICV), el cual relaciona el valor de las descargas con el factor de caracterización para cada categoría de impacto seleccionada en el método de evaluación seleccionado EDIP 2003. Con el ICV, se generan las gráficas de los perfiles medioambientales del sistema completo y por etapas del proceso.

**Diseño de estructura de atributos:** Esta etapa se realizó teniendo en cuenta los requerimientos informáticos, las bases de datos existentes en el software SimaPro y las características de las diferentes etapas del proceso de fabricación de la MAMU. Los datos requeridos en esta etapa metodológica tales como información de equipos, caracterización de materias primas, agua y tipo de energía se obtuvieron a partir de información suministrada por la empresa FANTAXIAS S.A.S y de datos proporcionados por trabajos de grado anteriores; para complementar se contó con fuentes secundarias de antecedentes tales como reportes industriales, documentos EPA, artículos de revistas. Sin embargo, los datos proporcionados no fueron suficientes de acuerdo al alcance del estudio y la información requerida por el software SimaPro 7.1, por lo que en las operaciones donde existía algún déficit de información se hicieron estimaciones de ingeniería y distintas suposiciones.

Adicionalmente, se utilizaron las bases de datos internas de este software, las cuales vinculan diferentes clases de materiales con su respectiva huella ambiental (extracción, transporte, distribución, emisiones, etc.). Estas bases de datos se modificaron con el fin de ajustar las operaciones a las condiciones de producción de FANTAXIAS S.A. De acuerdo a lo anterior, el diseño de atributos, para la fabricación de MAMU, según los requisitos de SimaPro, se resume en la siguiente

tabla:

**Tabla 3. Ensamblajes utilizados para la elaboración del árbol global del proceso de fabricación de MAMU**

MONTAJE	SUBPROCESO / ETAPA
Diseño y elaboración del molde	Fresado
	Pulidos
	Temple
	Mecanizado
	Rectificado
Inyección y Fundición	Inyección del zamac
	Fundición del zamac
Pulido	Pulimento I
	Montaje
	Pulimento II
	Secado
Recubrimiento electrolítico	Desengrase
	Enjuagues
	Decapado y Neutralizado
	Cobrizado
	Niquelado
	Secado
Satinado y empaque	Empaque plástico
	Empaque en cajas
	Satinado de la manija
	Inclusión del tornillo

### Consecución de cargas ambientales

Se seleccionó el tipo de método de análisis de cargas ambientales obtenidas de acuerdo a la estructura de contribución diseñada. Las cargas ambientales se obtienen mediante los factores de caracterización de cada operación por etapa y, por tanto, representan la contribución relativa de una etapa determinada a una

categoría de impacto.

Con el fin de interpretar los resultados obtenidos se analizó la relación entre la estructura de la contribución de atributos con los resultados obtenidos de las cargas ambientales por etapa, logrando identificar las etapas del proceso de fabricación de la manija que pueden llevar a una mejora mayor así como las que no generan impactos ambientales negativos.

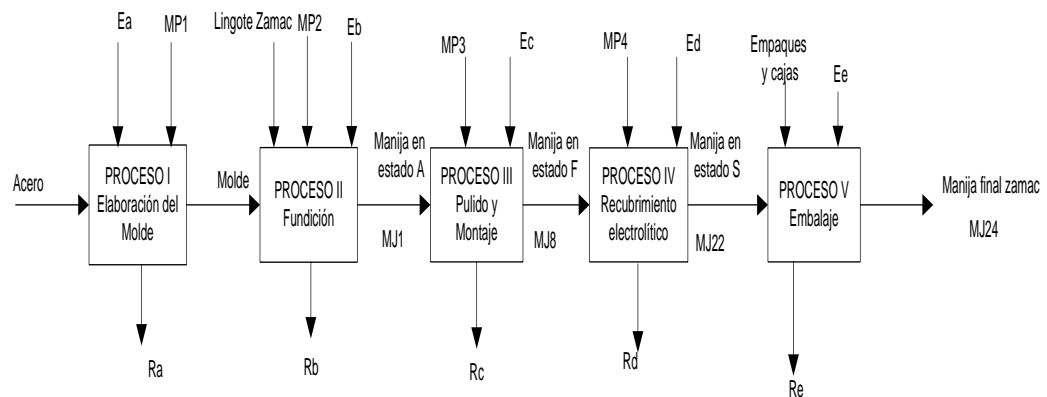
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO PARA LA FABRICACIÓN DE LA MANIJA DE FERRETERÍA PARA MUEBLES

El proceso de producción de MAMU involucra las etapas de elaboración del molde, moldeo por inyección, preparación mecánica, recubrimiento electrolítico y embalaje. Las variables en consideración para el proceso son: consumos de masa y energía durante cada una de las etapas del proceso productivo, volúmenes de agua consumidos en cada una de las etapas, se consideran también los químicos empleados en la etapa de recubrimiento electrolítico con las dosis respectivas.

Por su parte en la figura 16 se presenta el diagrama general del proceso de elaboración de la MAMU; donde se indican las diferentes entradas de materias primas (MP) y energía (E), así como las salidas de residuos (R).

**Figura 15. Esquema del proceso para producción de MAMU**



Ri : Residuos  
MPi : Materia prima  
Ei : Flujo de energía

### 3.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO

Por medio del balance de masa y energía se cuantificó el consumo de materias primas, insumos, subproductos y productos por unidad de MAMU, lo que corresponde a la etapa de análisis de inventario establecida por la metodología ACV. En la tabla 4, se listan las diferentes etapas de cada proceso. Las diferentes corrientes están numeradas de acuerdo a su pertenencia.

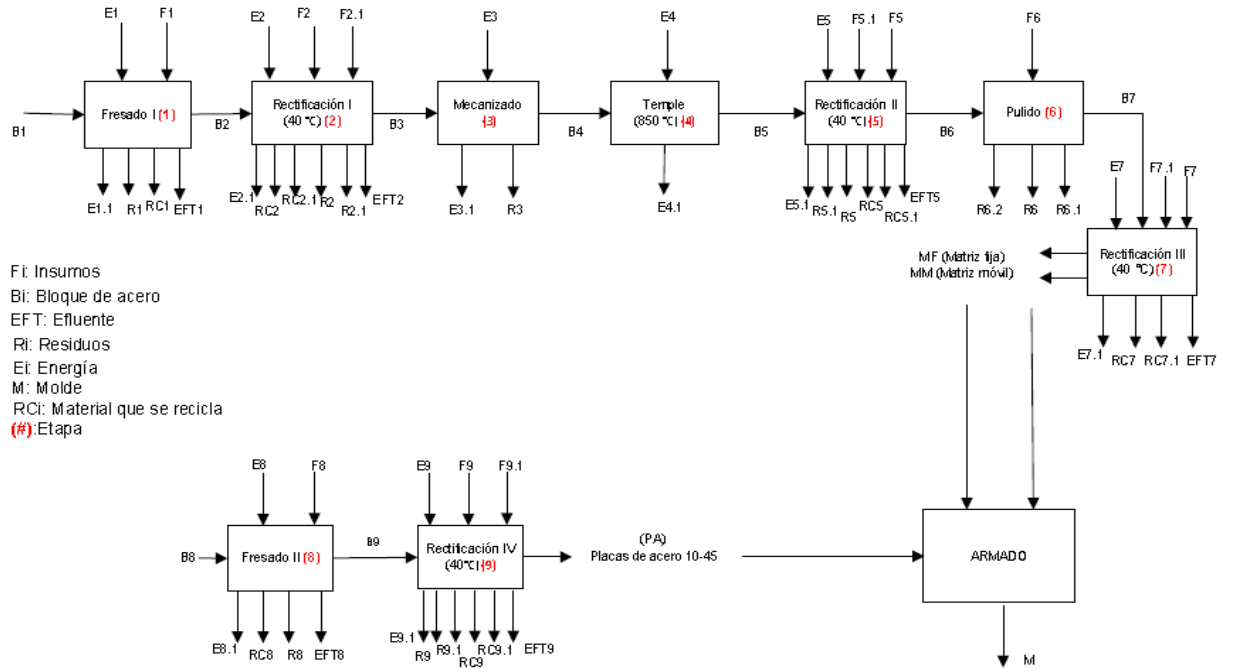
**Tabla 4. Etapas involucradas en el proceso de obtención de MAMU.**

Proceso	Etapa		Proceso	Etapa	
	#	Descripción		#	Descripción
I Elaboración del Molde	1	Fresado I	IV Recubrimiento Electrolítico	16	Desengrase
	2	Rectificación I		17	Enjuague 1
	3	Maquinado I		18	Neutralizado 1
	4	Temple		19	Enjuague 2
	5	Rectificación II		20	Cobrizado
	6	Pulido		21	Enjuague 3
	7	Rectificación III		22	Enjuague 4
	8	Fresado II		23	Neutralizado 2
	9	Rectificación IV		24	Enjuague 5
II Moldeo por Inyección	10	Fundición		25	Niquelado
	11	Inyección		26	Enjuague 6
III Preparación Mecánica	12	Pulido I		27	Enjuague 7
	13	Montaje		28	Enjuague 8
	14	Pulido II		29	Secado
	15	Secado		V Embalaje	30
			31	Empacado	

El diagrama de flujo, el balance de masa, balance de energía y características fisicoquímicas de los efluentes, vertimientos y emisiones, para cada uno de los procesos se presenta a continuación las figuras y tablas.

## Etapa I. Elaboración del molde.

Figura 16. Proceso I, elaboración del molde



**Tabla 5. Corrientes de entrada y salida de la etapa I (Moldeo) del proceso**

PROCESO I ELABORACIÓN DEL MOLDE						
Flujo	Descripción	L/molde	g/molde	Temperatura (°C)	Estado	kJ/molde
E1	Energía requerida por la fresadora, Fresado I	-	-	-	-	19733,1610
F1	Taladrina	5,0000	5250,00	25	Líquido	-
B1	Bloque de acero 23-63	1,9933	15647,20	25	Sólido	-
R1	Residuos de acero 23-63	0,8846	6944,00	25	Sólido	-
EFT1	Efluente de taladrina	1,3310E-02	13,98	25	Líquido	-
RC1	Taladrina para reciclar	4,9867	5236,02	25	Líquido	-
E1.1	Energía útil de la fresadora+Energía disipada	-	-	-	-	19733,1610
E2	Energía requerida por la rectificadora, Rectificación I	-	-	-	-	1005,4260
B2	Bloque de acero 23-63 estado A	1,1087	8703,20	25	Sólido	-
F2	Taladrina	5,0000	5250,00	25	Líquido	-
F2.1	Esmeril tipo disco	0,4615	1800,00	25	Sólido	-
RC2	Taladrina para reciclar	4,9986	5248,48	25	Líquido	-
RC2.1	Esmeril tipo disco para reciclar	0,4614	1799,48	25	Sólido	-
R2	Residuo acero 23-63 estado A	3,8217E-03	30,00	25	Sólido	-
EFT2	Efluente de taladrina	1,4468E-03	1,52	25	Líquido	-
R2.1	Residuo de esmeril tipo disco	1,3355E-04	0,52	25	Sólido	-
E2.1	Energía útil de la rectificadora+Energía disipada	-	-	-	-	1005,4260
E3	Energía requerida por la electroerosionadora, Maquinado I	-	-	-	-	178451,4240
B3	Bloque de acero 23-63 estado B	1,1049	8673,20	25	Sólido	-
R3	Virutas de acero 23-63	0,0585	459,30	25	Sólido	-
E3.1	Energía útil de la electroerosionadora+Energía disipada	-	-	-	-	178451,4240
E4	Energía requerida por el horno, Temple	-	-	-	-	74880,0000
B4	Bloque de acero 23-63 estado C	1,0464	8213,90	25	Sólido	-
E4.1	Energía útil del horno+Energía disipada	-	-	-	-	74880,0000
B5	Bloque de acero 23-63 estado D	1,0464	8213,90	25	Sólido	-
F5	Taladrina	5,0000	5250,00	25	Líquido	-
F5.1	Esmeril tipo disco	0,4615	1800,00	25	Sólido	-
R5	Residuo de acero 23-63	0,0025	20,00	25	Sólido	-
RC5.1	Esmeril tipo disco para reciclar	0,4614	1799,57	25	Sólido	-
RC5	Taladrina para reciclar	4,9988	5248,73	25	Líquido	-
R5.1	Residuo esmeril tipo disco	1,1127E-04	0,43	25	Sólido	-
EFT5	Efluente de taladrina	1,2054E-03	1,27	25	Líquido	-
E5	Energía requerida por la rectificadora, Rectificación II	-	-	-	-	837,7209
E5.1	Energía útil de la rectificadora+Energía disipada	-	-	-	-	837,7209
B6	Bloque de acero 23-67 Estado E	1,0438	8193,90	25	Sólido	-
F6	Esmeril tipo lija, Pulido manual	1,8821E-02	73,40	25	Sólido	-
R6	Papel de lija	1,5333E-02	59,80	25	Sólido	-
R6.1	Residuos acero 23-63	1,0191E-03	8,00	25	Sólido	-
R6.2	Residuos de esmeril tipo lija	3,4872E-03	13,60	25	Sólido	-
B7	Bloque de acero 23-67 Estado F	1,0428	8185,90	25	Sólido	-
E7	Energía requerida por la rectificadora, Rectificación III	-	-	-	-	16086,8160
E7.1	Energía útil de la rectificadora+Energía disipada	-	-	-	-	16086,8160
F7	Taladrina	5,0000	5250,00	25	Líquido	-
F7.1	Esmeril tipo disco	0,4615	1800,00	25	Sólido	-
RC7	Taladrina para reciclar	4,9942	5243,92	25	Líquido	-
RC7.1	Esmeril tipo disco para reciclar	0,4594	1791,67	25	Sólido	-
EFT7	Efluente de taladrina	5,7870E-03	6,08	25	Líquido	-
R7	Residuos de acero 23-63	2,3682E-02	185,90	25	Sólido	-
R7.1	Residuos esmeril tipo disco	2,1368E-03	8,33	25	Sólido	-
MM	Matriz móvil	0,7643	6000,00	25	Sólido	-
MF	Matriz fija	0,2548	2000,00	25	Sólido	-
E8	Energía requerida por la fresadora, Fresado II	-	-	-	-	21449,0880
E8.1	Energía útil+Energía disipada	-	-	-	-	21449,0880
B8	Bloque de acero 10-45	18,3823	144301,00	25	Sólido	-
F8	Taladrina	5,0000	5250,00	25	Líquido	-
RC8	Taladrina para reciclar	4,9855	5234,81	25	Líquido	-
EFT8	Efluente de taladrina	1,4468E-02	15,19	25	Líquido	-
R8	Virutas Acero 10-45	0,9000	7065,00	25	Sólido	-
E9	Energía rectificación IV	-	-	-	-	4021,7040
E9.1	Energía útil+Energía disipada	-	-	-	-	4021,7040
B9	Bloque de acero 10-45 estado A	17,4823	137236,00	25	Sólido	-
F9	Taladrina	5,0000	5250,00	25	Líquido	-
F9.1	Esmeril tipo disco	0,4615	1800,00	25	Sólido	-
RC9	Taladrina para reciclar	4,9942	4683,00	25	Líquido	-
RC9.1	Esmeril tipo disco para reciclar	0,4610	1797,92	25	Sólido	-
R9	Virutas de acero 10-45	4,5860E-03	36,00	25	Sólido	-
R9.1	Residuos de esmeril tipo disco	5,3419E-04	2,08	25	Sólido	-
EFT9	Efluente de taladrina	5,7870E-03	567,00	25	Líquido	-
PA	Placas acero 10-45	17,4777	137200,00	25	Sólido	-
	2 Placas paralelas	0,0018	14,40	25	Sólido	-
	Placa posterior fija	0,0023	18,20	25	Sólido	-
	Placa posterior móvil	0,0023	18,20	25	Sólido	-
	Sufridera del molde	0,0035	27,40	25	Sólido	-
	Sufridera de expulsores	0,0010	8,00	25	Sólido	-
	Sufridera porta expulsores	0,0010	7,80	25	Sólido	-
	Placa matriz fija	0,0028	21,60	25	Sólido	-
	Placa matriz móvil	0,0028	21,60	25	Sólido	-
M	Molde	18,4968	145200,00	25	Sólido	-

## Etapa II. Fundición

Figura 17. Diagrama de flujo del Proceso II, (fundición MAMU)

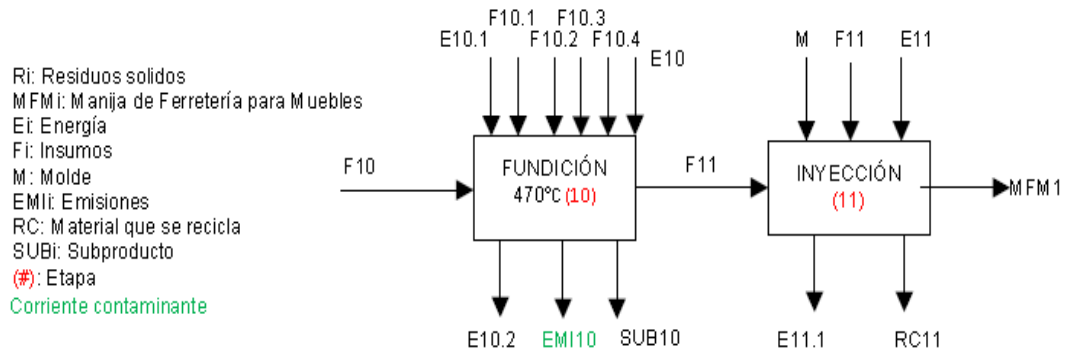


Tabla 6. Corrientes de entrada y salida de la etapa II del proceso de fundición de la MAMU

PROCESO II FUNDICIÓN						
Corriente	Descripción	L/MAMU	g/MAMU	Temperatura (°C)	Estado	kJ/MAMU
F10.1	Apartagas H7	-	1,94E-03	25	Sólido	-
F10.2	Rejuva	-	2,75E-02	25	Sólido	-
F10.3	Gas natural	2,94E+05	2,25E+05	25	Gaseoso	-
F10.4	Aire	1,49E+06	1,75E+06	25	Gaseoso	-
E10	Energía requerida por horno	-	-	-	-	3,6178
F10	Lingotes Zamak	8,52E-03	5,62E+01	25	Sólido	-
SUB10	Escoria (10% zamak para reciclar y 90% subproducto)	-	2,85E+00	25	Sólido	-
EMI10	Gases de combustión	4,64E+03	5,88E+05	304	Gaseoso	-
M	Molde	1,85E+01	1,45E+05	25	Sólido	-
F11	Zamac fundido	8,09E-03	5,34E+01	470	Líquido	-
RC11	Zamak para reciclar	3,84E-03	2,54E+01	25	Sólido	-
MFM1	Manija en estado 1	4,24E-03	2,80E+01	25	Sólido	-
E11	Energía requerida por inyectora	-	-	-	-	3,8052
E10.1	Energía que aporta el combustible	-	-	-	-	2.816.338
E10.2	Energía útil + Energía disipada	-	-	-	-	2.816.342
E11.1	Energía útil + Energía disipada	-	-	-	-	3,8052

Fuente: el autor.

**Tabla 7. Flujos volumétricos del horno.**

FLUJOS VOLUMETRICOS - HORNO	
Caudal de gases de combustión (L/h):	3.515.956,90
Caudal de gas natural (L/h) :	222.913.981,20
Caudal de aire (L/h) :	1.127.376.341,58
Poder calorífico del gas natural (kJ/L) :	9,5809

Fuente: Empresas Fantaxias S.A.S

**Tabla 8. Composición química de las emisiones atmosféricas producidas en la etapa II del proceso.**

Proceso II Fundición			
Etapa 10			
Horno			
EMI10			
Compuesto	ppm	g/manija	% Molar
CO2	106909,10	495676,20	78,62
CH4	14,88	68,98	0,03
NO	72,18	334,66	0,08
NO2	3,80	17,61	0,00
SO2	434,55	2014,74	0,22
O2	10151,52	47066,76	10,26
CO	9333,33	43273,31	10,79

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**Tabla 9. Características fisicoquímicas del zamak utilizado para fabricar MAMU**

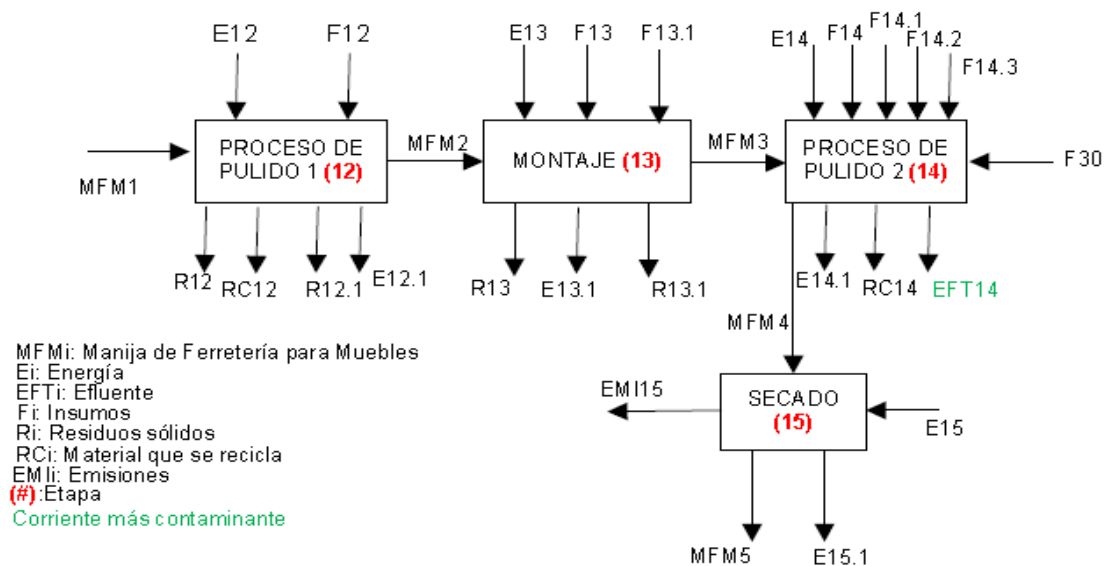
ZAMAK 4-10
Aleación 93% Zn, 3% Cu, 3% Al, 1% Mg.
Temperatura de fusión 380-385 °C
Densidad: 6,6 g/ml (20°C); Contracción al solidificar: 5(mm/m).

**Tabla 10. Condiciones de operación la etapa de moldeo e inyección.**

MOLDEO E INYECCIÓN
Temperatura operación 400-430°C
Equipos: Crisol e inyectora.
Crisol: Horno donde está el zamak. 120 Kg de capacidad. Opera con 100Kg.
Escores: Sustancia desgasificante. Se agrega al zamak en el proceso de fundición en el crisol cada 12 horas para eliminar impurezas y evitar corrosión.
Masa de molde con 7 manijas: 373,8g
Masa de una MAMU: 28,4g
Masa sobrante: 175g
Inyectora: Forma la pieza (MAMU)
Tiempo: 1300 ciclos/ 12 horas = 33,23s/ciclo. 4,75 piezas/s
Ciclo = 7 piezas unidas al molde.

### Etapa III: Pulido

**Figura 18. Proceso III, Preparación Mecánica (Pulido de la MAMU)**



**Tabla 11. Corrientes de entrada y salida de la etapa III del proceso**

Corriente	Descripción	L/MFM	g/MFM	Temperatura (°C)	Estado	KJ/MFM
E12	Energía pulido I (Pulido manual, sistema eje rotativo)	-	-	-	-	52,1
MFM1	Manija en estado 1	4,243E-03	2,800E+01	25	Sólido	-
F12	Esmeril tipo lija	7,051E-06	2,750E-02	25	Sólido	-
RC12	Esmeril tipo lija	4,968E-06	1,938E-02	25	Sólido	-
R12	Residuos Esmeril tipo lija	2,083E-06	8,125E-03	25	Sólido	-
R12.1	Residuos de Zamac	3,030E-04	2,000E+00	25	Sólido	-
E12.1	Energía útil + Energía disipada en el Pulido 1	-	-	-	-	52,1
E13	Energía para el Montaje (Perforado y enroscado)	-	-	-	-	7,4
E13.1	Energía útil + Energía disipada en el Montaje					7,4
MFM2	Manija en estado 2	3,940E-03	2,600E+01	25	Sólido	-
F13	Brocas de acero rápido	3,993E-08	3,250E-04	25	Sólido	-
F13.1	Machos de acero rápido	9,726E-09	7,917E-05	25	Sólido	-
R13	Residuos de zamac	6,059E-05	3,999E-01	25	Sólido	-
R13.1	Residuos Brocas y Machos.	4,965E-08	4,042E-04	25	Sólido	-
E14	Energía para el pulido 2 ( Pulido en vibradora)	-	-	-	-	0,9
MFM3	Manija en estado 3	3,879E-03	2,560E+01	25	Sólido	-
F14	Chips abrasivos	1,883E-02	2,411E+01	25	Sólido	-
F14.1	Talco abrasivo(Desbarbante A-11)		1,212E-01	25	Sólido	-
F14.2	Agua para pulido 2	4,926E-05	4,926E-02	25	Líquido	-
F14.3	TH (tensoactivo)	3,673E-06	3,789E-03	25	Sólido	-
RC14	Chips abrasivos para reciclar	1,829E-02	2,341E+01	25	Sólido	-
R14	Residuos de Chips abrasivos (Sale en EFT14)	5,418E-04	6,935E-01	25	Sólido	-

**Tabla 12. Caracterización de los efluentes generados en el proceso de pulido en masa**

Proceso III			
Etapa 14			
Pulido 2 (Vibradora)			
EFT14			
Compuesto	Resultado	Unidad	g/manija
Cu	103,1400	ppm	1,1376E-04
Zn	74,8400	ppm	8,2546E-05
Al	418,5000	ppm	4,6159E-04
Aceites y grasas	691,2000	ppm	7,6237E-04
Fe	19,5480	ppm	2,1561E-05
Nitrógeno total	21030,0	g/L	2,3195E+01
Ca	12,3000	mg/kg	1,4652E-05
Na	69,2000	mg/kg	8,2432E-05
P	146,7000	mg/kg	1,7475E-04
SiO2	1,2000	%	1,4294E-02
Mg	4,2120	ppm	4,6457E-06
pH	11	pH	-

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**Tabla 13. Condiciones iniciales de operación etapa de pulido manual.**

<b>PULIDO MANUAL</b>
Equipo: Pulidora, lija 180 y extractor.
Tiempo por operario: 3piezas/min = 0,05piezas/s

**Tabla 14. Condiciones iniciales de operación etapa de pulido en masa.**

<b>PULIDO EN MASA</b>
Equipo y materiales: Tanque, piedra abrasiva, talco abrasivo y agua.
2 cargas de piedra por 1 de piezas. 1carga piezas = 25-30kg de piezas Tiempo: 968,31piezas/9900s = 0,0978piezas/s
Secado: Centrifuga. 12-15Kg/600s = 0,79 piezas/s.

Después de la etapa III se realiza una inspección a la manija, en promedio 1 de cada 3000 manijas tiene imperfecciones, y estas piezas deben ser recicladas al horno donde se funde el zamak.

## Etapa IV. Recubrimiento electrofítico.

Figura 19. Proceso IV, recubrimiento electrofítico de la MAMU

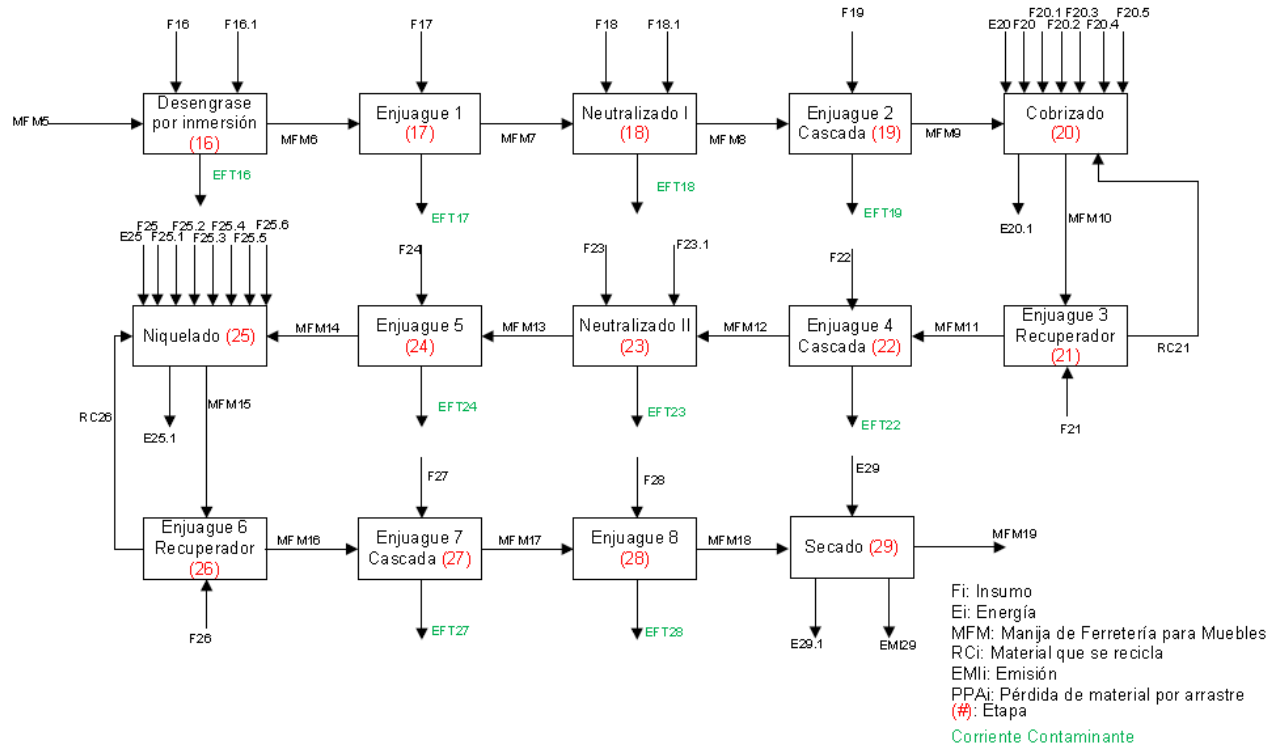


Tabla 15. Condiciones de operación etapa de recubrimiento electrofítico

RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO
Operación en masa. Tiempo: 4 horas. Equipo y materiales: Tanques, tambores acrílicos, Ni, Cu, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, y NaCN.
I. Carga, 25-30 Kg de piezas.(15s)
II. Enjuague con H <sub>2</sub> O. (40s)
III. Baño con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . (40s)
IV. Enjuague con H <sub>2</sub> O. (40s)
V. Recubrimiento de cobre. Usando NaCN y una barra de cobre como electrodo.
VI. Enjuague con H <sub>2</sub> O.
VII. Baño con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> diluido.
VIII. Baño de Níquel. Se usa NiCl <sub>2</sub> y NiSO <sub>4</sub> .
IX. Secado. Centrifuga.

**Tabla 16. Corrientes de entrada y salida de la etapa IV del proceso de fabricación de MAMU**

PROCESO IV RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO						
Flujo	Descripción	L/manija	g/manija	Temperatura (°C)	Estado	KJ/manija
MFM5	Manija en estado 5	-	2,491E+01	25	Sólido	-
F16	Agua para desengrase por inmersión.	2,101E-03	2,101E+00	25	Líquido	-
F16.1	Novaclean ZAM	5,636E-05	6,807E-02	25	Líquido	-
EFT16	Efluente (Desengrase por inmersión)	2,157E-03	2,179E+00	25	Líquido	-
MFM6	Manija en estado 6	-	2,491E+01	25	Sólido	-
F17	Agua para enjuague 1	9,812E-03	9,812E+00	25	Líquido	-
EFT17	Efluente del enjuague 1	9,812E-03	9,832E+00	25	Líquido	-
MFM7	Manija en estado 7	-	2,491E+01	25	Sólido	-
F18	Agua para neutralizado 1	5,256E-03	5,256E+00	25	Líquido	-
F18.1	Acido Sulfúrico para neutralizado 1	2,254E-05	4,147E-02	25	Sólido	-
EFT18	Efluente del neutralizado 1	5,279E-03	5,311E+00	25	Líquido	-
MFM8	Manija en estado 8	-	2,491E+01	25	Sólido	-
F19	Agua enjuague 2 tipo cascada	1,962E-02	1,962E+01	25	Líquido	-
EFT19	Efluente del enjuague 2 tipo cascada	1,962E-02	2,034E+01	25	Líquido	-
MFM9	Manija en estado 9	-	2,490E+01	-	Sólido	-
E20	Energía Cobrizado	-	-	-		49,74144
F20	Agua para el cobrizado	3,013E-03	3,013E+00	25	Líquido	-
F20.1	Cianuro de sodio	2,438E-04	3,901E-01	25	Sólido	-
F20.2	Cianuro de cobre	9,370E-05	2,736E-01	25	Sólido	-
F20.3	Sal de Rochelle	1,322E-05	2,336E-02	25	Sólido	-
F20.4	Alka Brite	1,314E-05	1,472E-02	25	Líquido	-
F20.5	Cobre metálico	1,591E-05	1,422E-01	25	Sólido	-
COM 20	Cobrizado	3,393E-03	3,811E+00	25-40	Líquido	-
E20.1	Energía útil + Energía disipada en cobrizado	-	-	-		49,74144
MFM10	Manija en estado 10	-	2,504E+01	-	Sólido	-
F21	Agua para enjuague 3 recuperador un tanque	1,028E-03	1,028E+00	25	Líquido	-
RC21	Recovery Cobre	1,028E-03	1,091E+00	25	Líquido	-
MFM11	Manija en estado 11		2,504E+01	25	Sólido	-
F22	Agua para enjuague 4 tipo cascada	1,973E-02	1,973E+01	25	Líquido	-
EFT22	Efluente del enjuague 4 tipo cascada	1,973E-02	1,988E+01	25	Líquido	-
MFM12	Manija en estado 12		2,504E+01	25	Sólido	-
F23	Ácido Sulfúrico Neutralizado 2	2,266E-05	4,169E-02	25	Sólido	-
F23.1	Agua para neutralizado 2	3,670E-03	3,670E+00	25	Líquido	-
EFT23	Efluente del neutralizado 2	3,693E-03	3,726E+00	25	Líquido	-
MFM13	Manija en estado 13		2,504E+01	25	Sólido	-
F24	Agua para Enjuague 5	9,866E-03	9,866E+00	25	Líquido	-
EFT24	Efluente del enjuague 5	9,866E-03	9,944E+00	25	Líquido	-

**Tabla 17. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en las corrientes 16 y 17**

Proceso IV					
Etapa 16			Etapa 17		
Desengrase por inmersión			Enjuague 1		
EFT16	pH	1	EFT17	pH	6
Compuesto	ppm	g/manija	Compuesto	ppm	g/manija
Cu	1,390	2,9985E-06	Cu	0,74	7,2602E-06
Zn	687,728	1,4835E-03	Zn	6,58	6,4559E-05
Ni	0,485	1,0466E-06	Ni	5,65	5,5466E-05
Al	29,391	6,3398E-05	Al	0	0
Cianuros	0,035	7,5497E-08	Cianuros	0	0
Aceites y grasas	183,000	3,9474E-04	Aceites y grasas	159,96	1,5695E-03
Otros	3673,275	7,9234E-03	Otros	1907,07	1,8712E-02
Otros	Sustancias orgánicas y sales.				

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**Tabla 18. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en las corrientes 18 y 19**

Proceso IV					
Etapa 18			Etapa 19		
Neutralizado I			Enjuague 2 Cascada		
EFT18	pH	1	EFT19	pH	5
Compuesto	ppm	g/manija	Compuesto	ppm	g/manija
Cu	0,80	4,23294E-06	Cu	0,86	1,6950E-05
Zn	194,26	1,0255E-03	Zn	32,56	6,3890E-04
Ni	6,68	3,52553E-05	Ni	4,80	9,4283E-05
Al	0	0	Al	0	0
Cianuros	0,01	6,33471E-08	Cianuros	0,0080	1,5698E-07
Aceites y grasas	146,52	7,7347E-04	Aceites y grasas	143,55	2,8168E-03
Otros	2065,66	1,0904E-02	Otros	36378,22	7,139E-01
Otros	Sustancias orgánicas y sales.				

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**Tabla 19. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en las corrientes 22 y 23**

Proceso IV					
Etapa 22			Etapa 23		
Enjuague 4 Cascada			Neutralizado II		
EFT22	pH	10	EFT23	pH	1
Compuesto	ppm	g/manija	Compuesto	ppm	g/manija
Cu	215,02	4,2425E-03	Cu	24,74	9,1350E-05
Zn	1,36	2,6810E-05	Zn	15,20	5,6116E-05
Ni	6,82	1,3465E-04	Ni	146,55	5,4118E-04
Al	0,00	0	Al	0,00	0
Cianuros	76,60	1,5114E-03	Cianuros	46,50	1,7172E-04
Aceites y grasas	141,91	2,8000E-03	Aceites y grasas	135,91	5,0190E-04
Otros	6938,29	1,3690E-01	Otros	3556,84	1,3135E-02
Otros	Sustancias orgánicas y sales				

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**Tabla 20. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en las corrientes 24 y 27**

Proceso IV					
Etapa 24			Etapa 27		
Enjuague 5			Enjuague 7 cascada		
EFT24	pH	3	EFT27	pH	4
Compuesto	ppm	g/manija	Compuesto	ppm	g/manija
Cu	6,68	6,5943E-05	Cu	0	0
Zn	0,70	6,9548E-06	Zn	0,59	1,3040E-05
Ni	47,85	4,7207E-04	Ni	349,70	7,7831E-03
Al	0,00	0	Al	0	0
Cianuros	38,04	3,7528E-04	Cianuros	0,07	1,6247E-06
Aceites y grasas	122,45	1,2080E-03	Aceites y grasas	113,04	2,5158E-03
Otros	7764,27	7,6598E-02	Otros	2696,60	6,0016E-02
Otros	Sustancias orgánicas y sales.				

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

**Tabla 21. Caracterización de los efluentes generados en el proceso IV en la corriente 28**

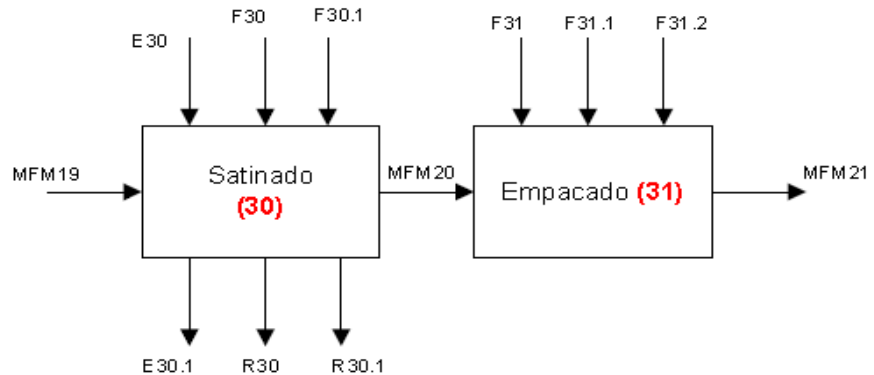
Proceso IV		
Etapa 28		
Enjuague 8		
EFT28	pH	7
Compuesto	ppm	g/manija
Cu	0	0
Zn	2,9869	1,3726E-05
Ni	21,6174	9,9339E-05
Al	0	0
Cianuros	0,1200	5,5144E-07
Aceites y grasas	135,9100	6,2455E-04
Otros	839,366	3,8572E-03

Fuente: Empresa Fantaxias S.A.S

### Etapa V. Embalaje de la Manija

**Figura 20. Proceso V, embalaje de la manija**

Ei: Energía  
 MFMi: Manija de Ferrería para Muebles  
 Fi: Insumo  
 Ri: Residuo sólido  
 (#): Etapa



**Tabla 22. Corrientes de entrada y salida de la etapa V del proceso**

<b>Flujo</b>	<b>Descripción</b>	<b>L/manija</b>	<b>g/manija</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Estado</b>	<b>kJ/manija</b>
MF19	Manija en estado 19	-	25,068	25	Sólido	-
E30	Energía Satinado	-	-	-	-	20,163
F30	Felpa	-	0,005	25	Sólido	-
F30.1	Pasta para Satinar	-	3,567	25	Sólido	-
R30	Residuo Felpa	-	0,005	25	Sólido	-
E30.1	Energía útil + Energía disipada en Satinado	-	-	-	-	20,163
R30.1	Residuo pasta para Satinar	-	3,567	25	Sólido	-
MF20	Manija en estado 20	-	25,068	25	Sólido	-
F31	Bolsa de polipropileno	-	0,521	25	Sólido	-
F31.1	Caja de cartón	-	1,100	25	Sólido	-
F31.2	Tomillo hierro galvanizado	-	3,982	25	Sólido	-
MF21	Manija en estado 21 + Empaque	-	29,571	25	Sólido	-

## **4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO**

### **4.1 PERFIL MEDIOAMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MAMU**

El inventario levantado a través del desarrollo metodológico fue cargado al software SimaPro vr. 7.1, todo normalizado a la unidad funcional de 1 manija de ferretería. La metodología de cargue inició con la estructuración del árbol de proceso basada en definición de sub-ensamblajes, uno para cada etapa del proceso productivo de obtención de la MAMU (véase cuadros azules) en la figura 20.

En un primer paso se hace una corrida de la valoración ambiental del sistema producto (MAMU) con el fin de obtener un perfil medio-ambiental general, donde sea posible identificar aquellos sub-ensamblajes del proceso donde se concentra el mayor impacto ambiental, para luego explorar con mayor detalle y profundidad los sub-ensamblajes y procesos que lleven la mayor carga ambiental.

Para este fin se acude generalmente a un método que permita calcular un indicador único que marque en el árbol de procesos líneas de Sankey relativas al flujo de impacto ambiental total. En este caso, se utilizó el método EDIP 2003 que tiene un indicador único, constituido por impactos locales y globales, que enfatiza los impactos relacionados con toxicidad, ponderado de tal forma que los impactos locales se hacen relevantes en el estudio, lo cual es fundamental para el tipo de sistema producto que se está analizando.

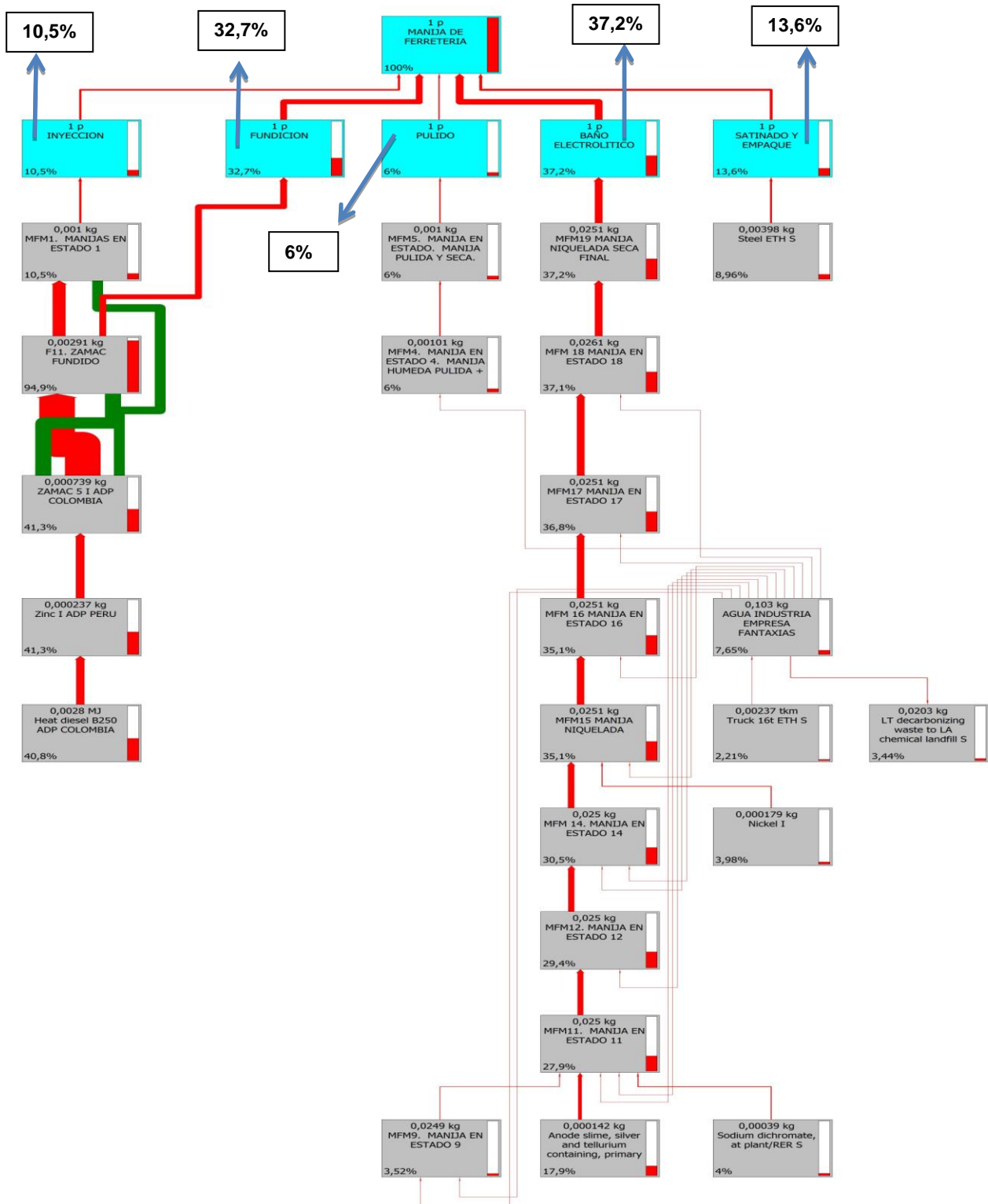
Con el fin de facilitar la presentación del árbol de proceso, la interpretación y análisis de los resultados, en el proceso de obtención de la MAMU se agruparon en una sola las etapas que son realizadas dentro de un mismo equipo o que presentan alguna afinidad, con base en lo anterior se presenta la tabla 23.

**Tabla 23. Etapas finales agrupadas consideradas en la evaluación del impacto ambiental potencial.**

MONTAJE	SUBPROCESO / ETAPA
Diseño y elaboración del molde	Fresado
	Pulidos
	Temple
	Mecanizado
	Rectificado
Inyección y Fundición	Inyección del zamac
	Fundición del zamac
Pulido	Pulimento I
	Montaje
	Pulimento II
	Secado
Recubrimiento electrolítico	Desengrase
	Enjuagues
	Decapado y Neutralizado
	Cobrizado
	Niquelado
	Secado
Satinado y empaque	Empaque plástico
	Empaque en cajas
	Satinado de la manija
	Inclusión del tornillo

Para cada etapa final agrupada se creó una nueva corriente que incluye los datos del inventario ambiental de cada una de las etapas individuales que la conforman. En la figura 21 se muestra el árbol de proceso global obtenido con corte de visualización al 2%. Con el fin de facilitar la captura y lectura en este documento de los árboles de proceso generados por SimaPro, se trabajaron con valores de corte diferentes al 0%, cuyo valor dependerá de la complejidad del árbol generado.

Figura 21. Árbol global de proceso con corte de visualización al 2%



Fuente: Método EDIP 2003

En la tabla 24 se presenta el valor porcentual de la carga ambiental obtenido en el árbol global de proceso para cada uno de los subprocesos evaluados.

**Tabla 24. Cargas ambientales del proceso general de obtención de la MAMU**

ETAPA	% CARGA AMBIENTAL
Moldeo	0,037%
Inyección	10,5%
Fundición	32,7 %
Pulido	6%
Baños electrolíticos	37,2 %
Satinado y empaque	13,6%

Los resultados de este primer análisis se detallan en la Tabla 24, en la cual se presenta el valor porcentual de la carga ambiental obtenido del árbol del proceso. Aquí se puede observar, que el 37,2% de la carga ambiental corresponde al proceso de baños electrolíticos, seguido del proceso de fundición con un 32,7%.

Los productos o servicios externos aportan carga ambiental por el tipo de combustible usado en el transporte de materias primas e insumos. Dado que Fantaxias S.A.S no tiene control directo sobre este factor, una alternativa que se recomendaría a la empresa sería que utilizara proveedores ubicados lo más cerca de Bucaramanga lo que llevaría a una disminución significativa del uso de combustibles en los vehículos.

Las etapas de los baños electrolíticos aportan una contribución de 37,2 % a la carga ambiental total. De esta carga, el 27,9% se genera en la etapa de cobrizado, por el uso de las sales cianuradas de cobre y de sodio y, además, porque previamente la MAMU ha sido enjuagada ácido sulfúrico; este porcentaje de la carga ambiental aumenta al 35,1% una vez pasa la MAMU a la siguiente fase del proceso “níquelado”, en donde también se emplean, químicos como el sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico.

En términos de fundición de la manija, se podría pensar que el uso y la recirculación del zamac es el mayor aportante de carga contaminante, sin embargo, dentro de este estudio no se tuvo en cuenta el proceso que se lleva a cabo en la obtención de esta materia prima.

Las mayores cargas ambientales corresponden a los procesos de baños electrolíticos 37,2%, fundición del zamac con el 32,7% y del proceso de satinado y empaque con un 13,6% de las cargas totales del proceso realizado en la planta de producción de Fantaxias S.A.S. El 13,6% de la contribución total de la carga contaminante se da en el proceso de satinado y empaque de la manija teniendo como el mayor aportante con el 8,96% el material del tornillo que se le incluye a la MAMU para ser comercializada; sin embargo, el proceso de obtención de dicho tornillo no se tuvo en cuenta debido a que no es realizado por la empresa Fantaxias S.A.S.

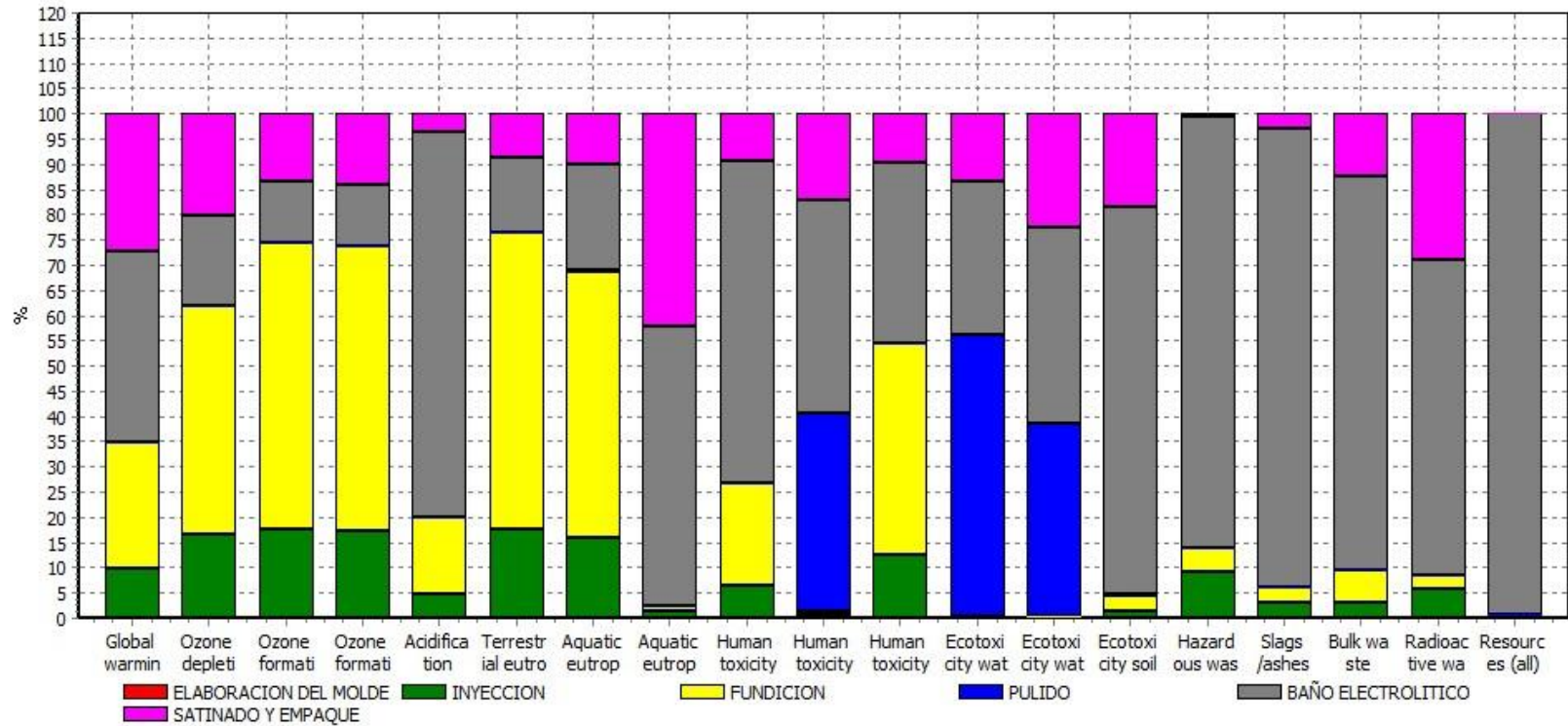
Con base a lo anterior, en el proceso de obtención de la MAMU toda la carga ambiental está asociada al uso de sustancias químicas dentro del proceso de los baños electrolíticos, básicamente en la etapa del cobrizado de la MAMU, de la cantidad de Zamac utilizado en el proceso de fundición y del material con el que se asumió estaba elaborado el tornillo que se adiciona a la pieza terminada para su comercialización.

## **4.2 DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES**

**4.2.1 Análisis de caracterización y ponderación.** La caracterización tiene como propósito confirmar el perfil medio ambiental, al tiempo que permite visualizar los impactos más relevantes en cada uno de los sub-ensamblajes o sub-procesos considerados en el árbol de procesos.

En la figura 22, se observa que la etapa de baños electrolíticos en el proceso de obtención de la MAMU es el proceso que aporta el mayor porcentaje de contribución para cada una de las categorías de impacto evaluadas, seguida de la fundición y del satinado y empaque de la MAMU. El escenario muestra que la etapa de elaboración del molde, presenta un mínimo impacto y no es visible en las categorías de impacto consideradas.

Figura 22. Caracterización de Impactos ambientales potenciales



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

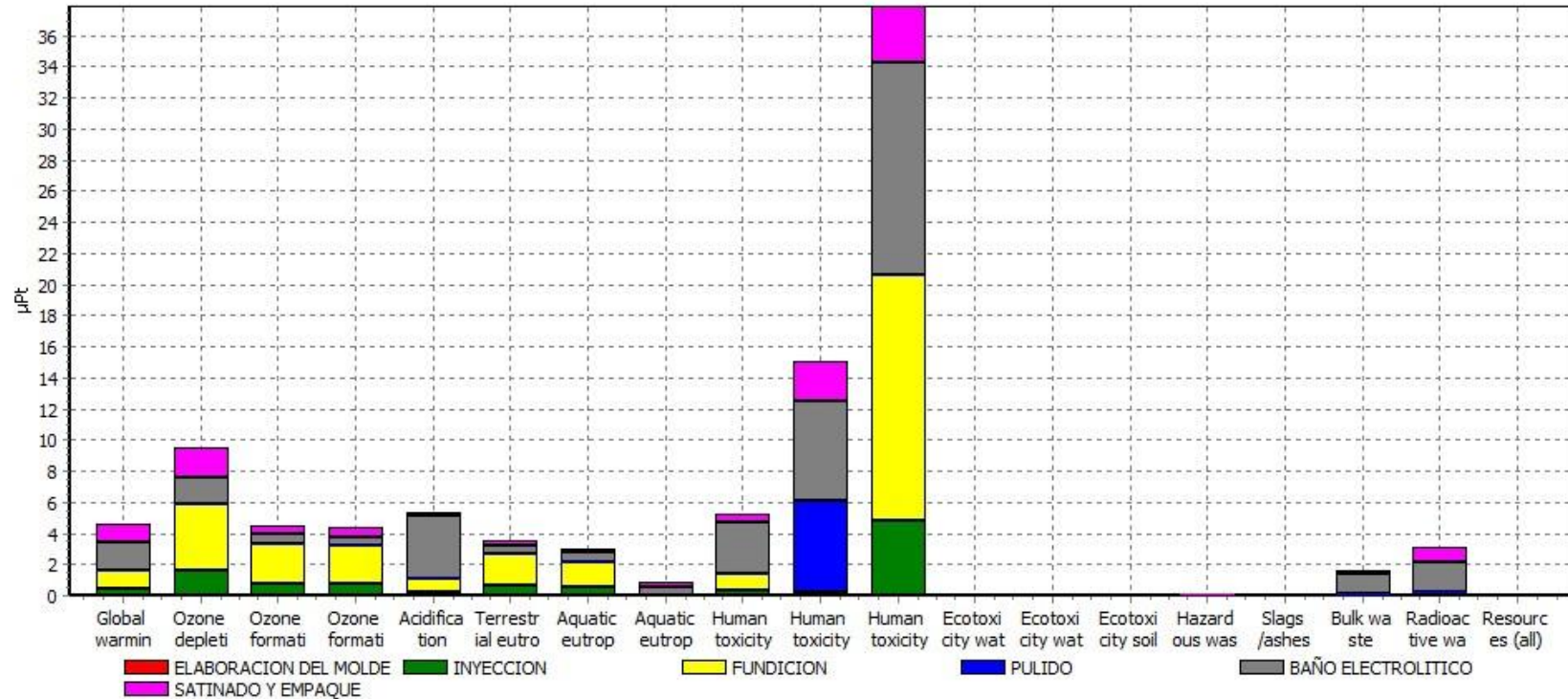
Fuente: Método EDIP 2003

Las categorías con mayor impacto en cada uno de los procesos se presentan en la tabla 25.

**Tabla 25. Categorías con mayor impacto en cada una de las etapas de obtención de la MAMU.**

ETAPA	Categoría impactada
Elaboración del Moldeo	Despreciable
Inyección	Calentamiento global, agotamiento de ozono, formación de ozono, eutrofización terrestre y acuática, toxicidad humana.
Fundición	Calentamiento global, agotamiento de ozono, formación de ozono, eutrofización terrestre y acuática, toxicidad humana y acidificación.
Pulido	Toxicidad Humana, ecotoxicidad del agua.
Baños electrolíticos	Todos las categorías, pero en mayor relevancia: Acidificación, eutrofización terrestre, toxicidad humana, ecotoxicidad del suelo, residuos peligrosos, residuos voluminosos, residuos radioactivos
Satinado y empaque	Calentamiento global, eutrofización acuática, agotamiento ozono y residuos radiactivos.

Figura 23. Ponderación de Impactos ambientales



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / ponderación

Fuente: Método EDIP 2003

Por su parte la figura 23, concerniente a la ponderación de impactos sugiere que el análisis debe enfocarse en las siguientes categorías de impacto: acidificación, toxicidad humana en el suelo, toxicidad humana en el agua, residuos calentamiento global y agotamiento de ozono, siendo el proceso de baños electrolíticos de la MAMU el de mayor impacto en todas las categorías, seguido del proceso de fundición. La categoría desechos radioactivos se descarta del estudio, porque generalmente es un marcador que aparece en todo procesamiento de minerales como resultado de la fase de extracción de las materias primas, por la liberación de radón de la corteza terrestre.

La acidificación se ve afectada por todas los subprocesos que se llevan a cabo en los baños electrolíticos y en el proceso de fundición, ya que está asociado al consumo de energía eléctrica y de combustibles; para el caso del presente estudio corresponde a gas domiciliario (gas natural, distribuido por Gasorient – Bucaramanga) en la fundición del Zamac y uso de combustible Diesel en el transporte del Zamac. Cabe anotar que el proceso de generación de energía eléctrica impacta no sólo en las categorías relacionadas con emisiones al aire sino también con las categorías del recurso agua (eutrofización acuática N), debido posiblemente a que, en Colombia la producción de energía eléctrica está dado principalmente por hidroeléctricas, por lo cual se puede atribuir que hay una contribución a calentamiento global por este concepto.

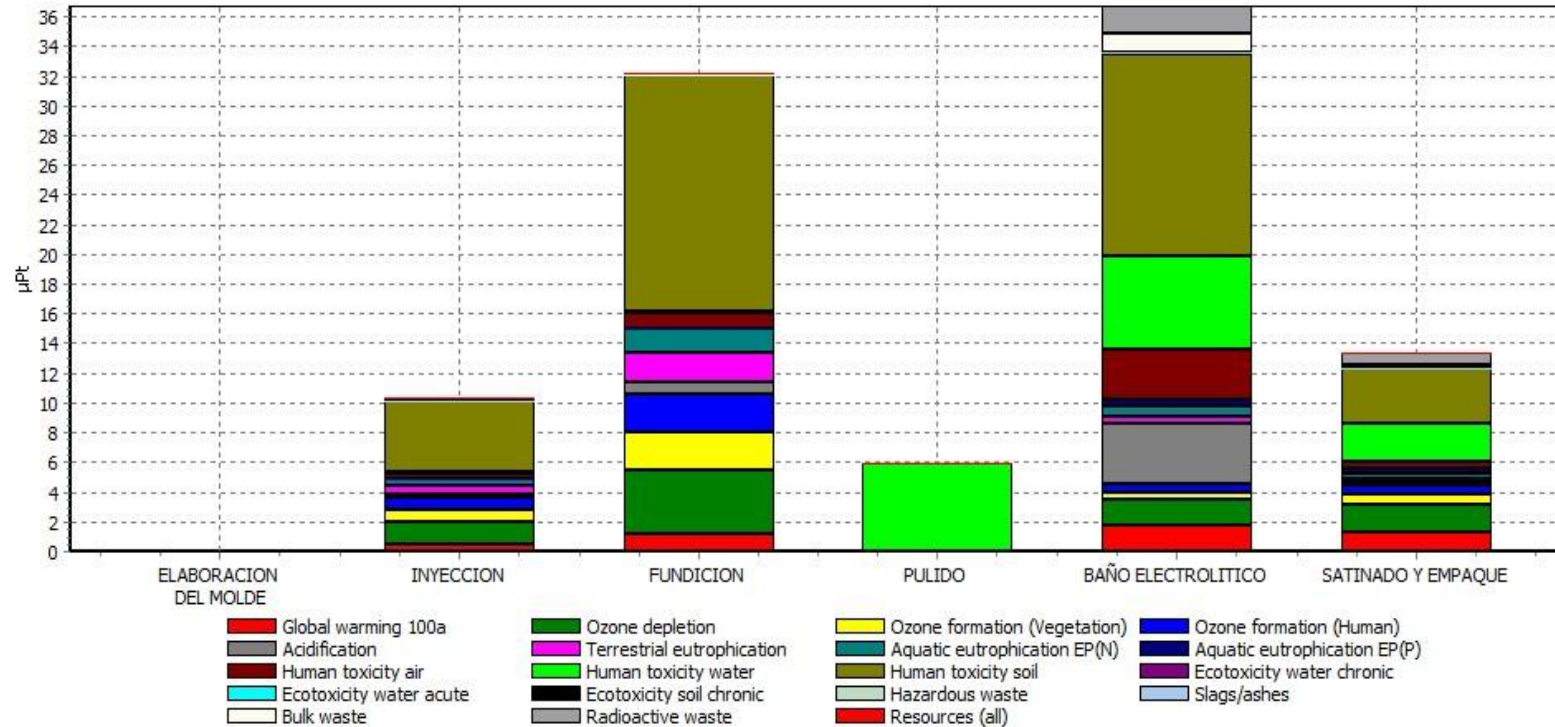
En la categoría de toxicidad humana en agua el mayor aportante es el uso de las sustancias químicas en cada uno de los lavados en los baños electrolíticos como ácido sulfúrico, lo que puede deberse a las descargas durante la operación del proceso y a la necesidad de tratamiento de las aguas residuales antes de su entrega al alcantarillado del acueducto de Bucaramanga.

En la categoría de toxicidad humana en suelo el mayor aportante es el uso de gas natural, seguida por el uso en la etapa de recubrimientos de cianuro de cobre y cianuro de sodio, lo que puede deberse a las descargas durante la operación del proceso y producción de las sustancias químicas. La aparición de un impacto no despreciable y, por el contrario, muy significativo por desechos radiactivos, se encuentra principalmente fuera de las fronteras del proceso productivo y se debe al material con el cual se definió el tornillo que se le adiciona a la MAMU terminada para la comercialización.

En la figura 24 se presenta el análisis de contribución de cada subsistema o montaje secundario al impacto ambiental potencial y la discriminación de ese aporte en categorías de impacto ambiental.

Se puede observar que las categorías de impacto más relevantes para el presente estudio son las de toxicidad humana en el suelo, calentamiento global, toxicidad humana en el agua, acidificación y agotamiento de ozono, siendo las etapas de los baños electrolíticos y de fundición, el de mayor impacto en cada una de las categorías. Para las categorías de impacto: ecotoxicidad crónica y aguda en agua y ecotoxicidad crónica en suelo el aporte en carga ambiental fue de cero.

Figura 24. Análisis de contribución



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / puntuación única

Fuente: Método EDIP 2003

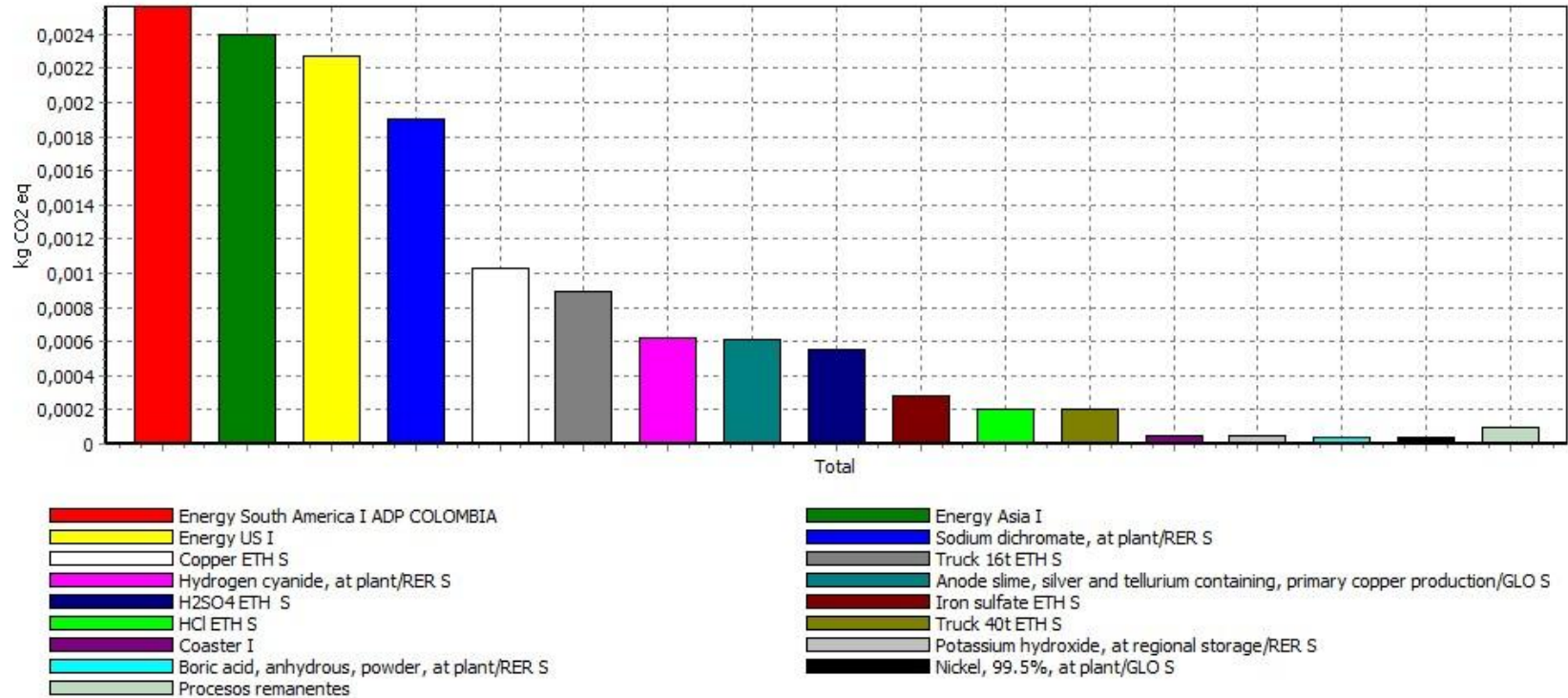
De la figura 25 a la 30 se presenta los perfiles medioambientales o análisis de contribución de procesos unitarios en las categorías con mayor impacto ambiental.

Según la figura 25, el mayor aporte de contribución del calentamiento global está dado por el uso de energía eléctrica del sistema interconectado colombiano. En las figuras 26, 27 y 28 se observa que el gran porcentaje de contribución para la acidificación, para la toxicidad humana en el suelo y toxicidad humana en el agua está relacionada por los químicos empleados en los baños electrolíticos, entre los que se tiene: uso de compuestos a base de níquel, de cobre y ácido sulfúrico y los vertimientos de las aguas residuales generadas en este proceso al alcantarillado de Bucaramanga, sin tratamiento previo.

Las principales emisiones hechas al ambiente por el proceso de fundición para la contribución a la eutrofización se deben a los altos porcentajes de metano, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono.

En cuanto a las sustancias químicas como ácido clorhídrico y sulfato de hierro y dicromato de sodio presentes en las figuras 25, 26, 27 y 28 es importante mencionar que son sustancias químicas que hacen parte de la composición de los diferentes insumos del proceso de obtención de la MAMU. Para este caso el HCl y Sulfato de Hierro hacen parte de la composición del agua del escenario creado en el software para el agua que emplea la empresa Fantaxias S.A.S en los diferentes procesos. Adicionalmente, para el dicromato de sodio presente en la figura 27, se asume que está relacionada con alguna de las sustancias empleadas en el proceso y las cuales se tomaron del banco mundial de producción representado por los procesos contenidos en Ecoinvent sin crear modificaciones o variantes específicas para este proyecto.

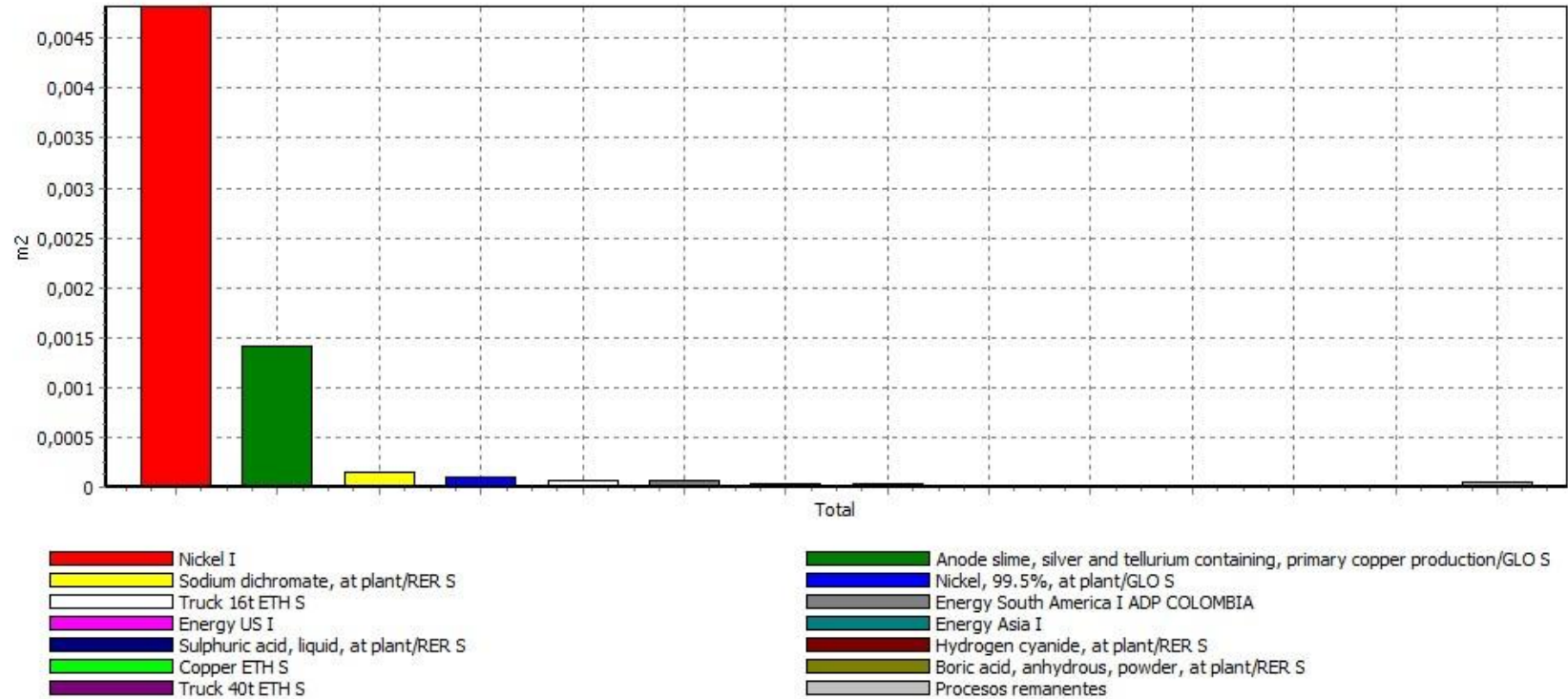
**Figura 25. Perfil medioambiental para el calentamiento global**



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

**Fuente:** Método EDIP 2003

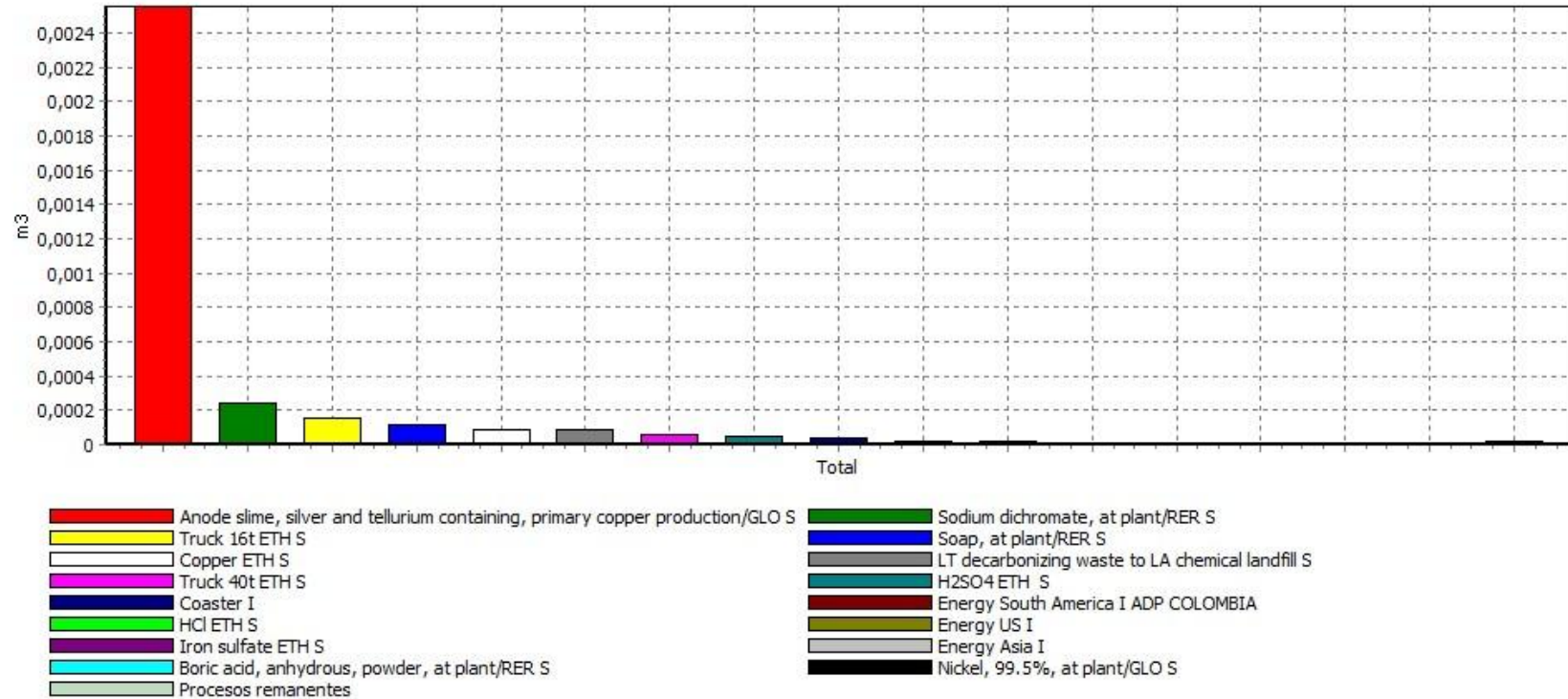
**Figura 26. Perfil medioambiental para acidificación**



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

Fuente: Método EDIP 2003

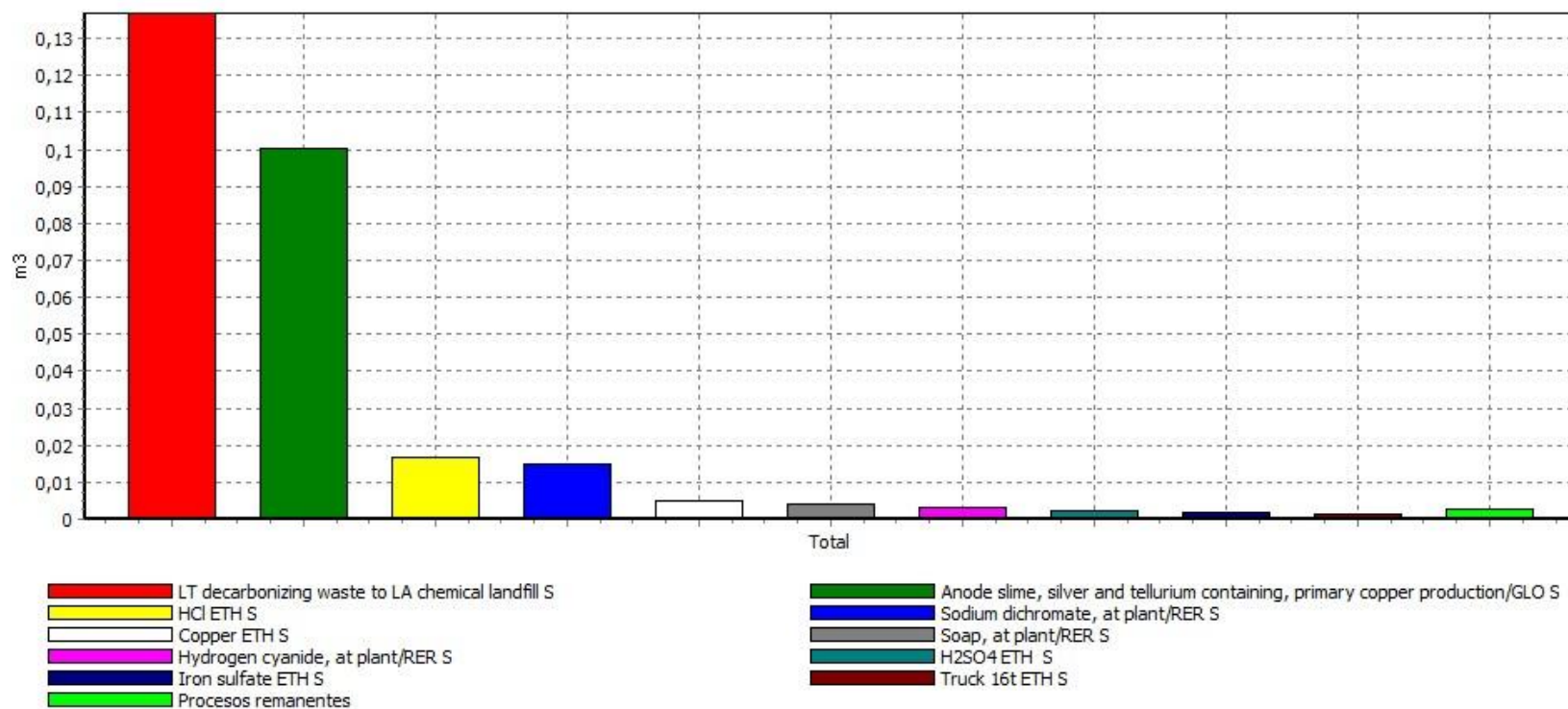
**Figura 27. Perfil medioambiental para toxicidad humana en el suelo**



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

Fuente: Método EDIP 2003

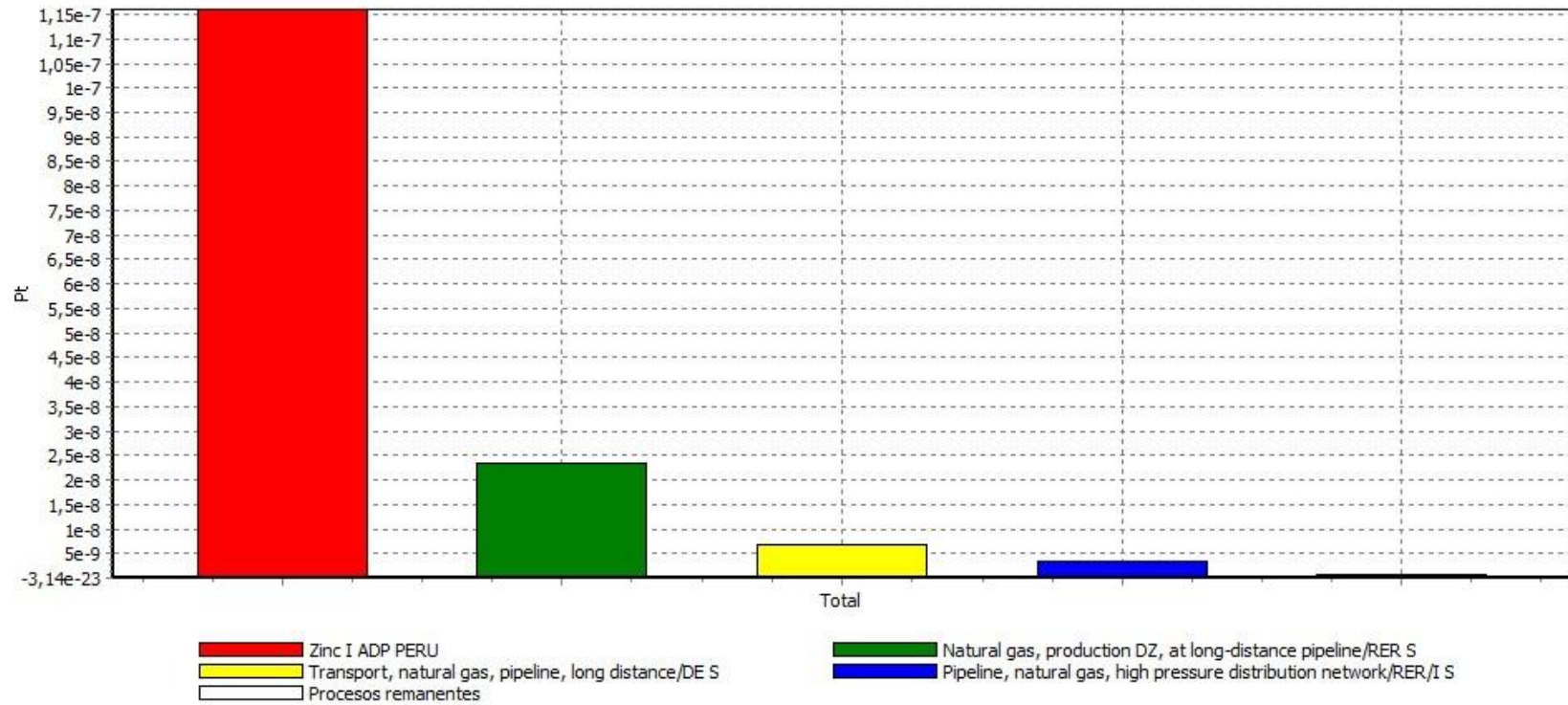
**Figura 28. Perfil medioambiental para toxicidad humana en el agua**



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

Fuente: método EDIP 2003

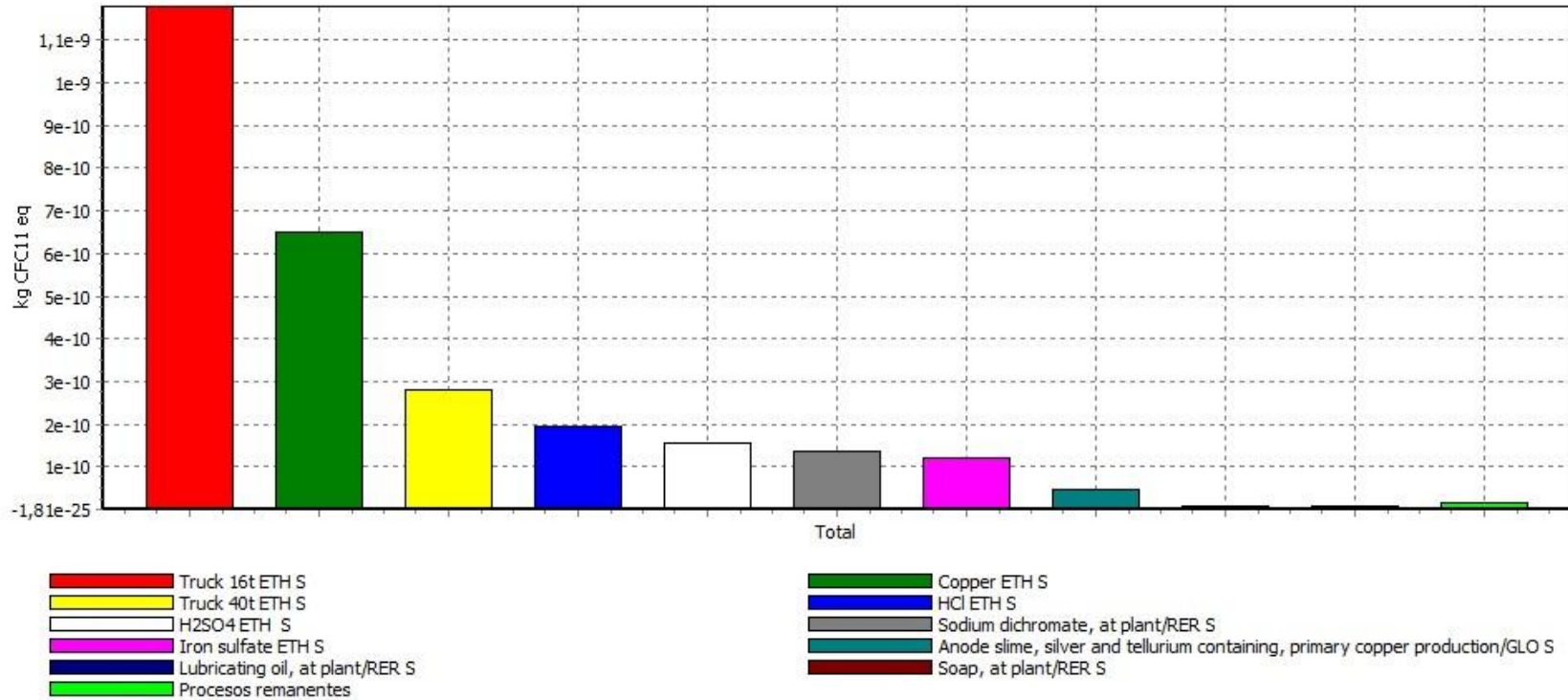
**Figura 29. Perfil medioambiental para eutrofización terrestre**



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / ponderación

Fuente: método EDIP 2003

**Figura 30. Perfil medioambiental para agotamiento de ozono**



Analizando 1 p (MANIJA DE FERRETERIA); Método: EDIP 2003 V1.01 / Default / Caracterización

Fuente: método EDIP 2003

## 5. INTERPRETACIÓN DEL ESTUDIO Y CONCLUSIONES

Este trabajo contribuye en la identificación de que la etapa del proceso de fabricación de la manija para mueble que representa la mayor carga ambiental para la empresa Fantaxias S.A.S, es la etapa de baños electrolíticos (37,2%), a partir de baños alcalinos cianurados y de sales de níquel (sulfatos y cloruros), seguido por el proceso de fundición (32,7%) a partir del zamac.

El proceso de fundición representa un alto porcentaje de carga contaminante dentro del proceso productivo de la MAMU. Mostrando que el mayor aporte lo hace el zamac usado como materia prima para obtención de la manija para mueble; sin embargo, dentro de este estudio no se tuvo en cuenta la cadena de fabricación y suministro completa para este producto.

El proceso de empaque de la manija para mueble terminada representa una carga ambiental del 13,6%; este aporte se debe al tornillo que se le adiciona a la pieza para su comercialización. Sin embargo, es importante mencionar que dentro de este estudio, no se realizó la evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención del tornillo.

El perfil medioambiental elaborado para la fundición MAMU empleando como materia prima el zamac indica que las entradas con mayor impacto ambiental son el uso del Zamac, el consumo de energía y de combustible (gas natural). Las categorías de impacto sensitivas a este proceso son el calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, formación de la capa de ozono, eutrofización terrestre y acuática. Este impacto ambiental es debido a las emisiones y a la acidificación. Las emisiones por combustión del gas natural en el horno de fundición (CO<sub>2</sub>: 106.909 ppm, CH<sub>4</sub>: 14,8 ppm, NO: 72,2 ppm, Dióxido de Nitrógeno: 3,8 ppm, SO<sub>2</sub>: 434,5 ppm y CO: 9.333,3 ppm) y las del combustible empleado para el transporte del Zamac. Estas emisiones tienen efectos negativos

en el suelo, acuíferos, aguas superficiales, microorganismos, ecosistemas y bienes materiales, en general.

El impacto ambiental potencial generado por el proceso de fabricación de la manija para muebles en Fantaxias S.A.S. está relacionado con las categorías: *eutrofización acuática, toxicidad humana, acidificación, toxicidad humana en el suelo, toxicidad humana en el agua, ecotoxicidad del suelo, agotamiento de la capa de ozono y calentamiento global.*

Los baños electrolíticos en el proceso de cobrizado y niquelado de la MAMU, el uso de sales cianuradas de cobre y níquel, producen efluentes con elevadas concentraciones de Cu (6,7 ppm), Zn (0,70 ppm), Níquel (47,8 ppm), Cianuros (38 ppm), valores que comparados con la normatividad colombiana (Art. 73 del decreto 1594 de 1984) está por encima del valor permisible (Cu: 3 ppm, Ni: 2 ppm, Cianuros: 1 ppm). Esta etapa del proceso impacta todas las categorías, principalmente la acidificación, eutrofización acuática, la ecotoxicidad del suelo, toxicidad humana y residuos voluminosos.

Después de identificar los principales impactos ambientales para cada una de las etapas del proceso de obtención de manija para muebles, y los problemas ambientales que se generan con cada uno estos procesos, se proponen algunas mejoras dentro del proceso de obtención de la MAMU para disminuir el impacto de su fabricación:

- **Con respecto al consumo de energía eléctrica y uso de combustibles como el gas natural y Diesel:** se propone realizar con equipo especializado la medición de la calidad de la energía (voltaje, amperaje, aislamiento del motor) con el fin de evaluar la eficiencia energética en los equipos de la planta y con base en los resultados obtenidos identificar aquellos que requieran mantenimiento o reemplazo. También se propone implementar un programa de

mantenimiento preventivo de los hornos que incluya evaluaciones periódicas del comportamiento de los quemadores, estado del material aislante, análisis de gases de chimenea, revisión del sistema de control de temperatura del zamac, entre otros.

Todas las acciones encaminadas al mejoramiento del uso de la energía, repercutirán positivamente en el medio ambiente, ya que al disminuir el consumo de combustible, se disminuirá considerablemente las pérdidas energéticas y las emisiones atmosféricas, logrando así un entorno más saludable.

- **Con respecto al consumo de agua y manejo de efluentes en los baños electrolíticos:** Se propone realizar un tratamiento previo a las aguas residuales producidas durante los baños electrolíticos antes de ser vertidas al alcantarillado de Bucaramanga y analizar el escenario expandiendo las fronteras del sistema de estudio, con el fin de establecer una comparación entre el escenario actual (sin tratamiento de las aguas) y el escenario alternativo (con tratamiento de aguas).

Para el tratamiento de las aguas se sugiere remover las concentraciones de metales pesados y cianuros en estos efluentes, este último, se puede realizar empleando la técnica de oxidación de cianuros por cloración alcalina, la cual permite eliminar los iones cianuros presentes en estas aguas, consiguiendo niveles permisibles por la normatividad ambiental colombiana. Para la remoción de metales se recomienda el tratamiento de los efluentes por precipitación química mediante el uso de sulfato de aluminio como agente floculante, adicionalmente contribuye en la sedimentación de los precipitados, facilitando de esta manera la separación de los mismos. No obstante, estos tratamientos generarán la precipitación de lodos fisicoquímicos cuyo manejo también debería ser incluido en el estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

A. MUÑOZ, P. Sheng. *An analytical approach for determining the environmental impact of machining processes*. Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, USA. *Journal of Materials Processing Technology*, Volumen 53, 1995, p 736-758.

AFRICANO, L y PINZÓN R. *Tratamiento descontaminante de los afluentes generados en el proceso de refinación de oro con ácido nítrico*. Trabajo fin de carrera. Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2004.

AMADO, D. y GUTIERREZ, Z. *Evaluación técnica para la recuperación y reutilización de las aguas residuales industriales de la empresa Fantaxias S.A.S por resinas de intercambio iónico*. Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander. 2006.

ANDREWS, E; BARTHEL, L. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. *United Nations Environment Programme*, 2009.

*Aplicación del Análisis del Ciclo de Vida a productos del sector metal-mecánico*. AIMME, Instituto Tecnológico Metal-Mecánico, 2008.

AVILA, O. y SUAREZ, J. *Análisis de ciclo de vida e integración del proceso de producción de bioetanol de segunda generación a partir del bagazo de caña*. Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química, 2010.

BALLESTEROS, E. y MONSALVE, R. *Diseño de alternativas para la oxidación de cianuros y remoción de metales presentes en los efluentes de la empresa de electrorrecubrimientos Fantaxias S.A.S.* Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander. 2007.

CHACON, J. *Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV).* Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 72, Octubre-Diciembre 2008.

CORREA, E. CHAMBOULEYRON, M. PATTINI, A. *Resultados de la certificación ambiental en Argentina. Análisis de ciclo de vida de un mueble de madera fabricado bajo norma iso 14001 y certificación ambiental fsc.* ASEDES (Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente), 2004.

Decreto 1594 de 1984. Ministerio de Agricultura. República de Colombia.

FINNVEDEN G, HAUSCHILD M, EKVALL T, GUINEE J, HEIJUNGS R, HELLWEG S, et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 2009, p. 1-21.

GARCÍA, J. RODRÍGUEZ, A. HERRERA, I. *Análisis de ciclo de vida de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales.* Publicación del Centro de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México, 2010.

GARCIA, L. *ACV en la aplicación de energías renovables en el ciclo urbano del agua.* Departamento de Física e ingeniería Nuclear, 2008.

GARRAÍN, D. HERRERA, I. LAGO, C. LECHÓN, Y. SÁEZ R. *Viabilidad medioambiental del co-procesamiento de aceites vegetales en unidades de hidrotreatmento para obtener biocarburantes mediante ACV.* Artículo del

CIEMAT – Dpto. Energía – Ud. Análisis de Sistemas Energéticos, Madrid (España), 2010.

GARRAÍN, D. HERRERA, I. LAGO, C. LECHÓN, Y. SÁEZ, R. *Asignación energética de los consumos de energía y emisiones de productos petrolíferos en refinería en el marco del ACV*. Revista del CIEMAT – Dpto. Energía – Ud. Análisis de Sistemas Energéticos, Madrid (España), 2010.

GORDILLO, G. y VALERO, R. *Evaluación de pérdidas energéticas en la planta de fundición de la Empresa de Herrajes Fantaxias S.A.S.* Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander 2005. .

GUERRERO, A. y ROMERO, L. *Evaluación de la Carga Contaminante de las Vertientes Líquidas de la Empresa de Herrajes Fantaxias S.A.S.* Trabajo fin de carrera. Universidad Industrial de Santander 2006. Tesis de Pregrado.

*Guía nacional de producción más limpia. Guía de producción más limpia para el sector de electrorrecubrimientos electrolíticos en Colombia.* Publicación de la Universidad Pontificia Bolivariana. Grupo de estudios ambientales.

[http://icta.uab.es/ECOTECH%20/info\\_day\\_september\\_2011/Jornada%20ACV\\_BdD\\_CIAMAT\\_Yolanda%20Lechon.pdf](http://icta.uab.es/ECOTECH%20/info_day_september_2011/Jornada%20ACV_BdD_CIAMAT_Yolanda%20Lechon.pdf).

Instituto Tecnológico Metalmecánico AIMME, *Proyecto de Aplicación del análisis de ciclo de vida a productos del sector metalmecánico*. Diciembre de 2008.

*International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol 5, 2000, p 317-318.

ISO 14.040: 1997. *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. International Standard Organization.

ISO 14041: 1998 (E). *Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis*. International Standard Organization.

ISO 14042: 2000 (E). *Environmental management – Life cycle assessment – life cycle impact assessment*. International Standard Organization.

ISO 14043: 2000 (E). *Environmental management – Life cycle assessment – life cycle interpretation*. International Standard Organization.

ISO 14044: 2006. *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines*. International Standard Organization.

LECHÓN, Y. CABAL, H. SÁEZ, R. *Life cycle greenhouse gas emissions impacts of the adoption of the EU Directive on biofuels in Spain. Effect of the import of raw materials and land use changes*. Biomass and Bioenergy 35, Issue 6, pp.2374-2384 (2011).

*Manual demo SimaPro 6*. PRé Consultants, 2004.

MEMARY, R. GIURCO, D. MUDDB, G. MASON, L. *Life cycle assessment: a time-series analysis of copper*. Instituto de Futuros Sostenibles de la Universidad de Tecnología, Sydney, Australia, 2007.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS. *Agentes químicos*, 2004.

Randa Group S.A. Empresa especializada en Consultoría Ambiental, Gestión de Riesgos y Previsión Social, 2003. <http://www.randagroup.es/esp/sw/sw2.htm#real>

ROMERO, B. *El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental*. Publicación revista Tendencias Tecnológicas. Boletín IIE, julio-septiembre del 2003.

SAAVEDRA, J. VARGAS, O. *Estimación del impacto ambiental del cultivo de Caña de Azúcar utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)*. Revista de la Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, 2000.

SWART, P. DEWULF, JO. *Quantifying the impacts of primary metal resource use in life cycle assessment based on recent mining data*. Grupo de Investigación EnVoc, Universidad de Ghent, Belgica, 2010.

VANDER WERF H, KANYARUSHOKI C, CORSON M. *An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment*. Journal of Environmental Management, 90(11), 2009.

ZUO-REN Nie, FENG Gao, XIAN-ZHENG Gong, ZHI-HONG Wang, TIE-YONG Zuo, *Recent progress and application of materials life cycle assessment in China*, College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China, 2010.