

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Análisis de Ciclo de Vida en la Manufactura
de Escapes Automotrices**

**Que para obtener el GRADO de
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD**

**Presenta:
Karen Bibiana Chang Martínez**

1942
Directora de Tesis:

Dra. Nora Elba Munguía

HERMOSILLO, SONORA

Febrero, 2016

Universidad de Sonora

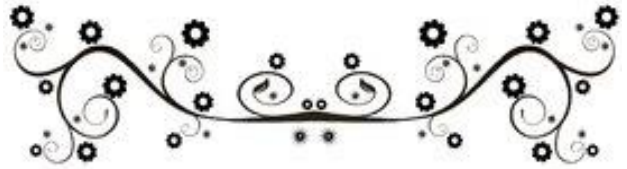
Repositorio Institucional UNISON



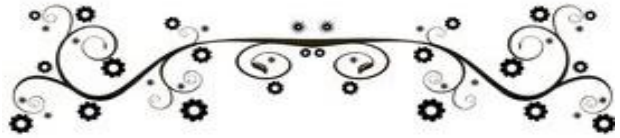
“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



*Este trabajo se lo dedico
A mis padres Alfonso y Martha,
Por su incondicional apoyo y comprensión,
A mis hermanos que han aconsejaron,
A Araceli Andablo y Bertha Chang,
Que me apoyaron durante este proceso,
A toda mi familia y amigos,
Que me acompañaron y alentaron.*



*"Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en
el bello y maravilloso mundo del saber."*

Albert Einstein



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Universidad de Sonora
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Posgrado en Sustentabilidad
Maestría en Sustentabilidad
Especialidad en Desarrollo Sustentable

Hermosillo, Sonora a 02 de Febrero del 2016

Dra. Nora Elba Munguía Vega
Coordinadora de Programa
Maestría en Sustentabilidad
Presente.-

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el examen de posgrado del alumno (a) Karen Bibiana Chang Martínez con Expediente 214190028, el cual será el día 02 de Febrero del 2016 en el aula 102, Edificio 5R, a las 10:00 horas.

Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dra. Nora Elba Munguía	
SECRETARIO:	C a Dr. Florencio Rafael Pérez Ríos	
VOCAL:	M.I. Miguel Ángel López Arriquivez	
SUPLENTE:	Dr. Javier Esquer Peralta	

ATENTAMENTE

MIEMBROS DEL JURADO

RESUMEN

En el presente estudio se muestran los resultados de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado en una industria manufacturera de escapes automotrices en México, donde no se han encontrado estudios previos al respecto. El ACV es una herramienta de carácter sistémico que permite analizar de manera detallada las diferentes fases en la fabricación de un producto. El alcance del estudio realizado fue de “cuna a puerta” mediante la metodología desarrollada por la Plataforma Europea para la Evaluación de Ciclo de Vida, la cual se encuentra en línea con los estándares ISO 14040 y 14044. Los métodos de evaluación utilizados fueron el ReCiPe (E) y TRACI 2.1, adicionalmente se realizó un estudio de los humos de soldadura conforma de la NOM-010STPS-MX. Los resultados mostraron que las categorías con mayor impacto fueron toxicidad humana, ecotoxicidad, calentamiento global, agotamiento de metales y agotamiento de fuentes fósiles. La principal causa del impacto es ocasionado por la producción de acero y cobre. Con esta información se realizó un análisis de sensibilidad, donde se sustituyó el acero inoxidable por acero inoxidable reciclado, mediante el cual se observó una reducción significativa en todas las categorías de impacto elevadas, principalmente en la de agotamiento de metales, toxicidad marina y eco-toxicidad.

ABSTRACT

In the present study the results of a Life Cycle Assessment (LCA) applied in manufactory industry of automotive exhaust system in Mexico are submitted, there were not found previous studies on this matter. LCA is a systemic tool for analyzing in detail the different stages in the manufacture of a product. The scope of the study was "cradle to gate" using the methodology developed by the European Platform for Life Cycle Assessment, which is in line with ISO standards 14040 and 14044. The evaluation methods used were ReCiPe (E) and TRACI 2.1, also a study of welding smoke according with the NOM-010STPS-MX was performed. The results showed that the categories with the greatest impact were eco-toxicity, human toxicity, global warming, depletion of metals and depletion of fossil fuels. The main impacts are the result of the copper and steel production. Subsequently a sensitivity analysis was developed, where the stainless steel was replaced by recycled stainless steel, whereby a significant reduction in all high impact categories was observed mainly in the depletion of metals, marine toxicity and eco toxicity.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	9
II. OBJETIVO GENERAL	2
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
IV. ANÁLISIS LITERARIO	3
4.1 SUSTENTABILIDAD Y LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	3
4.1.1 El ACV como Alternativa para Industrias Automotrices de México	4
4.2 NORMATIVIDAD INDUSTRIAL: ACV.....	5
4.3 DEBILIDADES Y RETOS DEL ACV EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	6
4.4 APLICACIÓN DEL ACV EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ	8
4.4.1 Áreas Claves para la Sustentabilidad en la Industria Automotriz.	9
4.4.2 Casos de Estudio de Aplicaciones del ACV en la Industria Automotriz	10
V. METODOLOGÍA	13
5.1 TIPO DE ESTUDIO	13
5.2 DISEÑO METODOLÓGICO.....	13
5.3 ALCANCE DEL ESTUDIO.....	15
5.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	15
5.5 OBJETO DE ESTUDIO	15
5.6 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y MANEJO DE DATOS	15
VI. RESULTADOS	16
6.1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV.....	16
6.1.1 Función del sistema estudiado y descripción.....	17
6.1.2 Unidad Funcional (UF)	18
6.1.3 Sistema estudiado	19
6.1.4 Límites del sistema	22
6.1.5 Etapas excluidas del sistema	22
6.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO.....	22
6.2.1 Obtención de datos	22
6.2.2 Flujo de materiales y energía por etapa del proceso	23
6.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE CICLO DE VIDA (EICV)	27
6.3.1 Daño potencial de materiales del sub-ensamble Hot-end	28
6.3.2 Método ReCiPe	29
6.3.3 Método TRACI.....	32
6.3.4 Análisis de sensibilidad	33
6.3.4 Impacto por humos de soldadura.....	36
6.4 INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA.....	37
6.4.1 Evaluación del daño potencial mediante el método IPCC	37
6.4.2 Evaluación impacto mediante método ReCiPe.....	38
6.4.2 Evaluación impacto mediante método TRACI	41
6.4.2 Contribución al cambio climático método TRACI y ReCiPe	44
6.4.3 Análisis de sensibilidad	46
VII. DISCUSIÓN	48
VIII. CONCLUSIONES	51
IX .RECOMENDACIONES	52
X. REFERENCIAS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicación del ACV por país	6
Figura 2. Estructura de las Fases en el Análisis de Ciclo de Vida	13
Figura 3. Procedimientos para el Análisis de Inventario	14
Figura 4. Alcance del Análisis de Ciclo de un Escape automotriz	16
Figura 5. Vista horizontal del escape automotriz Brazing y sus tres principales componentes: Front end sub assy (1); Converter sub assy y Outlet cone sub assy (2); Outlet sub assy (3)	17
Figura 6. Vista frontal del Front end sub Assy del modelo Maniverter Brazing	18
Figura 7. Diagrama de flujo de la producción del sub- ensamble Hot -end.....	21
Figura 8. Caracterización de los materiales de inventarios, método IPCC	29
Figura 9. Caracterización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método ReCiPe	31
Figura 10. Normalización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método ReCiPe	31
Figura 12. Normalización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método TRACI	33
Figura 11. Caracterización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método TRACI.....	33
Figura 13. Análisis de sensibilidad durante el proceso de producción del Hot-end, Método ReCiPe	34
Figura 14. Análisis de sensibilidad durante el proceso de producción del Hot-end, Método TRACI.....	35
Figura 15. Emisiones de humos de soldadura en las etapas de producción de Hot-end.....	36
Figura 16. Diagrama de árbol de la toxicidad humana.....	38
Figura 17. Diagrama de árbol de la eco-toxicidad marina.....	39
Figura 18. Diagrama de árbol del agotamiento de metales	39
Figura 19. Diagrama de árbol del cambio climático	40
Figura 20. Diagrama de árbol de la eco-toxicidad.....	42
Figura 21. Diagrama de árbol del agotamiento de fuentes fósiles	42
Figura 22. Diagrama de árbol del calentamiento global.....	43
Figura 23. Kg CO ₂ eq por etapa de producción del Hot-end, ReCiPe	45
Figura 24. Kg CO ₂ por etapa de producción de Hot-end, TRACI.....	45
Figura 25. Reducción de impactos por la introducción de acero reciclado, ReCiPe.....	46
Figura 26. Reducción de impactos por introducción de acero reciclado, TRACI	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Partes del sub-ensamble Hot-end.....	18
Tabla 2. Recursos utilizados durante la producción del Hot-end	23
Tabla 3. Etapa 1 para la producción del Hot-end.....	24
Tabla 4. Etapa 2 en la producción del Hot-end.....	24
Tabla 5. Etapa 3 en la producción del Hot-end.....	25
Tabla 6. Etapa 4 en la producción del Hot-end.....	25
Tabla 7. Etapa 5 en la producción del Hot-end.....	25
Tabla 8. Etapa 6 en la producción del Hot-end.....	26
Tabla 9. Etapa 7 en la producción del Hot-end.....	26
Tabla 10. Etapa 8 en la producción del Hot-end.....	27
Tabla 11. Etapa 9 en la producción del Hot-end.....	27
Tabla 12. Materiales del sub-ensamble Hot-end modelados con método IPCC en SimaPro 8®.....	28
Tabla 13. Resultados de la caracterización mediante el método ReCiPe punto medio (E)	30
Tabla 14. Resultados de la caracterización mediante el método TRACI	32
Tabla 15. Factor de cambio por la introducción de acero reciclado, Método ReCiPe.....	35
Tabla 16. Factor de cambio por la introducción de acero reciclado, Método TRACI	36
Tabla 17. Sustancias presentes en la categoría de eco-toxicidad marina	40
Tabla 18. Sustancias presentes en la categoría de toxicidad humana	40
Tabla 19. Sustancias presentes en la categoría de agotamiento de metales	41
Tabla 20. Sustancias presentes en la categoría de cambio climático.....	41
Tabla 21. Sustancias presentes en la categoría de Eco-toxicidad.....	43
Tabla 22. Sustancias presentes en la categoría de fuentes fósiles	44
Tabla 23. Sustancias presentes en la categoría de calentamiento global	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Categorías de mayor impacto por proceso de producción.....	57
Anexo 2 Muestra de Humus de soldadura en Brazing.....	58
Anexo 3 Muestra de humus de soldadura en Tack-weld.....	59
Anexo 4 Muestra de humus de soldadura en Manifold.....	60
Anexo 5 Muestra de humus de soldadura en Flexible.....	61
Anexo 6 Muestra de humus de soldadura en Ending.....	62

I. INTRODUCCIÓN

La investigación realizada consiste en un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la industria manufacturera, sector que actualmente genera un fuerte impacto negativo sobre el ambiente (Pallaro et al., 2015). En este estudio se analizó la industria automotriz, considerada una de las manufactureras más poderosas, donde tanto productos como procesos han sido objeto de grandes esfuerzos para reducir su impacto (Nieuwenhuis y Katsifou, 2015).

El ACV fue utilizado por ser una herramienta sistémica que permite monitorear el impacto ambiental a lo largo de toda la cadena de producción para mejorar el desempeño ambiental de un producto o servicio. El trabajo se basa en la metodología propuesta por la Plataforma Europea para la Evaluación del Ciclo de Vida (EPLA), la cual consta de cuatro fases: objetivo y alcance, análisis de inventario, evaluación del impacto e interpretación. Mediante el ACV se identificaron los impactos ambientales de “cuna a puerta” de la producción de un sub-ensamble de escape automotriz en una empresa mexicana. No se encontraron estudios previos de la aplicación de ACV durante la etapa de manufactura de autopartes en el país.

El objetivo principal del estudio es contribuir a la a la prevención, reducción y/o eliminación del impacto ambiental en el proceso de producción de autopartes mediante un instrumento que optimice la toma de decisiones dirigidas a un mejor desempeño ambiental de este sector. El trabajo desarrollado se encuentra descrito en diez capítulos, en los primeros tres se describe de manera breve la problemática y los objetivos de la investigación. El capítulo cuatro consta de un análisis literario sobre el estado del arte del ACV, exponiendo su papel como herramienta para lograr una producción automotriz más sustentable, así como su normatividad y retos.

La metodología se explica en el capítulo cinco, así como las preguntas de investigación e instrumentos de recolección. El capítulo seis es el más extenso, en el se exponen los resultados del ACV y del análisis de sensibilidad realizado a partir de este último. La discusión se presenta en el capítulo siete, detallando los resultados más relevantes encontrados durante el trabajo. Posteriormente el capítulo ocho consta de la conclusión y finalmente se dan algunas recomendaciones en el capítulo nueve y se presentan las referencias en el capítulo diez.

II. OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la prevención, reducción y/o eliminación del impacto ambiental en el proceso de producción de auto partes.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una evaluación del estado del arte del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y su contribución a una producción más sustentable de escapes automotrices.
- Diagnosticar en base a la Plataforma Europea sobre Análisis de Ciclo de Vida (compatible con las normas ISO 14040; 14044) los impactos ambientales en las etapas de producción de un sub-ensamble automotriz (modelo Hot-end): obtención de materias primas, manufactura y embalaje.
- Evaluar los impactos ambientales durante las diferentes etapas del ACV con la finalidad de promover una mejora ambiental.
- Generar un instrumento que optimice la toma de decisiones estratégicas para un mejor desempeño ambiental durante el proceso de producción de auto partes en la industria automotriz.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 Sustentabilidad y la industria automotriz

La industria automotriz es una de las más poderosas a nivel mundial, grandes compañías y gobiernos invierten en ella, generando así una gran capacidad de innovación tecnológica (Debrand, 2012; Arena, Azzone y Conte, 2013). Esto se explica por la alta demanda y dependencia de automóviles privados para transporte, produciendo que el extenso mercado de la industria automotriz también sea causa de la mayor contribución a los problemas ambientales por contaminación del aire a nivel local, regional y global (Gan, 2003).

En los años 80's gran parte del mercado de autos ya había comenzado a adoptar medidas para la reducción de impactos ambientales generados por sus procesos de producción, esta decisión reduciría los costos sobre sus desechos y además sería una estrategia principal para incrementar su productividad a nivel mundial (Orsato y Wells, 2007). Sin embargo, considerar cuáles eran las alternativas para lograr un transporte más sustentable no es sencillo al ser una empresa que opera de manera global con maquiladoras que se encargan de ensamblar cada una de las 20,000 - 30,000 partes que constituyen un automóvil (Gan, 2003; Debrand, 2012).

El principal y más importante cambio para lograr una reducción de emisiones fue el rediseño de los escapes automotrices mediante la implementación de un catalizador, utilizado por primera vez en vehículos de Estados Unidos y Japón en 1975, el cual tenía como principal función reducir los niveles de HC, CO y NOx en la atmósfera (Heck y Farrauto, 2001).

Los beneficios que mostró la implementación de un control catalítico han sido documentados, estimando que en el 2000 más de 800 millones de toneladas de contaminantes de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) disminuyeron, impidiendo su entrada a la atmósfera (Heck y Farrauto, 2001). Debido a que el transporte vehicular utiliza el 27% de la energía total consumida a nivel global, existen otros prototipos de escapes automotrices que están siendo probados con la premisa de ser más eficientes y reducir costos energéticos (Heck y Farrauto, 2001; Gan, 2003; Arena, Azzone y Conte, 2013).

A pesar de estos esfuerzos, la mejora técnica en escapes automotrices u otras partes del automóvil no es suficiente, la alta demanda de automóviles involucra también procesos de producción que pueden generar un fuerte impacto al ambiente (Ramírez,

2014). Debido a esta situación y a partir del concepto de desarrollo sostenible, la industria empieza a adoptar el modelo llamado ecología industrial que busca "reducir el consumo de materias primas y energía hasta valores que la biosfera pueda remplazarlos, y que las emisiones y los residuos se reduzcan hasta valores que la biosfera pueda asimilarlos" (Capuz et al, 2004, p.33).

Como se ha visto, a través de la ecología industrial y con la finalidad de comprender los procesos de producción para lograr la protección ambiental, la industria automotriz ha recurrido a métodos que le permitan entender los impactos ambientales asociados a sus productos, entre los que destaca el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) por generar información cuantitativa con bases comparables dentro de un sistema (European-Commission, 2010; Garcia Sanchez, 2012)

4.1.1 El ACV como Alternativa para Industrias Automotrices de México

México es el segundo país en Latinoamérica con mayor desarrollo en la industria automotriz, la cual forma parte del segundo sector estratégico para la economía mexicana, después de la industria petrolera, aportando el 15% de la producción nacional en industrias manufactureras, contando con más de 18 plantas ensambladoras y más de 300 proveedores de empresas con relevancia a nivel mundial(Debrand, 2012; AMIA, 2013). Debido a esta situación, es necesario estimular la utilización del ACV en países como México, que se encuentran en vía de desarrollo, adaptándose a sus necesidades (UNEP, 2005).

Al realizarse un análisis de ciclo de vida se considera toda la cadena de producción, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto, también es conocido como análisis "de la cuna a la tumba" (Rodríguez, 2003; Zufia y L., 2008). Es importante entender que el propósito principal del ACV es contribuir a la elección de las mejores tecnologías de producción mediante la evaluación de los impactos ambientales potenciales durante el ciclo de vida del producto; debido a esto el ACV ha demostrado ser una herramienta poderosa para hacer frente a preguntas sobre el impacto ambiental de los sistemas de producción industrial (Guinée, Huppes y Heijungs, 2001; Backer et al., 2009).

La producción de la industria automotriz mexicana fue 2.8 millones en el 2012, al ser el octavo productor más importante de vehículos del mundo el ACV puede ser utilizado como guía para organismos reguladores y otras partes interesadas en el diseño para de la toma de decisiones, así como en la selección y evaluación de un proceso industrial (AMIA, 2013).

Otra ventaja de aplicar el ACV en la industria automotriz actual, en lugar de otras herramientas de gestión ambiental, es su enfoque holístico que permite que los procesos productivos sean más respetuosos con el ambiente y que a su vez reduzcan los costos y riesgos de producción; promoviendo un ambiente laboral saludable y con mayor nivel productivo; además, debido a que busca la reducción de sustancias nocivas para el ambiente y para la salud durante la producción, eleva la calidad de vida de los consumidores (Yuracko y Morris, 2001; Sadiq y Khan, 2006).

Finalmente, cuando se lleva a la práctica el ACV puede ayudar a la cooperación entre empresas y otras partes interesadas en las cadenas del ciclo de vida, así como fomentar el uso de certificados en las empresas o etiquetas en productos para informar a los clientes acerca de los procesos de producción, dándole mayores oportunidades en el nuevo mercado verde (UNEP, 2005).

4.2 Normatividad Industrial: ACV

La gestión ambiental en el sector industrial manufacturero de 1970 se concentró en las emisiones y residuos después de haber sido producidos, conocido también como soluciones “al final del tubo”, sin embargo, a partir de 1990 diversas empresas multinacionales ubicadas en países con normas más estrictas comenzaron a desarrollar mejores estrategias a favor del medio ambiente (UNACTAD, 1993 en Löfgren, Tillman y Rinde, 2011).

Diferentes sistemas de gestión ambiental comenzaron a aparecer, con la finalidad de entender la estructura relacionada a una empresa y controlar su impacto ambiental (Löfgren, Tillman y Rinde, 2011); en 1993, Heijungs et al. publicaron una guía sobre la metodología del análisis del ciclo de vida ambiental (ACV), para posteriormente renovar la guía e incorporar diferentes avances, posteriormente se inició un proyecto en 1997 titulado “LCA en la política ambiental ”(Guinée, Huppes y Heijungs, 2001).

En 1996 surge el estándar ISO 14000 para la gestión ambiental y en el 2001 un subcomité técnico ISO/TC207 trabajó el estándar ISO 14040 : Análisis del Ciclo de Vida, Principios y Aplicaciones, la cual fue aprobada por 60 países (Marroquín, 2004; Finkbeiner et al., 2006); y la cual tiene su equivalente en México, explicado bajo el estándar NMX-SSA-14040-IMNC-2004 (González-Colín, Domínguez y Suppen-Reynaga, 2007).

La ISO 14040 está constituida principalmente por cuatro fases, estas a su vez permitieron el desarrollo de estándares internacionales para la evaluación del ciclo de

vida que permitan un mayor detalle de estudio (ISO 14040: 1997, ISO 14041: 1999, ISO14042: 2000, ISO 14043: 2000) (Finkbeiner et al., 2006); en el primer estándar 14041 incluyen los primeros dos pasos, la 14042 incluye el tercer paso y el cuarto paso el estándar 14043 (Ahmad et al., 2012);

La industria ha estado involucrada en el desarrollo de métodos para adaptarse al concepto de ciclo de vida y diversos países lo han implementado (Löfgren, Tillman y Rinde, 2011); un estudio realizado en el 2000 muestra que Alemania es el país con mayor aplicación de ACV con 40%, seguido por Suiza con 18% (figura 1) (Marroquín, 2004).

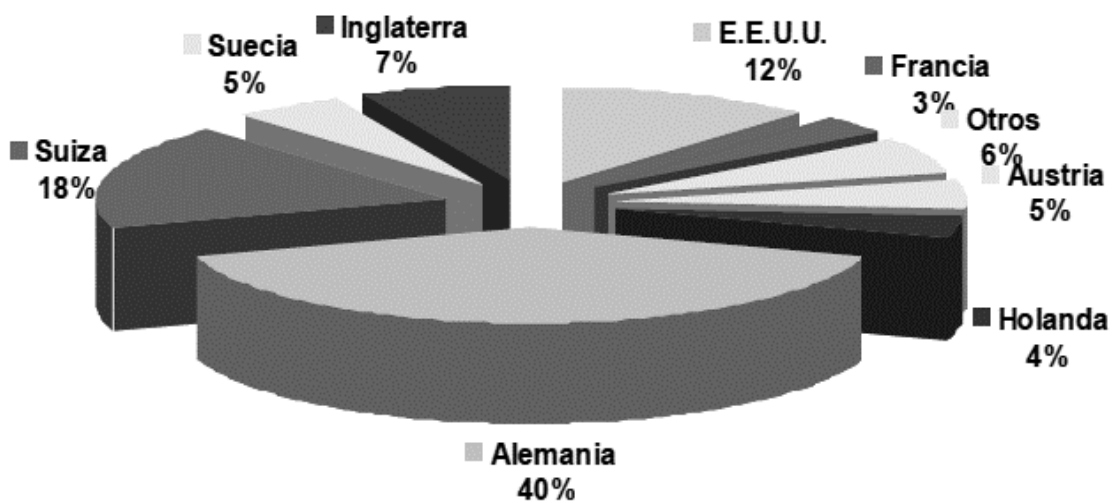


Figura 1. Aplicación del ACV por país

Fuente: ISO 14044 (2006)

Con el ACV la industria ha introducido una nueva manera de ver los procesos, abarcando las consecuencias ambientales “de la cuna a la tumba” de sus productos manufacturados (Marroquín, 2004), entendiendo que los procesos industriales no solo generan desechos, sino que también consumen materias primas, requieren instalaciones e infraestructura para transporte, utilizan químicos, entre otros, por lo que el ACV permite un manejo más sustentable para la producción industrial (Marroquín, 2004; Löfgren, Tillman y Rinde, 2011).

4.3 Debilidades y Retos del ACV en la Industria Automotriz

La metodología ISO 14044 del ACV tiene como meta fortalecer diversas áreas tanto conceptuales como en su aplicación; se debe considerar que el ACV en países en vía de desarrollo, como México, es visto bajo una diversidad de interpretaciones que genera confusión entre las partes interesadas, las cargas ambientales son más elevadas por tener tecnologías menos avanzadas, por lo que en algunos casos se introducen nuevas tecnologías sin ningún costo o beneficio añadido generando un desinterés a largo plazo por parte de la industria (UNEP, 2005; Weidema, 2014).

Bajo este contexto surgen problemas del ACV en la elección de límites, definición de unidades funcionales, opciones de cuantificación, la identificación de las tecnologías involucradas, la recopilación de los datos marginales, las incertidumbres asociadas, entre otras (Reap et al., 2008).

Gran parte de los problemas encontrados en el ACV surgen a partir de la metodología planteada por la ISO 14044, donde se ha criticado su función como “normalizador”, dado que en los últimos años se ha visto una gran cantidad de variaciones en la interpretación de los ACV (Weidema, 2014). Fundamentalmente, estas diferencias en estructura y contenido se muestran en el Análisis de Ciclo de Vida de Inventario (ICV) según investigaciones realizadas por la UNEP (2005), donde diversos proyectos en ocasiones presentan las mismas categorías de productos y mercados, reflejando diferentes interpretaciones de la ISO 14044 sin ninguna justificación adecuada respecto a los límites del sistema (Weidema, 2014).

Una formulación más inequívoca del estándar ISO 14044 podría ayudar a reducir la disparidad actual en los requisitos de modelado de ICV y por lo tanto del ACV (Weidema, 2014) . Actualmente el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC por sus siglas en inglés) colaboran en la iniciativa del ACV con el planteamiento de dos objetivos principales: el desarrollo de un marco técnico normalizado mucho más elaborado y su descripción con diferentes fases para lograr un mejor detalle (Penna y Geels, 2012). Por su parte, Herrmann et al. (2014) proponen una taxonomía de los ACV que puede ayudar a que coincida el tipo de estudio de ACV con el contexto del mismo y las metas propuestas.

Esta reformulación ayudaría al problema que surge entre la relación del análisis y la práctica, las cuales discrepan por la falta de renovación; los enfoques analíticos a menudo no se centran suficientemente en su aplicación práctica, manteniéndose en el ámbito académico. Por el contrario, los enfoques prácticos generalmente no están lo

suficientemente basados en la investigación científica, perdiendo una importante interacción entre ambas áreas (UNEP, 2005).

4.4 Aplicación del ACV en el Sector Automotriz

La industria automotriz es una de las que ha sufrido mayores cambios debido a las demandas tecnológicas por parte de los usuarios, por ejemplo, mejores materiales y autos más seguros (Ermolaeva, Castro y Kandachar, 2004); pero a su vez, estas modificaciones también han sido influenciados por el cambio climático. En la actualidad la industria automotriz y del transporte son de las principales causas de emisiones a la atmosfera, con el 16 % de emisiones de CO₂ atmosférico, sometiendo a este sector a ejercer prácticas más sustentables durante el diseño, producción y descarte de un automóvil (Zhu, Sarkis y Lai, 2007; OICA, 2015).

Diversas investigaciones han sido realizadas en la industria automotriz, llegando a la conclusión de que la estructura del automóvil necesita un enfoque equilibrado en los aspectos tecnológicos, económicos y ecológicos (Ermolaeva, Castro y Kandachar, 2004; Subramoniam, Huisinigh y Chinnam, 2009); se ha hecho principal énfasis en el eco diseño y el uso del ACV como herramienta para la elección y sustitución de materiales, dado que gran parte del impacto ambiental de un producto se ve directamente afectado por las propiedades ambientales de los materiales utilizados y sus impactos correspondientes a la producción, fabricación y reciclabilidad al final de su vida útil (Alves et al., 2010; De Felice, Campagiorni y Petrillo, 2013).

En la industria automotriz, la implementación operativa de la visión del desarrollo sustentable mediante herramientas como el ACV es parte de un objetivo global para satisfacer las necesidades de la movilidad actual, esto es visto como una oportunidad de expansión por parte de los fabricantes de automóviles más importantes, por lo que la industria automotriz es considerada como un factor clave para la sustentabilidad (Koplin, Seuring y Mesterharm, 2007).

Adicionalmente, gran parte de los esfuerzos para una mejor producción e implementación del ACV en la industria automotriz están fomentados por una legislación cada vez más estrictas, pero a su vez esta misma normatividad presenta un reto, un claro ejemplo es la ISO 26262, la cual busca la prevención de riesgo y el cuidado de los usuarios mediante la implementación de mejores tecnologías, lo cual normalmente conlleva la incorporación de nuevos materiales (Kafka, 2012), y por otro lado se ha desarrollado la directiva 2000/53/ EC en la cual se busca una reducción de la utilización

de materiales, para que estos al final de su vida útil puedan ser mejor manejados (Zorpas y Inglezakis, 2012).

Buscar un diseño sustentable para futuros vehículos no es una tarea sencilla, pero se han planteado diversos esfuerzos utilizando ACV, caracterizados principalmente por la reducción del número de materiales empleados, fuentes alternativas de energía y un aumento en el uso de materiales no ferrosos mediante sustitutos, las cuales podrían dar una ventaja económica y técnicas por los procesos de reciclaje y su posterior reutilización (Passarini et al., 2012; Zorpas y Inglezakis, 2012).

4.4.1 Áreas Claves para la Sustentabilidad en la Industria Automotriz.

Una gran cantidad de estudios muestran que el ACV ha sido ampliamente utilizado en la industria automotriz, de los cuales se destacan tres áreas prioritarias como se mencionó en la sección anterior: la sustitución de combustibles fósiles por combustibles más amigables con el ambiente, la reducción de peso del automóvil y de materiales utilizados para su posterior reciclaje, y por último, la sustitución de materiales por otros de menor impacto ambiental (Subramoniam, Huisingh y Chinnam, 2009; Passarini et al., 2012; Zorpas y Inglezakis, 2012).

Empezando por la sustitución de combustibles fósiles, debido a que la mayoría de vehículos funcionan con derivados de petróleo se han hecho estudios de ACV para la introducción de combustibles alternativos, un ejemplo reciente es la utilización de hidrógeno, que a pesar de haber demostrado también tener efectos adversos sobre el ambiente como la eutrofización y el smog fotoquímico, mediante el ACV se demostró que el impacto es menor al generado por combustibles de origen fósil, además estudios realizados por Subramoniam et al. (2009) muestran que el beneficio es mayor si se hacen modificaciones en la producción de nitrógeno, como la incorporación de turbinas de viento. Entre otras alternativas analizadas mediante ACV destacan el uso de biodiesel, autos eléctricos y autos híbridos, tecnologías que han demostrado una alta eficiencia, pero tienen como principal desventaja el mantenimiento de su sistema de producción, ya que la industria automotriz no tiene implementadas las tecnologías necesarias para su generación (García Sánchez et al., 2013).

El segundo factor clave analizado mediante ACV es la disminución de peso de los automóviles, generalmente utilizando un material más ligero y metales no ferrosos (especialmente aluminio) en la nueva producción del vehículo (Passarini et al., 2012); sin embargo, gran parte de los sustitutos para reducir el peso del automóvil como el

Magnesio (Mg) a su vez tiene una gran demanda de energía y genera una gran cantidad de gases de efecto invernadero (Du, Han y Peng, 2010).

Por otro lado, el uso de materiales ligeros para reducir el peso total del automóvil se contrapone contra el aumento en la solicitud de componentes adicionales que permiten una mayor seguridad a los ocupantes como bolsas de aire o aire acondicionado (Ermolaeva, Castro y Kandachar, 2004; Passarini et al., 2012). Una alternativa viable para la disminución de impacto ambiental por el peso y uso de materiales del automóvil está dada por proceso de desmantelamiento donde gran parte del material resultante (aluminio, vidrio, acero, etc.) tiene alto valor en el mercado y puede ser reutilizado (Passarini et al., 2012; Zorpas y Inglezakis, 2012);

La introducción de materiales sustitutos para reducir el impacto ambiental durante el ACV representa otra alternativa de gran relevancia (Raugei et al., 2014), la elección de los materiales en una empresa es clave, una selección inadecuada de los mismos puede afectar negativamente la productividad, rentabilidad y reputación de la empresa (Chan y Tong, 2007). La seguridad y comodidad de los automóviles modernos deben además contener beneficios tales que permitan un mejor desempeño no solo durante su uso, si no también durante el proceso de producción y descarte; por lo tanto los materiales utilizados en el producto deben ser durables, resistentes al desgaste, fáciles de desmontar y volver a montar y fáciles de separar, poniendo en práctica no solo el uso de sustitutos adecuados si no también el concepto de re-manufactura, la cual aún es vista como sinónimo de utilizado, por lo tanto, hay una necesidad de identificar y explorar los mercados potenciales (Passarini et al., 2012; Saavedra et al., 2013).

Existen otros campos de la industria automotriz donde se han utilizado el ACV para una mejor producción de autos, todos tienen una influencia decisiva en los aspectos de diseño y fabricación del producto, hoy en día se están trabajando para reducir al mínimo los efectos negativos que estos aspectos podrían tener en el ambiente (Koplin, Seuring y Mesterharm, 2007).

4.4.2 Casos de Estudio de Aplicaciones del ACV en la Industria Automotriz

Existen diversos casos de estudio de aplicación del ACV en el sector automotriz, se analizarán investigaciones recientes que se han desarrollado en diferentes partes del mundo, el primer estudio seleccionado es desarrollado en América Latina, en Brasil, donde se utilizó el ACV para comparar componentes acústicos producidos en el mismo país, los materiales utilizados para el estudio consistían en tres opciones, el primero poliuretano de doble capa (DL-PU) compuesto principalmente de plásticos sintéticos,

las otras dos opciones consistían principalmente en fibras de algodón, nombrado reciclado textil de absorción-algodón-absorción (ABA-algodón) y por último reciclado textil DL (DL-algodón) (Pegoretti et al., 2014).

Mediante el ACV se examinaron principalmente las fases de producción, uso y vida final, mostrando que por recuperación de energía el DL-algodón es la mejor alternativa para la perspectiva ambiental (Pegoretti et al., 2014). Un segundo estudio de ACV sobre la sustitución de materiales también desarrollado en Brasil y presenta una promoción del eco-diseño, sustituyendo el polipropileno, material ampliamente en la industria automotriz, sustituyéndolo por bagazo de caña y compuesto de talco, donde se demuestra un rendimiento mecánico similar y un desempeño ambiental superior a lo largo de todo el ciclo de vida (Luz, Caldeira-Pires y Ferrão, 2010).

Otro estudio más sobre los materiales en la industria automotriz ha sido realizado por Passarini et al. (2012), donde se estimaron las mejores alternativas para los residuos después de la trituración, al final de la vida de los vehículos con la finalidad de diseñar mejores vehículos, más ligeros y de componentes más amigables con el ambiente; además se estimaron diferentes tipos de disposición como vertederos, incineración, reciclaje mecánico y químico, demostrando que la mejor manera de reciclaje, aún a pequeña escala, es el reciclaje mecánico y químico, debido a los impactos menores de energía y recuperación de materiales, estos resultados apuntan a la producción de materiales secundarios a partir de su recuperación.

Recientemente, estudios de Raugei et al. (2014) muestran que mediante el ACV se puede analizar el sistema de enfriamiento durante la manufactura de las piezas para los vehículos, donde se demostró que reduce la cantidad de aditivos durante la producción de las autopartes, permitiendo que al final de vida de los productos puedan ser tratados de manera más sencilla.

Una gran cantidad de investigaciones apuntan hacia la utilización de combustibles alternativos y las consecuencias de los aceites y combustibles utilizados actualmente (Gaidajis et al., 2011; Nanaki y Koroneos, 2012; Liu, Qiu. y Chen, 2014). En China se ha estudiado mediante el ACV la cadena de suministro de biocombustibles para el rediseño de la misma mediante un conjunto de soluciones que indican ubicaciones óptimas, biomasa producida, capacidad de las fábricas de conversión, cantidad de biocombustible que se suministra en los mercados finales, mediante el cual se forma un marco de soporte para decisiones en el diseño (Liu, Qiu. y Chen, 2014); Por su parte en Grecia se ha evaluado mediante el ACV el uso de gasolina, diésel y biodiesel

tomando en cuenta impactos ambientales como efectos respiratorios orgánicos, inorgánicos, acidificación e eutrofización, efecto invernadero, eco-toxicidad y carcinogénico, demostrando que es necesario una planificación, dado que la gasolina y el biodiesel son los que presentan mayores impactos (Nanaki y Koroneos, 2012).

Otras investigaciones evalúan a través del ACV el posible reciclaje de aceites usados, el estudio se realizó mediante varios escenarios desde un máximo reciclaje y la posible recuperación de metales hasta la disposición de ellos a los vertederos sin ningún tratamiento previo, el estudio indicó que el desarrollo de un sistema de reciclaje especial es viable mediante el enfoque de ACV, sin embargo para su implementación se requiere de más análisis (Gaidajis et al., 2011). Todos estos estudios enfocados a diferentes partes del ACV de un vehículo representan grandes avances para el mejor desarrollo de un producto que es ampliamente usado alrededor del mundo.

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El estudio desarrollado es de carácter cuantitativo debido a que consistió en una recolección de datos sobre los flujos de material y energía en las diferentes etapas del ciclo de vida de un sub-ensamble de escape automotriz.

5.2 Diseño Metodológico

El ACV consta de una metodología desarrollada por la Organización Internacional de normalización (ISO por sus siglas en inglés) compatible con las directrices señaladas por la Plataforma Europea sobre Análisis de Ciclo de Vida. El ACV se divide en cuatro fases principales (figura 2): objetivo y alcance, análisis de Inventario de ciclo de vida, evaluación de impacto de ciclo de vida e interpretación (Marroquín, 2004; ISO-14044, 2006; Backer et al., 2009).

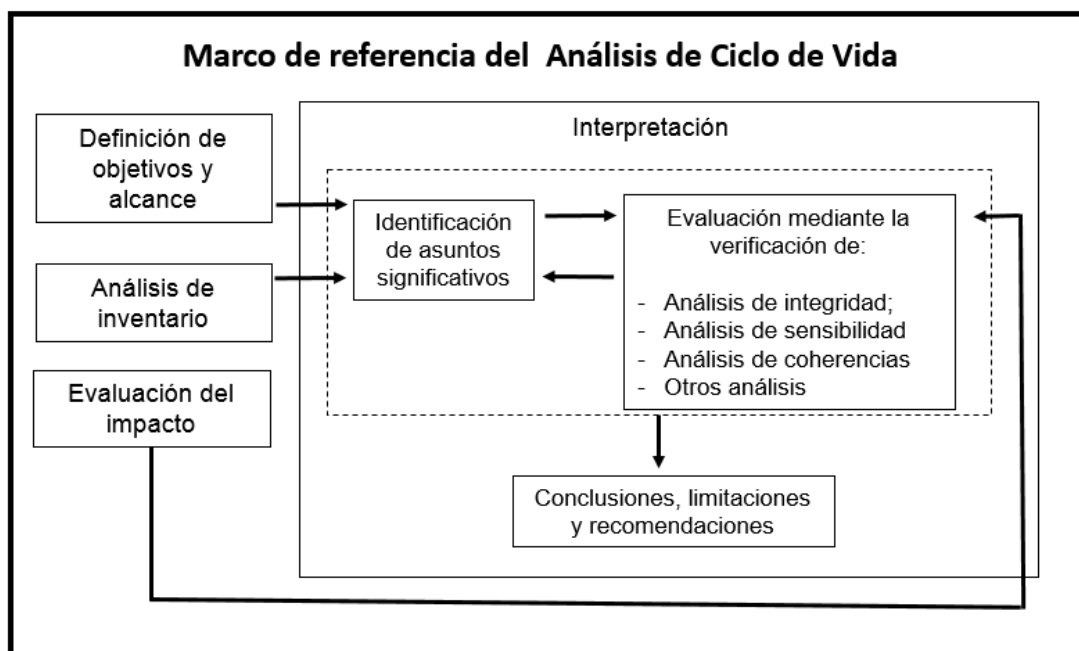


Figura 2. Estructura de las Fases en el Análisis de Ciclo de Vida

Fuente: ISO 14044 (2006)

1. Definición de objetivo y alcance: Se define el producto o los productos a investigar, el nivel de detalle deseado del estudio, los tipos de impacto a analizar y se escoge una unidad básica de comparación, con la finalidad de proveer una referencia mediante la cual, las entradas y las salidas estén relacionadas (González, Domínguez y Nydua, 2007; Udo de Haes H. A. y Heijungs, 2007) .

2. Análisis de inventario del Ciclo de Vida (ICV): Es la fase que requiere mayor inversión de tiempo dado que implica la recolección de datos y el cálculo de entradas y salidas, para posteriormente construir un catálogo de los materiales, energía y emisiones que intervienen en el sistema productivo (UNEP, 2012). En la figura 3 se describen los pasos a seguir para realizar el inventario.

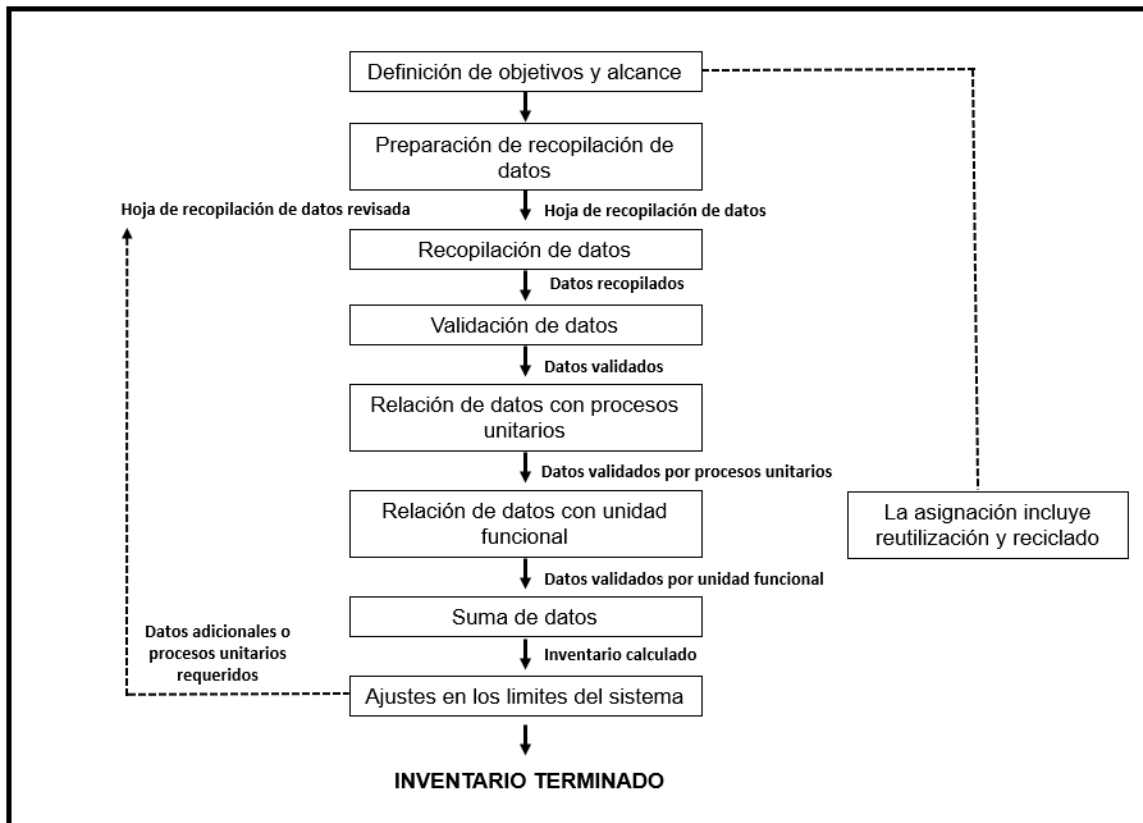


Figura 3. Procedimientos para el Análisis de Inventario

Fuente: ISO 14044 (2006)

3. Evaluación de impacto del Ciclo de Vida (EICV): Consiste en evaluar los impactos potenciales sobre la salud humana, el medio ambiente y el agotamiento de los recursos utilizando los resultados del análisis de inventario del ciclo de vida (Duda y Shaw, 1997). Esta fase puede incluir un proceso de retroalimentación y de revisión del objetivo y el alcance del ACV, para determinar si ya se han logrado los objetivos o si es posible cumplirlos, o de lo contrario modificar el objetivo y alcance si la evaluación lo indica (ISO-14044, 2006).

4. Interpretación: En orden de analizar las cargas ambientales resultantes durante la fase de EICV se lleva a cabo una selección, clasificación y caracterización de las diferentes categorías de impacto con la finalidad de llegar a conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con los objetivos de la investigación (Willers y Rodrigues, 2014).

5.3 Alcance del estudio

El Análisis de Ciclo de Vida se realizó en una planta ensambladora de escapes de Hermosillo, Sonora. Durante el periodo de agosto 2014 - diciembre 2015. Los límites del sistema se definieron desde la extracción de materia prima hasta la producción dentro de la planta, es decir hasta que el producto final esté terminado y empaquetado para su transporte, este tipo de estudios es también llamado de “cuna a puerta”.

5.4 Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los impactos ambientales durante el proceso de producción del sub-ensamble Hot-end?
- ¿Qué materiales utilizados durante la producción de sub-ensamble Hot-end tienen mayor impacto al ambiente?
- ¿Durante qué etapa(s) del Ciclo de Vida del sub-ensamble Hot-end es mayor el impacto ambiental?
- ¿La generación un instrumento para la toma de decisiones estratégicas a través del ACV podría mejorar desempeño ambiental durante el proceso de producción de auto partes en la industria automotriz?

5.5 Objeto de estudio

El objeto del estudio fue el sub-ensamble Hot-end, producto final de una planta ensambladora de escapes en Hermosillo, Sonora.

5.6 Instrumentos de recolección y manejo de datos

Para la recolección de información se utilizaron las hojas de datos recomendadas por la ISO 14040 específicas para la etapa de inventario, las hojas de datos incluyen:

- Procesos unitarios (recursos y energía requerida, cantidad, descripción del proceso, origen, etc.).
- Hojas de recolección de datos (emisiones al aire, agua, suelo, otros).

Se realizaron mediciones del material mediante una báscula y se utilizó una bomba de muestro universal 44XR como instrumento para la captura de metales por soldadura.

Posteriormente para el manejo, cuantificación y evaluación de datos de datos se utilizaron los siguientes programas de cómputo:

- Herramienta computacional Excel para la administración de la información.
- SimaPro 8® para realizar la evaluación de Análisis de Ciclo de Vida.

VI. RESULTADOS

6.1 Objetivo y Alcance del ACV

Se tiene como objetivo la detección de impactos ambientales durante la fabricación de un sub-ensamble en una planta ensambladora de escapes automotrices, el producto final estudiado es conocido como *Hot-end*, modelo utilizado en un automóvil tipo sedán de cuatro puertas. El estudio se realizó mediante la metodología de la Plataforma Europea para la Evaluación de Ciclo de Vida (EPLCA por sus siglas en inglés); con la finalidad de identificar oportunidades para reducir sus impactos ambientales en las diferentes fases del proceso. El estudio incluye la extracción de materia prima y la manufactura del *Hot-end*, es decir que el alcance de dicho estudio es de “cuna a puerta” (figura 4).

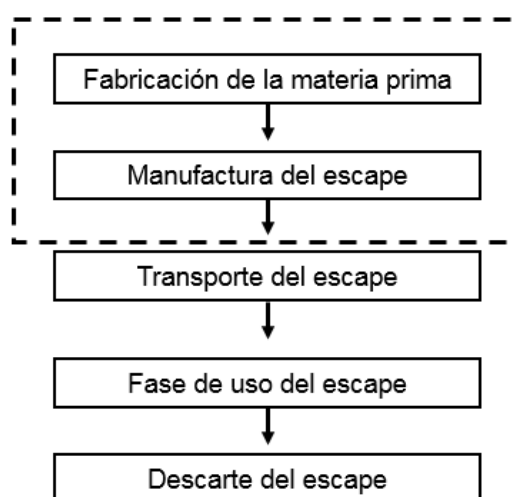


Figura 4. Alcance del Análisis de Ciclo de un Escape automotriz

Fuente: Elaboración propia (2014).

El escape automotriz producido por la empresa consiste de dos partes, el *Hot-end* y otra conocida como *cold-end*, sin embargo, las dos partes presentan procesos de producción diferenciados y al término ambos productos finales son enviados de manera separada. El producto final analizado mediante análisis de ciclo de vida es el ensamble *Hot-end* (figura 5), el cual constituye la primera etapa del escape automotriz que consiste en cuatro tubos conectados directamente al motor y un convertidor catalítico para la reducción de emisiones a la atmósfera. La realización del *Hot-end* consiste en una serie de etapas que van desde el doblado del tubo, formado final del tubo, ensamble del convertidor catalítico, hasta el soldado de componentes, proceso del cual resultan dos modelos de exportación internacional y cuya variación radica en el contenido de metales preciosos del convertidor catalítico.

6.1.1 Función del sistema estudiado y descripción

La principal función del Hot-end es reducir el calor del motor mediante tubos que permiten el escape de las emisiones generadas durante la combustión, así como la reducción de las emisiones a la atmosfera a través de un convertidor catalítico.

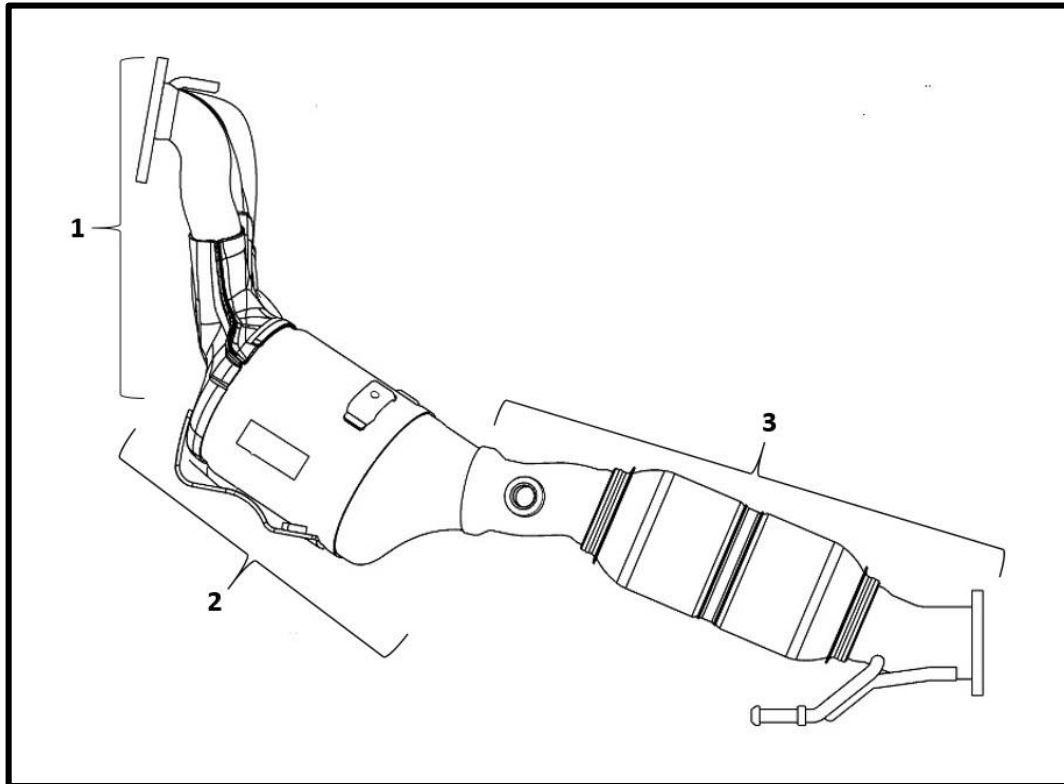


Figura 5. Vista horizontal del escape automotriz Brazing y sus tres principales componentes: Front end sub assy (1); Converter sub assy y Outlet cone sub assy (2); Outlet sub assy (3)

Fuente: Modificado y proporcionado por FAURECIA SA de CV (2014).

El sub-ensamble está constituido por acero inoxidable en un 90% y está conformado por veinticuatro partes (tabla 1), el cual se divide a su vez en cuatro partes principales: Front end sub Assy, Coverter su Assy, Outlet cone sub Assy y Outlet sub Assy. El ensamble Hot-end es el que presenta más alta producción y se diferencia de los otras líneas de producción por su innovador proceso de soldadura llamado Brazing, el cual permite que las uniones sean más resistentes y que el proceso de soldadura reduzca las emisiones a la atmosfera, el brazing es utilizado para el ensamble del Fron end sub Assy (figura 6). Al término de la producción, el peso del ensamble final antes de ser empaquetado es de 9.3 kg, dicho ensamble es empaquetado en cajas de cartón, cada caja de cartón contiene 16 ensambles Hot-end que son protegidos por una bolsa de plástico, generando paquetes de 184.4 kg antes del envío.

Tabla 1. Partes del sub-ensamble Hot-end

Componentes del sub-ensamble Hot-end							
	Front end sub Assy		Converter sub Assy		Outlet cone sub Assy		Outlet Sub Assy
1	Flage	12	Canning	15	Dual wall outer cone	18	E-Pipe
2	Support flage	13	Mat	16	Dual wall inner cone	19	Flex coupling
3	Runner A sub ASMY	14	Substrate	17	Heatshield breacket (2)	20	F-Pipe
4	Runner B sub ASMY					21	Hanger
5	Runner C sub ASMY					22	Outlet flange
6	Runner D sub ASMY					23	Bar code label-tracebility
7	Braze ring (4)					24	Bar code label-tracebility
8	Upper T rail sub ASMY						
9	Lower rail sub ASMY						
10	Braze ring (8)						
11	Washer						

Fuente: Elaboración propia (2014).

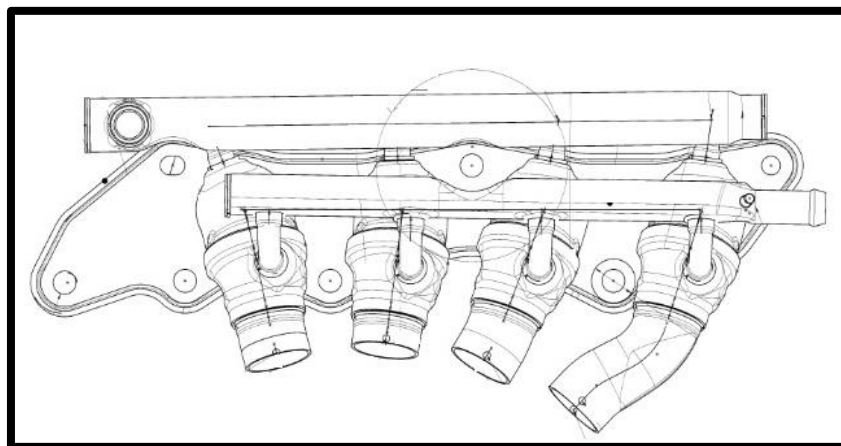


Figura 6. Vista frontal del Front end sub Assy del modelo Maniverter Brazing

Fuente: Modificado y proporcionado por la empresa (2014).

6.1.2 Unidad Funcional (UF)

La unidad funcional en el ACV es la unidad básica de comparación que tiene como finalidad servir de referencia base para los flujos de entradas y salidas del sistema (González-Colín, Domínguez y Suppen-Reynaga, 2007; Udo de Haes H. A. y Heijungs, 2007). La unidad funcional utilizada para este estudio es una tonelada de escapes automotrices, equivalente a 107 sub-ensambles Hot-end aproximadamente.

6.1 3.Sistema estudiado

El sistema presenta nueve etapas durante la producción del Hot-end dentro de la fábrica, en la figura 7 se pueden ver las diferentes etapas, así como las entradas de materia y energía en cada una de ellas. De igual forma aquí se describen cada una de las etapas:

Etapa 1. Lavado: Durante este proceso la materia prima que llega (piezas de acero inoxidable para el Front end sub Assy) es lavada en una lavadora ultrasónica con agua tri-distilada, este proceso tiene como finalidad remover todas las impurezas que podrían impedir su adecuado ensamblaje en la etapa dos. Posteriormente las piezas son secadas y colocándolas en cajas de plástico para transportarlas a la siguiente parte del proceso.

Etapa 2. Brazing: En esta parte del proceso 23 celdas robóticas se encargan de soldar mediante argón puro cada parte lavada del Front end sub Assy, durante esta etapa se utilizan 35 anillos de cobre con la finalidad de generar una unión más resistente entre las piezas de acero. Esta etapa se distingue de las otras porque además de formar una mejor soldadura, genera menos emisiones a la atmosfera según los registros de la empresa.

Etapa 3.Tack-weld: Consta de una pequeña estación en el interior de brazing, la estación consta de una máquina que es operada manualmente, realizando la soldadura del over clam y lower clam, cobertura del Front end su Assy. La máquina utiliza argón y oxígeno en una proporción de 95/5 respectivamente.

Etapa 4.Manifold: Se trata de la última etapa para la formación del Fron end sub Assy, una vez soldadas las piezas de la etapa 3, se le dan los acabados finales en esta estación, agregando las partes restantes del Front end sub Assy (hego y brackets) con la misma combinación de argón/oxígeno utilizada en la etapa posterior, el resultado final de esta etapa es el sub-ensamble Manifold.

Etapa 5.Bender: Esta sección forma parte de un proceso paralelo a las etapas 5-6, aquí nuevo material llega en forma de largas barras de acero inoxidable, a partir de estas barras los tubos E y F son cortados y doblados mediante dos máquinas llamadas bender, adicionalmente otra máquina se encargada de darles el acabado final y ajustándolos a las medidas adecuadas, la rebaba es retirada y finalmente son lijadas. Durante esta etapa los únicos recursos utilizados son las barras de acero inoxidable y la energía eléctrica de las maquinas requeridas ya que las transformaciones realizadas un meramente físicas.

Etapa 6.Flexible: Es la sección que procede la etapa 5, se adhieren un flange y hego, piezas pequeñas de acero, al sub-ensamble final de esta etapa también se le conoce como flexible.

Etapa 7.Canning: Durante esta etapa se ensambla gran parte del Converter sub assy y Outlet cone sub assy; y forma parte de un último proceso paralelo a las etapas 1-4 y 5-6, es en esta parte del proceso donde el convertidor catalítico es introducido. Inicialmente una nueva pieza conocida en la cadena de producción estudiada como ceramic brick es requerida. Esta pieza se conforma principalmente por kaolin y talc, y presenta una constitución es porosa, es aquí donde se encuentran los metales preciosos generar la catalisis y reducción de HC, CO y NOx a la atmosfera. El ceramic brick es verificado a través de una maquina laser para identificar sus características y ajustado mediante otra máquina a las medidas requeridas, posteriormente es cubierto por una placa de fibra de vidrio. El producto resultante llamado “mat” es introducido a un nuevo tubo de acero inoxidable y clasificado mediante una etiqueta, el producto final forma el sub-ensamble canning, que es enviado a la siguiente etapa.

Etapa 8.Final: Consiste en la última etapa durante la fabricación del Hot-end, donde las etapas 1-4, 5-6 y 7 se unen, para que las partes resultantes de las etapas posteriores (manifold, flexible y canning) sean unidas mediante celdas robóticas que utilizan una mezcla argón/oxígeno 95/5 respectivamente, además de agregar unos últimos componentes de acero para el soporte del escape. Todas las piezas pasan por un control de calidad para verificar que cumplan con los requisitos exigidos por la empresa, una vez aceptada la pieza pasa a la última etapa.

Etapa 9.Embalaje: Durante este proceso las piezas terminadas son envueltas en cajas de cartón para su envío internacional, colocando 4 piezas en cada uno de los 4 niveles que contiene la caja de cartón y envueltas en una bolsa de plástico para que no se dañen. Finalmente son colocadas sobre un pallet, clasificadas y apiladas en la bodega.

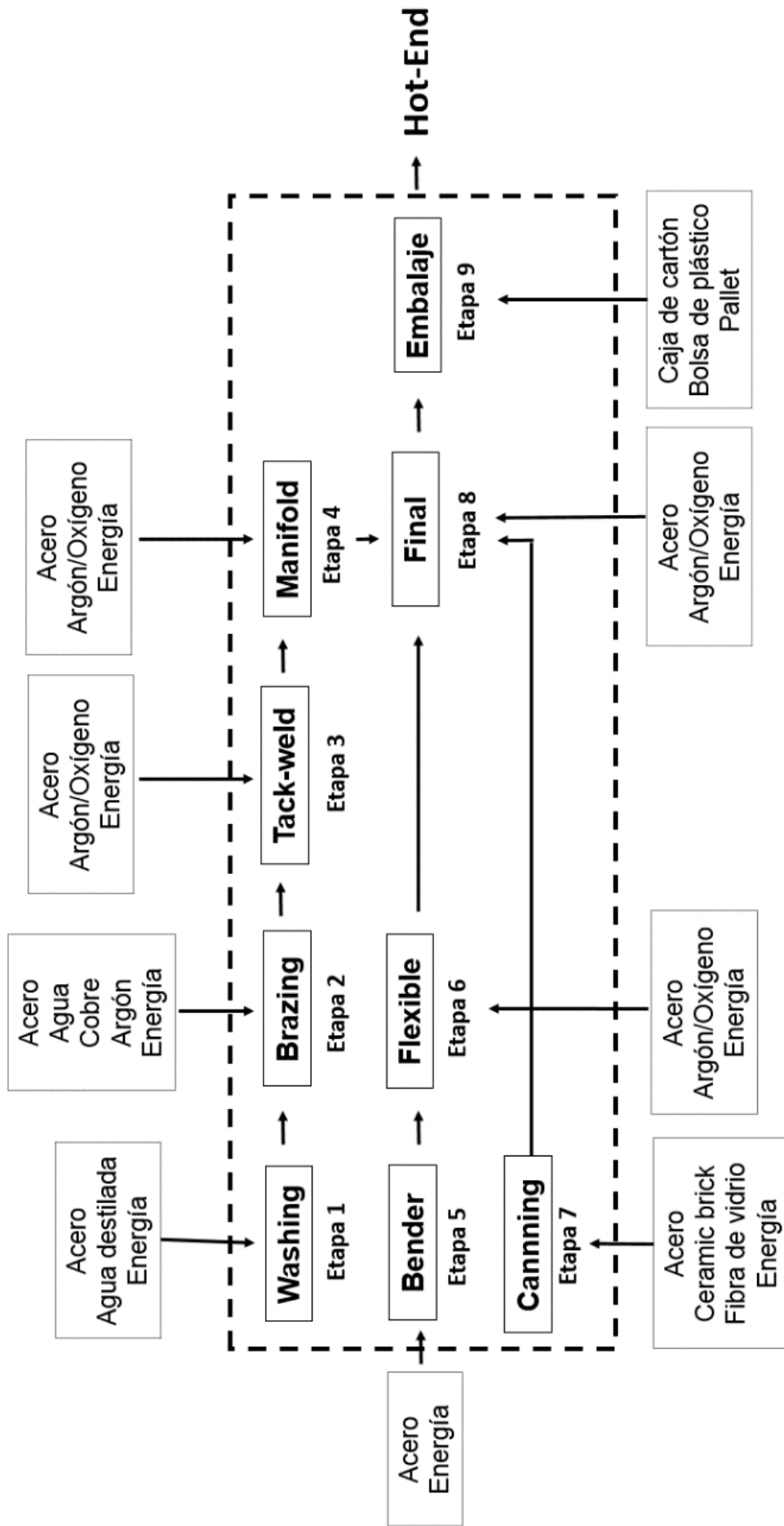


Figura 7. Diagrama de flujo de la producción del sub-ensamble Hot -end.

Fuente: Elaboración propia (2015).

6.1.4 Límites del sistema

- Límites geográficos: Como se mencionó anteriormente el análisis realizado es de “cuna a puerta” dado que es una empresa de competencia internacional y sus proveedores de materia prima así como sus clientes se encuentran en diferentes partes del mundo, por lo que los límites geográficos impiden el seguimiento de dichos procesos de manera precisa.
- Límites temporales: El ACV presenta un horizonte temporal considerado de Julio 2014 a diciembre 2015, cabe destacar que el proceso de producción no es continuo debido a la que empresa trabaja sobre pedido, por lo que no se puede tener un impacto exacto por año, más sí por día de producción.

6.1.5 Etapas excluidas del sistema

- Infraestructura: Se consideró para este estudio que las cargas ambientales producidas por la producción de la maquinaria para el proceso de producción del Hot-end serán excluidas, ya que no forman parte del objetivo principal.
- Otros productos finales: No fueron analizados todos modelos generados por la empresa debido a que el acceso a la empresa era limitado, por lo que escogió el de mayor producción.
- Consumibles: Aquellos materiales que se utilicen para el mantenimiento y buen funcionamiento del proceso productivo, pero que no impactan directamente con la producción.

6.2 Análisis de Inventario

6.2.1 Obtención de datos

La cuantificación de entradas y salidas del sistema estudiado fueron analizadas en su mayoría de manera directa en la empresa, con medidas *in situ* mediante visitas guiadas por parte del personal de la empresa, así como entrevistas a los mismos y para el caso específico de la composición del canning se realizó mediante bibliografía.

La información acerca de la materia prima obtenida durante las entradas y salidas del sistema fue obtenida en la base de datos de Ecoinvent 3®¹ del software SimaPro 8®, en la tabla 2 se describen los recursos utilizados durante la producción y su equivalente encontrado en el software antes mencionado.

¹ La información extraída de la base de datos se maneja en su idioma original a fin de tener más transparencia y fidelidad de los datos.

Tabla 2. Recursos utilizados durante la producción del Hot-end

No.	Recurso	Ecoinvent 3
1	Acero inoxidable	Chromium steel pipe (RoW)/ production / Conseq,U
2	Agua destilada	Water, decarbonised, at user (RoW) / market for / Conseq,U
3	Agua	Tap water (RoW) /market for / Conseq, U
4	Cobre	Copper (RoW)/ production, primary / Conseq,U
5	Kaolin	Kaolin ore
6	Talc	Talc / CAS number 014807-96-6
7	Oxido de aluminio	Aluminuim oxide (Gaidajis et al.) / production / Conseq,U
8	Hidróxido de aluminio	Aluminuim hydroxide (RoW) / production / Conseq,U
9	Silica	Silica sand (RoW)/ production / Conseq,U
10	Fibra de vidrio	Glass fiber (RoW) / production / Conseq,U
11	Caja de cartón	Folding boxboard/chipboard (RoW)/ folding boxboard production/ Conseq,U
12	Bolsa	Packaging film, low density polyethylene (RoW) / production / Conseq,U
13	Pallet	EUR-Flat pallet (RoW) / production / Conseq,U
14	Argón	Argon liquid (RoW) / production / Conseq,U
15	Oxígeno	Oxygen liquid (RoW) / air separation, cryogenic / Conseq,U
16	Energía	Electricity, medium voltage, (MX) / Conseq,U

Fuente: Elaboración propia (2015).

Los recursos utilizados son dieciséis en total, de los cuales destaca el acero, por ser el principal material utilizado en todas las etapas excepto durante el embalaje. Otros recursos que sobresalen por su uso son el argón y oxígeno utilizados para el proceso de soldadura, con un total de mezcla de 800 l de argón/oxígeno durante toda la producción del Hot-end.

La energía se estimó en base a la información proporcionada por la empresa y las visitas realizadas, cabe destacar que se tomó en cuenta una jornada laboral con actividad en los tres turnos, para considerar el escenario donde su producción es máxima, con un promedio de 1080 escapes por día.

6.2.2. Flujo de materiales y energía por etapa del proceso

En esta sección se muestran las tablas 3 a 11, donde se describe el uso de los materiales en cada una de las nueve etapas que se tienen durante la cadena de producción, así como la cantidad en kilogramos que se necesita de ese material por escape y por unidad funcional (UF). Cabe destacar que las características de la energía utilizada por las máquinas fue proporcionadamente directamente por el personal de la empresa, se consideró la energía utilizada por las bombas hidráulicas para el enfriamiento de las máquinas y del sistema de control.

Tabla 3. Etapa 1 para la producción del Hot-end

Etapa 1. Lavado	cantidad por escape	cantidad por UF
Acero Inoxidable	2.3 kg	246.1 kg
Energía	0.013 kWh	1.4 kWh
Agua tri-distilada	7.3 l	1602.6 l

Fuente: Elaboración propia (2015).

En la etapa 1 se describe el proceso de lavado, para caracterizarlo se midió directamente en la empresa la capacidad de lavado de la lavadora ultrasónica, dicha lavadora consta de cuatro canastas con una capacidad de 15.6 kg cada una, dando un total de 62.4 kg por lavado, lo cual es equivalente a tener material para aproximadamente 27 escapes por ciclo de lavado, en esta etapa se consideró la duración del ciclo de lavado, que es de 8 minutos y que la lavadora es utilizada durante 8 horas, cabe destacar que la lavadora no se usa diario, por tal motivo se lava una cantidad de piezas mayor a las utilizadas por día. Todas las piezas son secadas mediante un soplador inmediatamente después de haber terminado el ciclo de lavado, este proceso es operado por una persona.

Tabla 4. Etapa 2 en la producción del Hot-end

Etapa 2. Brazing	cantidad por escape	cantidad por UF
Acero Inoxidable	1.5 kg	406.5 kg
Energía	2.23 kWh	244.9 kWh
Agua	50 l	150 l
Cobre	0.18 kg	19.26 kg
Argón	753.5 kg	76028.5 kg

Fuente: Elaboración propia (2015).

En la etapa 2 es donde se lleva a cabo la mayor cantidad de uniones entre piezas de todo el sub-ensamble mediante 23 celdas de soldadura robotizadas, además de que esta etapa se caracteriza por su innovador proceso de soldadura (llamado brazing), el cual consiste en la unión de las piezas de acero inoxidable mediante anillos de cobre y utilizando argón puro. Para conocer las entradas y salidas se pesaron todos los materiales de esta etapa directamente en la empresa. El agua utilizada en esta etapa es para encontrar fugas y es una prueba realizada de manera manual en un pequeño compartimento con 50 l de agua, que es cambiada de dos a tres veces al día, para el estudio se consideró el máximo uso, que serían 150 l. Se consideró la energía utilizada por la bomba hidráulica que mantiene al sistema regulado y los trece generadores que requiere la estación.

Tabla 5. Etapa 3 en la producción del Hot-end

Etapa 3. Tack-weld	cantidad por escape	cantidad por UF
Acero Inoxidable	0.9 kg	96.3 kg
Energía	0.13 kWh	14.4 kWh
Argón	31 kg	3317 kg
Oxígeno	1.4 kg	149.8 kg

Fuente: Elaboración propia (2015).

Durante la etapa 3 se utiliza únicamente una máquina de soldadura que es operada por una persona, el material consiste en dos piezas que juntas tienen un peso no superior a un kilogramo por Hot-end y para su soldadura se utiliza la mezcla de argón/oxígeno. La energía utilizada es de las menores durante la producción ya es una estación muy pequeña.

Tabla 6. Etapa 4 en la producción del Hot-end

Etapa 4. Manifold	cantidad por escape	cantidad por UF
Acero Inoxidable	0.1 kg	10.7 kg
Energía	0.34 kWh	37 kWh
Argón	62 kg	6634 kg
Oxígeno	2.6 kg	278 kg

Fuente: Elaboración propia (2015).

La etapa 4 es la última de este primer proceso paralelo, el material que entra es menor a un kilogramo de acero y es utilizado para dar los acabados del manifold mediante dos máquinas de soldadura y la mezcla argón/oxígeno. Durante esta etapa se consideró la energía utilizada por el sistema de extracción de humos de soldadura.

Tabla 7. Etapa 5 en la producción del Hot-end

Etapa 5. Bender	cantidad por escape	cantidad por UF
Acero Inoxidable	0.49 kg	52.4 kg
Energía	1.65 kWh	176.2 kWh

Fuente: Elaboración propia (2015).

Durante la etapa 5 largos tubos de acero, aproximadamente de dos metros, son cortados y doblados para formar los tubos e y f, de este proceso se obtiene una rebaba inferior a los 0.01 kg por escape, por lo cual no se consideró para fines del estudio, únicamente el peso de los tubos e y f. Para realizar este proceso se utilizan dos máquinas para cordado y doblado, dos para el acabado final y una máquina de lijado.

Tabla 8. Etapa 6 en la producción del Hot-end

Etapa 6. Flexible	cantidad por escape	cantidad por UF
Acero Inoxidable	1.04 kg	111.3 kg
Energía	0.60 kWh	64.3 kWh
Argón	123 kg	13161 kg
Oxígeno	5.28 kg	276 kg

Fuente: Elaboración propia (2015).

Al igual que otras etapas, la etapa 6 presenta material nuevo que es soldado para generar la parte conocida como flexible que pesa 0.76 kg, formada mediante los tubos e y f, que son unidos a un tubo flexible, adicionalmente se les adhieren algunos elementos de acero más, para darle soporte. Se utiliza energía eléctrica para el funcionamiento de las cuatro máquinas que hay en esta estación y la mezcla argón/oxígeno para soldar los tubos, la entrada de los materiales fue medida directamente en la empresa. Para la energía eléctrica se tomó en cuenta una máquina para prueba de fuga y el sistema hidráulico.

Tabla 9. Etapa 7 en la producción del Hot-end

Etapa 7. Canning	cantidad por escape	cantidad por UF
Metal	0.6 kg	64.2 kg
Energía	1.04 kWh	112 kWh
Ceramic brick	0.72 kg	77.04 kg
> Kaolin	0.156 kg	16.7 kg
> Talc	0.283 kg	30.3 kg
>Oxido de Aluminio	0.080 kg	8.6 kg
> Hidróxido de aluminio	0.13 kg	13.9 kg
> Silica	0.072 kg	7.7 kg
Fibra de Vidrio	0.07 kg	7.5 kg

Fuente: Elaboración propia (2015).

La etapa 7 es la que constituye mayor diversidad de materiales utilizados, esto debido al convertidor catalítico que está integrado, el tubo de acero, el ceramic brick y la fibra de vidrio fueron pesados directamente en la empresa. Por su parte, la constitución del ceramic brick fue obtenida de Lachman, Bagley y Lewis (1981), donde indica las proporciones correspondientes de los materiales que lo conforman, cabe destacar que no se consideró los metales preciosos que contiene el convertidor catalítico, ya que por motivos de confidencialidad no pudieron ser relevados. Mediante una entrevista con el personal se confirmó que los pesos no varían de manera significativa según las

cantidades de metales preciosos que contiene el ceramic brick, por lo que se tienen varios modelos con una variación de peso despreciable.

Para registrar la energía eléctrica total utilizada en esta área se consideró el gasto energético del escáner laser mediante el cual se mide el ceramic brick, un sistema de extracción utilizado durante la colocación de la fibra de vidrio, una impresora de etiquetas y dos máquinas para ajustar el mat.

Tabla 10. Etapa 8 en la producción del Hot-end

Etapa 8. Ending	cantidad por escape	cantidad por UF
Acero Inoxidable	1.42 kg	151.9 kg
Energía	0.53 kwh	57.5 kwh
Argón	123 kg	13161 kg
Oxígeno	5.28 kg	276 kg

Fuente: Elaboración propia (2015).

Durante la etapa 8 se introducen las últimas piezas de acero inoxidable para terminar el Hot-end, además del uso de energía de cuatro máquinas y la mezcla argón/oxígeno, estas son las únicas entradas de material durante el proceso final.

Tabla 11. Etapa 9 en la producción del Hot-end

Etapa 9. Embalaje	cantidad por escape	cantidad por UF
Caja de cartón	23 kg	161 kg
Bolsa	0.8 kg	5.6 kg
Pallet	11 kg	77 kg

Fuente: Elaboración propia (2015).

La última etapa consta del embalaje. Para obtener la información del empaquetado, se midió directamente en la fábrica los pesos de cada uno de los componentes, cada paquete consiste en una caja de cartón, una bolsa y un pallet. Dichas entradas no generan ningún desecho y no existen procesos que requieran energía eléctrica.

6.3 Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)

Durante el EICV se utilizaron los métodos IPCC, ReCiPe y TRACI del software SimaPro8®, adicionalmente se realizó un estudio de los impactos por humos de soldadura de acuerdo a la metodología de la NOM-010-STPS-1999 para contaminación por agentes químicos en un ambiente laboral. La utilización de los diferentes métodos permitió un análisis más completo y con datos más concretos sobre los impactos durante el proceso de producción del Hot-end.

Mediante el método IPCC se realizó un análisis de daño potencial para los materiales del AICV, con el fin de saber cuál o cuáles representan mayor riesgo al medio ambiente. Para la evaluación del impacto de las diferentes etapas ciclo de vida se seleccionaron dos métodos, ReCiPe y TRACI, ambos con valores de puntos medio. Las categorías de ambos métodos permiten un análisis comparativo de los impactos, generando resultados más certeros del proceso de producción del Hot-end. Por último con los resultados obtenidos mediante los métodos ReCiPe y TRACI se realizó un análisis de sensibilidad con la finalidad de generar alternativas ambientalmente amigables durante la producción.

6.3.1 Daño potencial de materiales del sub-ensamble Hot-end

Del análisis de inventario de ciclo de vida se obtuvieron once materiales que son utilizados durante la producción del producto final, los cuales fueron modelados mediante SimaPro 8®. Para efectos del estudio, se tomó como unidad básica comparable un kilogramo de cada una de los materiales, de tal manera que los datos puedan ser comparables entre sí, obteniendo el daño potencial de cada material.

El método utilizado para la modelación de los datos fue el propuesto por IPCC el cual recibe este mismo nombre. Mediante este método se obtienen los kilogramos de CO₂ eq respectivos de cada material, los resultados obtenidos se encuentran descritos en la tabla 12, cabe destacar que el ceramic brick fue un material añadido a la base de SimaPro8® y está conformado por kaolin, talc, oxido de aluminio, hidróxido de aluminio y silica.

Tabla 12. Materiales del sub-ensamble Hot-end modelados con método IPCC en SimaPro 8®

IPCC GWP 100a	
Material	kg CO2 eq
Cobre	9,61
Acero inoxidable	3,39
Oxígeno líquido	2,80
Bolsa	2,78
Fibra de vidrio	1,90
Caja de cartón	1,16
Ceramic brick	0,35
Argón líquido	0,04
Pallet	0,03
Agua	9,27E-04
Agua destilada	1,37E-06

Fuente: Base de datos SimaPro8® (2015).

Mediante las emisiones equivalentes de CO₂ se puede entender la contribución de cada uno de los materiales al cambio climático, uno de los principales problemas ambientales que se enfrentan en la actualidad, por tal motivo es importante comprender cuál es el material potencialmente más dañino que está siendo utilizado, en la figura 8 se ilustran los materiales que presentan valores $\geq 1\%$ al daño potencial, la caracterización está representada en base al 100% de los daños.

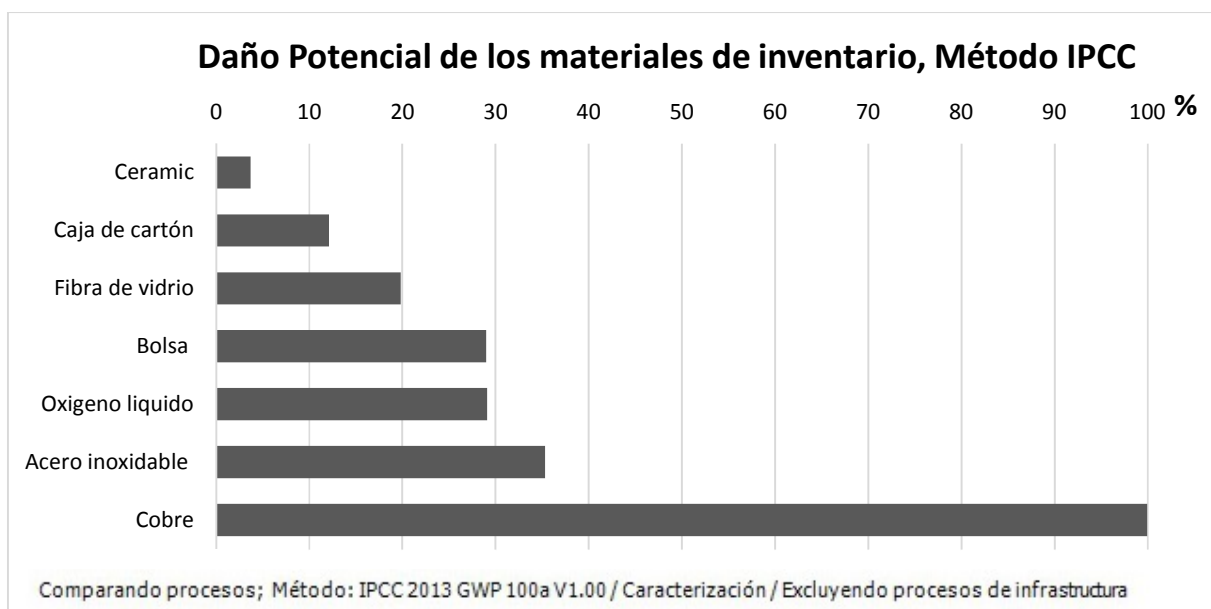


Figura 8. Caracterización de los materiales de inventarios, método IPCC

Fuente: Elaborado y modificado de la base de datos SimaPro 8® (2015).

Como se puede observar el material que mayor impacto genera es el cobre con 9.6 kg de CO₂ eq, dicha cantidad es tres veces mayor que la obtenida para el acero inoxidable, segundo material con mayor impacto obtenido. Además de estos materiales, el oxígeno líquido y la bolsa de plástico presentan elevadas cantidades de CO₂ eq por kg.

6.3.2 Método ReCiPe

ReCiPe es un método que se desarrolló en combinación de los métodos CML2001 y Eco-Indicator 99, por tal motivo la hace uno de los métodos con más alta solidez científica (IHOBE, 2009), el objetivo principal de este método es transformar la lista de los resultados de inventario, en un número limitado de indicadores puntuales que expresan el daño relativo mediante categorías de impacto a los ecosistemas y a la salud humana (ReCiPe, 2015). Este método se divide en dieciocho indicadores de punto medio y tres de punto finales, los primeros dieciocho presentan una estructura robusta de impactos y los puntos finales son más concretos, para fines de este estudio se utilizó

el método ReCiPe mid-points o de punto medio, mediante el cual se caracterizó y normalizó los impactos generados durante el proceso de ensamblaje del Hot-end.

Durante la caracterización las cantidades inventariadas de cada sustancia se adicionan dentro de la categoría de impacto a la que contribuye. La adición de las diferentes sustancias que impactan una misma categoría se realiza mediante un indicador o sustancia de referencia, de tal modo que podemos representar la contribución de una sustancia a determinada categoría de impacto en relación una sustancia de referencia, con unidades específicas (IHOBE, 2009).

Los resultados de la caracterización del proceso de producción del Hot-end realizada mediante el método ReCiPe se muestra en la tabla 13, las dieciocho categorías se representan por su unidad de impacto y las cantidades totales de las mismas, ordenadas de mayor a menor.

Tabla 13. Resultados de la caracterización mediante el método ReCiPe punto medio (E)

Categoría de impacto	Unidad	Total
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,33E+04
Eco-toxicidad marina	kg 1,4-DB eq	8,90E+03
Agotamiento de metales	kg Fe eq	5,35E+03
Cambio climático	kg CO ₂ eq	2,58E+03
Ocupación de suelo agrícola	m ² a	8,57E+02
Agotamiento fósil	kg oil eq	8,28E+02
Radiación ionizante	kBq U235 eq	4,79E+02
Agotamiento de agua	m ³	1,19E+02
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1,96E+01
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	1,07E+01
Formación de materia particulada	kg PM ₁₀ eq	1,04E+01
Eco-toxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	9,34E+00
Eco-toxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	2,03E+00
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	6,56E-01
Eutrofización marina	kg N eq	3,90E-01
Ocupación de suelo urbano	m ² a	6,10E-02
Transformación de suelo natural	m ²	4,70E-02
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC ⁻¹¹ eq	1,25E-04

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Las categorías que presentan mayor impacto son la toxicidad humana, la eco-toxicidad marina, el agotamiento de metales y el cambio climático. Durante la caracterización se puede visualizar que partes del proceso generan mayor impacto a cada una de las categorías con una escala en base 100% del impacto total, los resultados se ilustran en la figura 9.

La etapa de brazing destaca por su alto impacto en la mayoría de las categorías, seguido por ending y posteriormente por flexible. Una vez realizada la caracterización es posible

realizar una normalización con los datos obtenidos. La normalización es una conversión de los resultados de la caracterización a unidades globales neutras, teniendo en cuenta la contaminación por área geográfica y un momento dado, determinando la importancia relativa de cada categoría de impacto sobre el problema ambiental local (IHOBE, 2009).

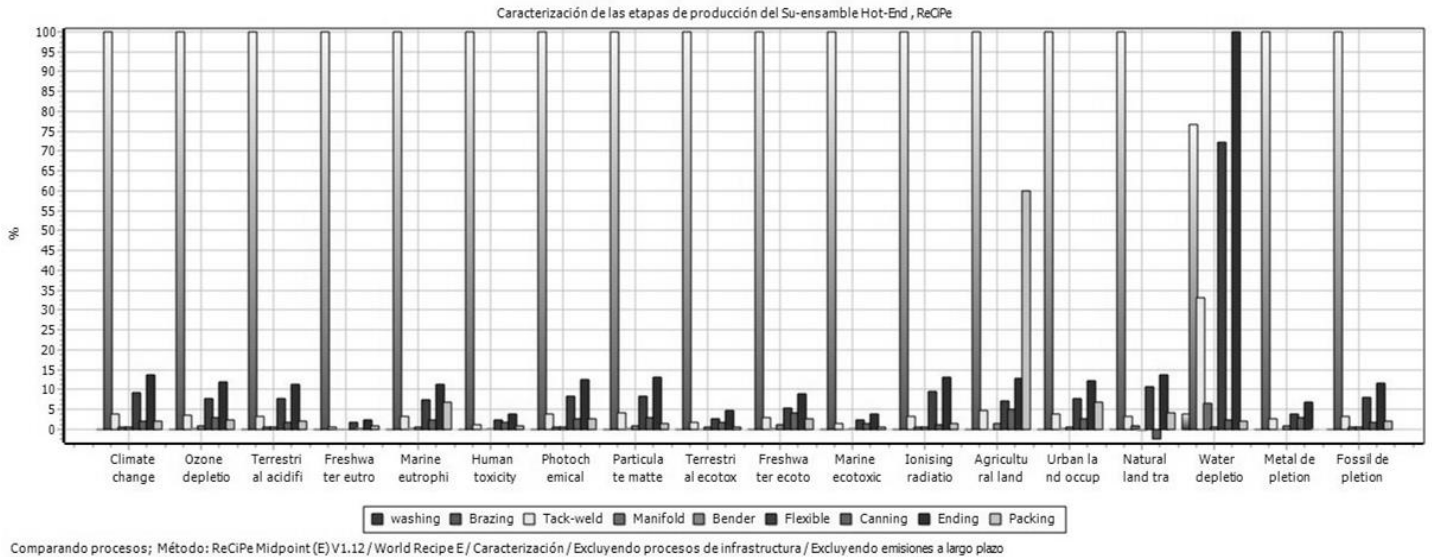


Figura 9. Caracterización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método ReCiPe

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Cabe destacar que la normalización es un paso adicional a la fase de impacto de ciclo de vida y generalmente son expresados por un periodo de un año, los resultados obtenidos para este estudio se muestran en la figura 10, las categorías que se tomaron en cuenta son aquellas cuyo valor es mayor al 0.5 del factor de impacto.

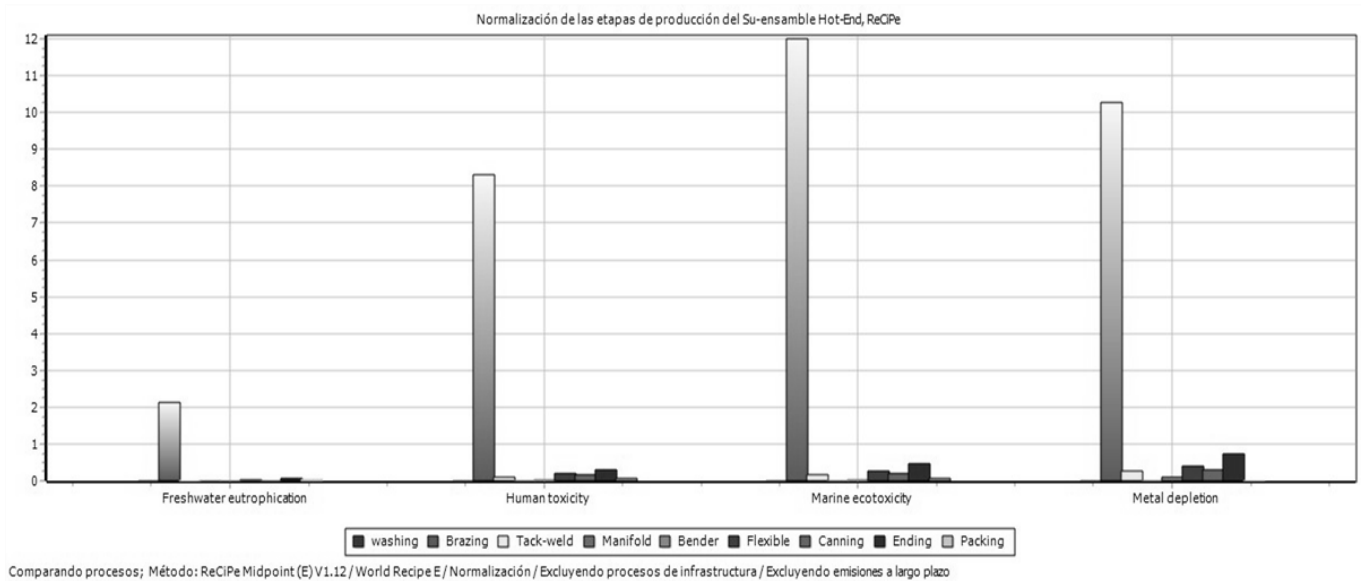


Figura 10. Normalización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método ReCiPe

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Mediante la normalización se obtuvieron cuatro categorías con mayor relevancia, de mayor a menor se encuentra la toxicidad marina, el agotamiento de metales, la toxicidad humana y por último la eutrofización de agua dulce, al igual que en la caracterización la etapa de proceso que más sobresale es el área de brazing.

6.3.3 Método TRACI

El método TRACI fue desarrollado en 1995, muchas de sus categorías han sido importadas de otras metodologías (Ec99 y CML2001) y permite una evaluación del impacto de un producto mediante diez categorías (IHOBE, 2009). Las categorías convencionales de contaminación se incluyeron debido a diversos programas y reglamentos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), sin embargo, presenta categorías referente a la salud humana.

Las categorías que tuvieron mayor impacto durante la caracterización del sub-ensamble Hot-end en el método TRACI fueron la eco-toxicidad, el agotamiento de fuentes fósiles y el calentamiento global (tabla 14). Posteriormente se graficó el impacto de cada una de las etapas a las categorías del método TRACI, dichos resultados se ilustran en la figura 11.

Tabla 14. Resultados de la caracterización mediante el método TRACI

Categoría de impacto	Unidad	Total
Eco-toxicidad	CTUe	7,23E+03
Agotamiento de fuentes fósiles	MJ surplus	2,84E+03
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	2,77E+03
Generación de smog	kg O ₃ eq	1,86E+02
Eutrofización	kg N eq	5,88E+01
Acidificación	kg SO ₂ eq	1,98E+01
Efectos respiratorios	kg PM _{2.5} eq	5,36E+00
No carcinogénicos	CTUh	1,15E-03
Carcinogénicos	CTUh	4,92E-04
Agotamiento de la capa de ozono	kg CFC ⁻¹¹ eq	1,56E-04

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

La etapa que mayor impacto tiene en todas las categorías caracterizadas es brazing, seguido por ending y flexible, de igual forma para tener una interpretación por región, se realizó una normalización, en la figura 12 se muestran los resultados más relevantes, con aquellas categorías que presentaron un impacto mayor a 0.5.

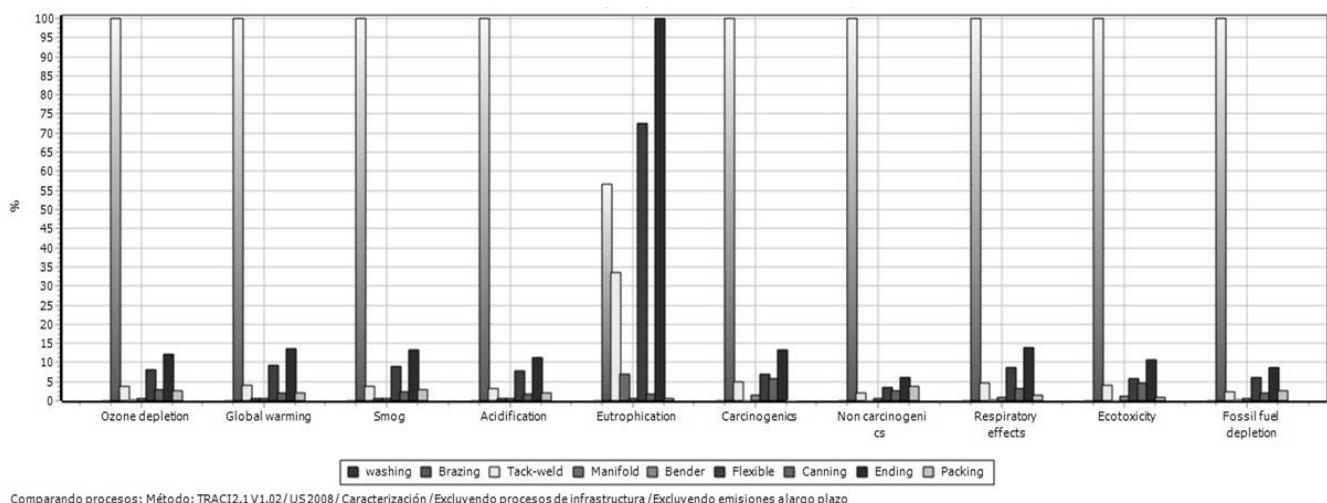


Figura 12. Caracterización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método TRACI

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Las categorías con mayores impactos durante la normalización en orden de mayor a menor fueron carcinogénicos, eutrofización, no carcinogénicos y eco-toxicidad, como se presenta en la figura 12. De igual forma se puede observar que el proceso que más impacto tiene en todas las categorías es brazing.

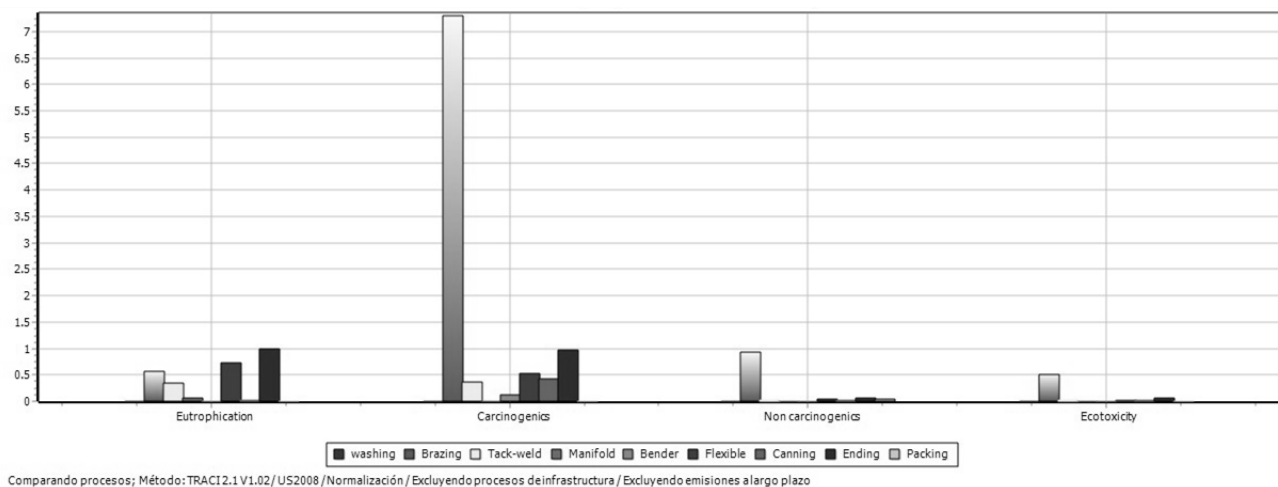


Figura 11. Normalización de las etapas de producción del sub-ensamble Hot-end, método TRACI

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

6.3.4 Análisis de sensibilidad

Al realizar el análisis de sensibilidad se consideró las alternativas viables para reducir impactos ambientales, por lo cual se optó por elegir el material que es más utilizado para la fabricación del Hot-end, es decir, el acero inoxidable, el cual es el segundo con mayor impacto en la producción. Cabe destacar que la industria acero es conocida por su alto consumo de energía en el sector manufacturero, consumiendo 5% de la energía total y

emitiendo cerca del 6% del CO₂ antropocéntrico (Abdul et al., 2015), resultando de una toneladas de acero manufacturado cerca de 1.8 toneladas de CO₂ emitido (Patel y Seetharaman, 2013).

En el análisis de sensibilidad se consideraron todas las etapas donde el acero inoxidable entraba al sistema como materia prima virgen y se sustituyó con metal reciclado, obteniendo dos modelos, el sub-ensamble Hot-end con materia prima virgen y el sub-ensamble Hot-end 2 con material reciclado como alternativa para la reducción de impactos,. En la figura 13 y 14 se muestra la comparación de los métodos ReCiPe y TRACI.

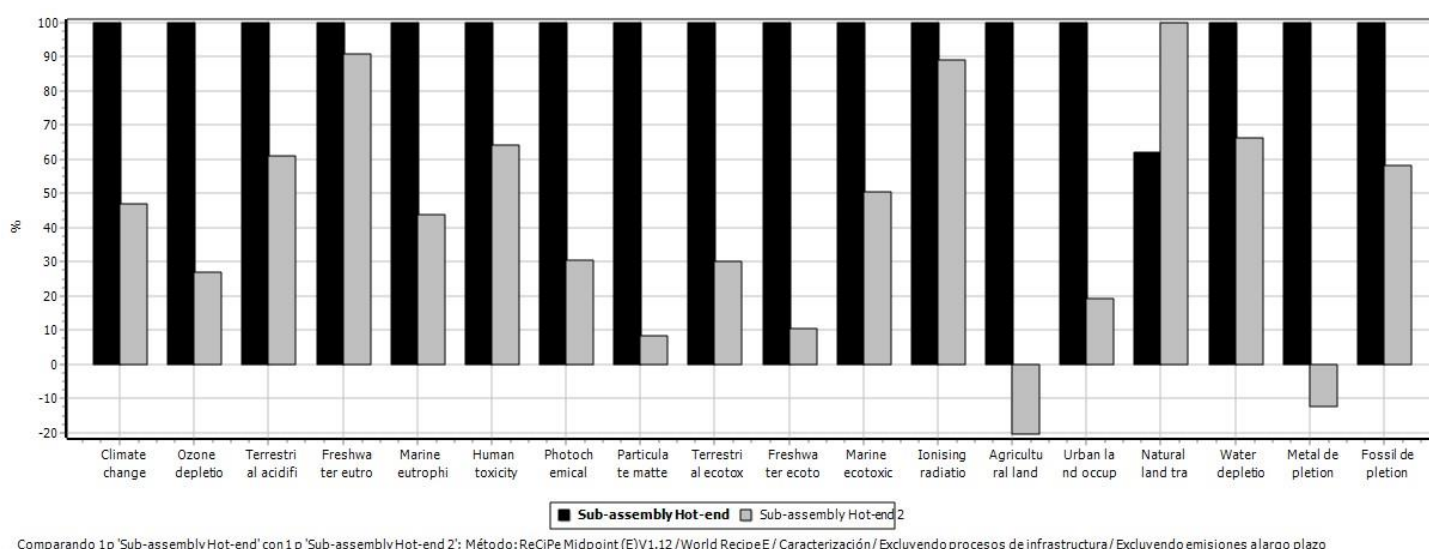
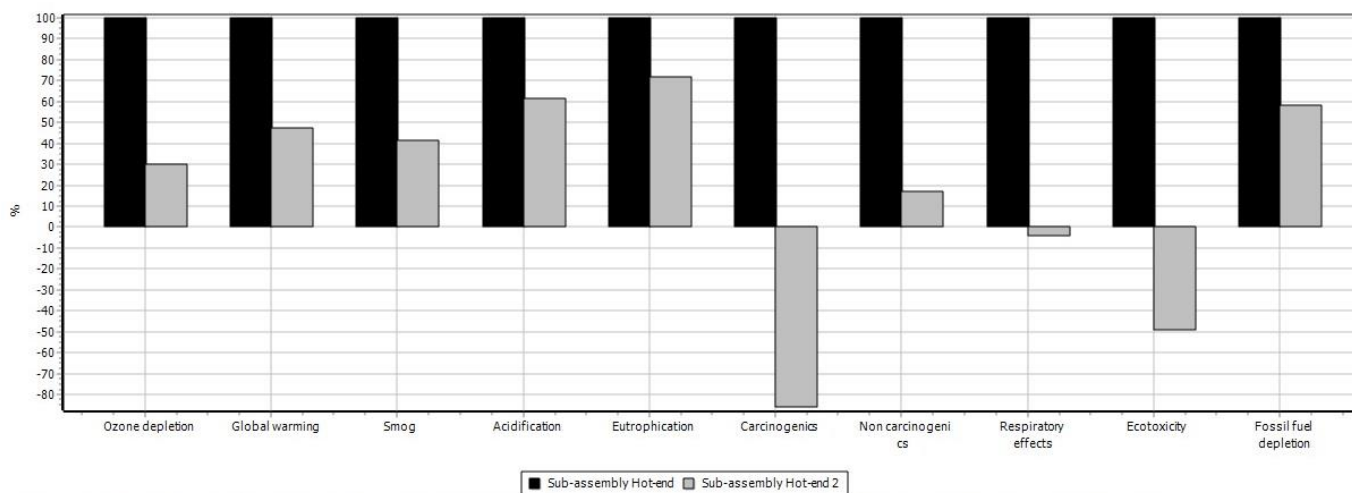


Figura 13. Análisis de sensibilidad durante el proceso de producción del Hot-end, Método ReCiPe

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

En la mayoría de las categorías del método ReCiPe, excepto en la transformación de suelo natural, tuvo un menor impacto el sub-ensamble Hot-end 2, lo cual significa que hay un considerable cambio en el impacto mediante la implementación de material reciclado, especialmente en las categorías de ocupación de terreno agrícola y agotamiento de metales. En el caso de del método TRACI, todas las categorías del sub-ensamble Hot end 2 tiene un menor impacto, especialmente en los efectos carcinógenos y la eco-toxicidad.

La caracterización mostro un alto cambio en el impacto con la introducción de acero reciclado, para comprender el cambio que genera en cada una de las categorías se obtuvo el factor de cambio mediante la diferencia de impactos del sub-ensamble Hot-end y sub-ensamble Hot-end 2, dichos resultados están representados de mayor a menor impacto en las tablas 15 y 16 para el método ReCiPe y TRACI respectivamente.



Comparando 1 p 'Sub-assembly Hot-end' con 1 p 'Sub-assembly Hot-end 2'; Método: TRACI2.1 V1.02 / US2008 / Caracterización / Excluyendo procesos de infraestructura / Excluyendo emisiones a largo plazo

Figura 14. Análisis de sensibilidad durante el proceso de producción del Hot-end, Método TRACI

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Tabla 15. Factor de cambio por la introducción de acero reciclado, Método ReCiPe.

Categoría de impacto	Unidad	Sub-assembly Hot-end	Sub-assembly Hot-end 2	Factor de cambio
Agotamiento de metales	kg Fe eq	5,35E+03	-6,70E+02	6,02E+03
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,33E+04	8,58E+03	4,75E+03
Eco-toxicidad marina	kg 1,4-DB eq	8,93E+03	4,52E+03	4,41E+03
Cambio climático	kg CO ₂ eq	2,58E+03	1,21E+03	1,37E+03
Ocupación de suelo agrícola	m ² a	8,57E+02	-1,75E+02	1,03E+03
Agotamiento fósil	kg oil eq	8,28E+02	4,81E+02	3,46E+02
Agotamiento de agua	m ³	1,19E+02	7,86E+01	4,00E+01
Ocupación de suelo urbano	m ² a	2,52E+01	4,86E+00	2,03E+01
Radiación ionizante	kBq U235 eq	1,39E+02	1,24E+02	1,51E+01
Formación de material particulado	kg PM10 eq	1,04E+01	8,71E-01	9,53E+00
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1,96E+01	1,20E+01	7,64E+00
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	1,07E+01	3,28E+00	7,44E+00
Eco-toxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	9,34E+00	2,81E+00	6,53E+00
Eco-toxicidad de agua dulce	kg 1,4-DB eq	2,03E+00	2,11E-01	1,82E+00
Eutrofización marina	kg N eq	3,91E-01	1,71E-01	2,20E-01
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	6,56E-01	5,95E-01	6,04E-02
Agotamiento de capa de ozono	kg CFC ⁻¹¹ eq	1,25E-04	3,36E-05	9,12E-05
Transformación de tierra natural	m ²	4,70E-02	7,57E-02	-2,87E-02

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Tabla 16. Factor de cambio por la introducción de acero reciclado, Método TRACI

Categoría de impacto	Unidad	Sub-assembly Hot-end	Sub-assembly Hot-end 2	Factor de cambio
Eco-toxicidad	CTUe	7,23E+03	-3,54E+03	1,08E+04
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	2,77E+03	1,30E+03	1,46E+03
Agotamiento de fuentes fósiles	MJ surplus	2,84E+03	1,65E+03	1,19E+03
Generación de smog	kg O ₃ eq	1,86E+02	7,74E+01	1,09E+02
Eutrofización	kg N eq	5,88E+01	4,21E+01	1,67E+01
Acidificación	kg SO ₂ eq	1,98E+01	1,22E+01	7,61E+00
Efectos respiratorios	kg PM2.5 eq	5,36E+00	-2,11E-01	5,57E+00
No carcinogénicos	CTUh	1,15E-03	1,93E-04	9,57E-04
Carcinogénicos	CTUh	4,92E-04	-4,23E-04	9,15E-04
Reducción de la capa de ozono	kg CFC ⁻¹¹ eq	1,56E-04	4,70E-05	1,09E-04

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

6.3.4 Impacto por humos de soldadura

Adicionalmente se realizó un estudio de medición de metales de soldadura con la finalidad de complementar los resultados de SimaPro 8®, para lo cual se utilizó una bomba de muestreo universal para humos de soldadura. Las etapas analizadas fueron: brazing, tack-weld, manifold, flexible y ending y la serie de acero inoxidable perteneciente al sub-assembly Hot-end es la 409, el cual se compone 85.5 % de hierro, 10.5-11.7% de cromo y el 4-2.8% pertenece a la aleación del carbono, manganeso, fosforo, sulfuro, silicón, nickel, nitrógeno y titanium. Los metales analizados en los humos de soldadura fueron los que presenta el acero inoxidable en mayor porcentaje, el hierro y el cromo, se utilizaron filtros para metales según la metodología descrita en la NOM-010STPS-1999 EPA 6010 B, los resultados se muestran en la figura 15.

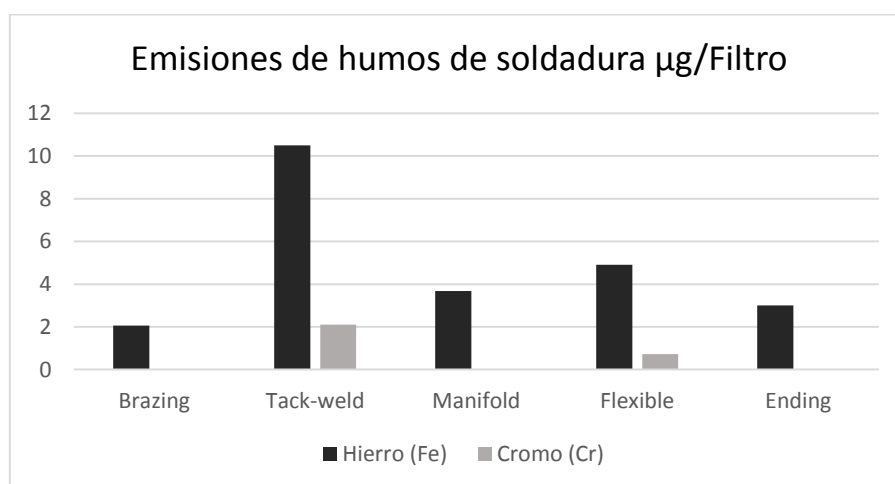


Figura 15. Emisiones de humos de soldadura en las etapas de producción de Hot-end.

Fuente: Elaboración propia (2015)

Como se puede observar la etapa de producción que más emisiones presenta es el área de tack-weld tanto para el Fe (10.05 µg/filtro) como para el Cr (2.11 µg/filtro), sin embargo, es el área más pequeña de producción, con solo una máquina de soldadura. Posteriormente se tiene flexible como la segunda área con mayor impacto para el Fe (4.9 µg/filtro) y el Cr (0.73 µg/filtro), esta área presenta cuatro máquinas para su producción, tanto tack-weld como flexible fueron las únicas etapas que se registró el cromo, en las demás etapas únicamente se registró humus de soldadura por Fe de mayor a menor está el manifold (3.7 µg/filtro) , ending (3 µg/filtro) y por ultimo brazing (2.06 µg/filtro).

6.4 Interpretación del Ciclo de Vida.

6.4.1 Evaluación del daño potencial mediante el método IPCC

Como se observó en la sección anterior, el cobre es el material utilizado con mayor potencial de impacto con un 100% (9.61 kg CO₂ eq), seguido por el acero inoxidable con un 35.5 % (3.39 kg CO₂ eq), cabe destacar que ambos materiales se tratan de un recurso no renovable y cuya extracción representa una actividad minera. Bajo este contexto, es necesario comprender que la extracción minera actualmente presenta una de las mayores preocupaciones en temas ambientales, entre otros factores, por su sistema de obtención, en su mayoría a cielo abierto, permitiendo una extracción de volúmenes mayores a menor costo, así como el incremento de procesos más agresivos para el ambiente como la hidrometalurgia, la lixiviación con cianuro o soluciones ácidas, la pirometalurgia, electrometalurgia, entre otros (Graf et al., 2010).

El cobre a diferencia del hierro, es un recurso que se encuentra en menor abundancia y que actualmente tienen una demanda en ascenso con una tendencia (Tilton y Lagos, 2007; Radetziki, 2009), lo anterior podría aumentar los costos de extracción y las áreas explotadas para la misma, generando un impacto ambiental aún mayor.

Otros materiales con alto impacto son el oxígeno líquido (2.8 kg CO₂ eq), la bolsa de plástico (2,78 kg CO₂ eq), la fibra de vidrio (1.9 kg CO₂ eq), y la caja de cartón (1.16 kg de CO₂ eq), la producción de estos elementos representan un elevado uso de energía y recurso fósil, para el caso de la caja de cartón, representa además el aumento de áreas forestales explotadas para su producción. Es importante resaltar que se trata de una producción industrial, a pesar de que la cantidad en el uso de los materiales puede variar, todos están inmersos en un sistema de producción continuo, que a largo plazo puede tener fuertes impactos. Con los resultados obtenidos se pueden realizar una lista de materiales prioritarios que pueden ser sustituidos.

6.4.2 Evaluación impacto mediante método ReCiPe.

Las categorías de mayor impacto por la generación de una tonelada de Hot-end son la toxicidad humana ($1.33E+04$ kg -1.4 DB eq), la eco-toxicidad marina ($8.9E+03$ kg -1.4 DB eq), el agotamiento de metales ($5.35 E+03$ kg Fe eq) y el cambio climático ($2.58 E+03$ kg CO₂ eq).

Como se observa en la figura 8, brazing es la etapa del proceso con los valores más elevados en todas las categorías del método ReCiPe. Para describir cuales son las causas del impacto dentro de esta etapa se realizaron diagramas de árbol en las categorías que presentaron los mayores valores (toxicidad humana, eco-toxicidad marina, agotamiento de metales y cambio climático). Para el caso de la toxicidad humana se puede observar en la figura 16 que la mayor contribución está dada por los procesos de producción de cobre, acero inoxidable y en menor medida argón. Gran parte del impacto generado en brazing (92% respecto al total) se explica por ser la única categoría en donde se utiliza el cobre, material de alto impacto ambiental como se pudo observar en el análisis de potencial de impacto de los materiales de inventario.

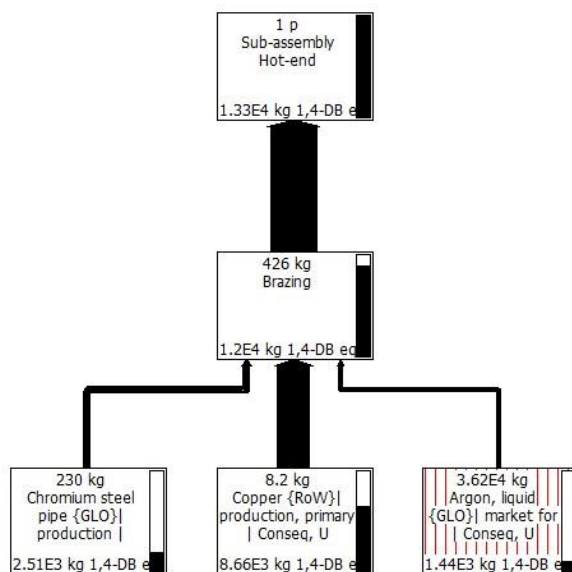


Figura 16. Diagrama de árbol de la toxicidad humana

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

En la figura 17 se puede observar el diagrama de árbol de la eco-toxicidad marina para el etapa de brazing, esta etapa representa el 91% del impacto total de dicha categoría. El patrón es similar al de la toxicidad humana, el mayor impacto esta generado por la producción del cobre, seguido por el acero inoxidable y por último el argón líquido. Los resultados en éstas dos categorías destacan el fuerte impacto en la toxicidad ambiental por extracción y producción del cobre.

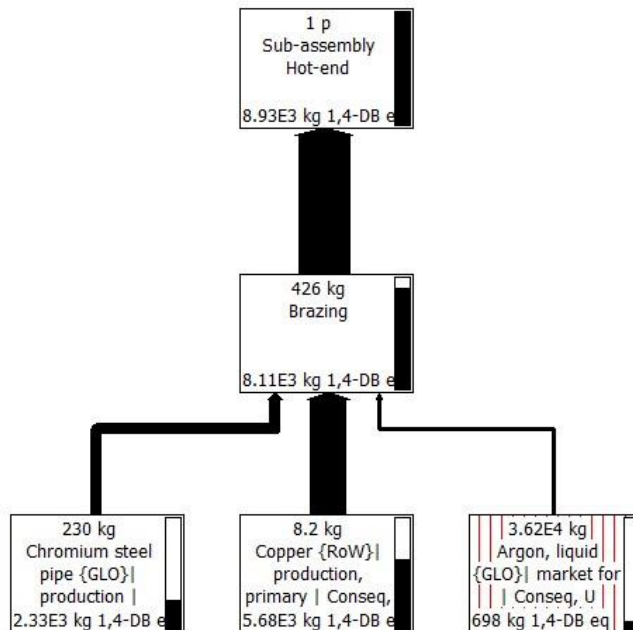


Figura 17. Diagrama de árbol de la eco-toxicidad marina
 Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

En la figura 18 se observa la contribución al agotamiento de los metales, la etapa brazing contribuye un 85% y ending un 5.9% a esta categoría, la principal causa del impacto es ocasionada por la extracción de acero inoxidable y seguido por el cobre.

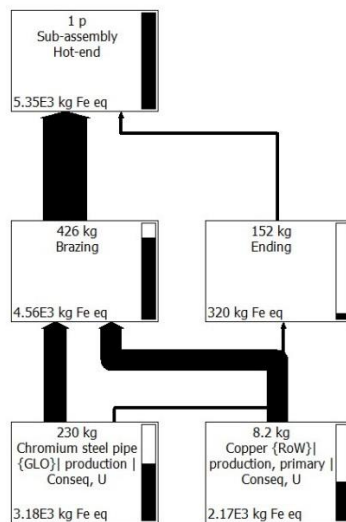


Figura 18. Diagrama de árbol del agotamiento de metales
 Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Por último, en la figura 19 se muestra por último la contribución al cambio climático el cual esta generado por brazing (75.5%), ending (10.3%) y flexible con (6.99%). La mayor contribución al cambio climático es debido a la alta producción de argón líquido, seguido por la extracción de acero inoxidable, y por último, la producción de oxígeno líquido que genera.

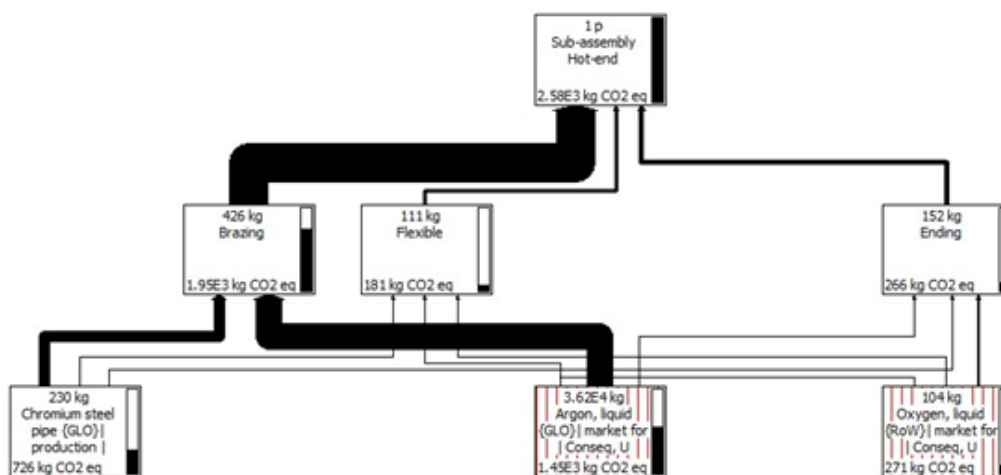


Figura 19. Diagrama de árbol del cambio climático

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Se analizaron las sustancias que están presente durante las categorías descritas en los diagramas de árbol, con un valor de corte $\geq 1\%$, las cuales están descritas en las tablas 17-20.

Tabla 17. Sustancias presentes en la categoría de eco-toxicidad marina

Eco-toxicidad marina			
Sustancia	Compartimento	Unidad	Total
Total		kg 1.4-DB eq	172,082.53
Substancias remanentes		kg 1.4-DB eq	6,719.67
Níquel	Agua	kg 1.4-DB eq	83,844.43
Berilio	Agua	kg 1.4-DB eq	22,397.92
Selenio	Agua	kg 1.4-DB eq	20,282.13
Cobalto	Agua	kg 1.4-DB eq	17,006.45
Manganeso	Agua	kg 1.4-DB eq	7,791.47
Cobre	Agua	kg 1.4-DB eq	5,760.36
Cobre	Aire	kg 1.4-DB eq	3,509.84
Níquel	Aire	kg 1.4-DB eq	2,551.05
Vanadio	Agua	kg 1.4-DB eq	2,219.16

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Tabla 18. Sustancias presentes en la categoría de toxicidad humana

Toxicidad humana			
Sustancia	Compartimento	Unidad	Total
Total		kg 1.4-DB eq	148,032.59
Substancias remanentes		kg 1.4-DB eq	3,414.88
Selenio	Agua	kg 1.4-DB eq	72,634.32
Manganeso	Agua	kg 1.4-DB eq	38,506.09
Arsénico	Agua	kg 1.4-DB eq	12,478.55

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Molibdeno	Agua	kg 1.4-DB eq	6,140.97
Bario	Agua	kg 1.4-DB eq	6,136.75
Arsenico	Aire	kg 1.4-DB eq	5,647.47
Selenio	Aire	kg 1.4-DB eq	3,073.53

Tabla 19. Sustancias presentes en la categoría de agotamiento de metales

Agotamiento de metales			
Sustancia	Compartimento	Unidad	Total
Total		kg Fe eq	5,348.56
Substancias remanentes		kg Fe eq	31.94
Cobre, 0.99% en sulfuro, Cu 0.36% y Mo 8.2E-3% en mineral crudo	Crudo	kg Fe eq	2,017.47
Nickel, 1.98% en silicatos, 1.04% en mineral crudo	Crudo	kg Fe eq	1,605.45
Cromo	Crudo	kg Fe eq	1,397.04
Molibdeno, 0.022% en sulfuro, Mo 8.2E-3% y Cu 0.36% mineral crudo	Crudo	kg Fe eq	211.36
Hierro	Crudo	kg Fe eq	177.82

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Tabla 20. Sustancias presentes en la categoría de cambio climático

Cambio climático			
Sustancia	Compartimento	Unidad	Total
Total		kg CO2 eq	2,584.61
Substancias remanentes		kg CO2 eq	36.06
Dióxido de carbono, fósil	Aire	kg CO2 eq	247.71
Metano, fósil	Aire	kg CO2 eq	72.83

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

6.4.2 Evaluación impacto mediante método TRACI

Las categorías de mayor impacto mediante el método TRACI fueron la eco-toxicidad (7,23E+03 CTUe), el agotamiento de fuentes fósiles (2,28E+03 MJ surplus) y el calentamiento global (2,77E+03 kg CO2 eq). En la figura 20 se muestra la contribución de las etapas a la eco-toxicidad, con la etapa de brazing contribuyendo un 90.9%, del cual al igual que en el método ReCiPe la mayor parte corresponde a la extracción del cobre y en menor medida a la extracción de acero.

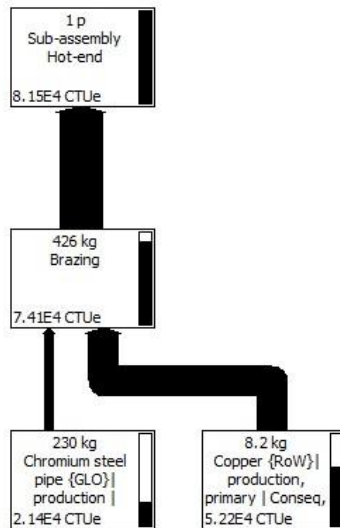


Figura 20. Diagrama de árbol de la eco-toxicidad

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

En la figura 21 se muestra la contribución de los procesos al agotamiento de fuentes fósiles, donde el 81.7 % es corresponde a brazing y 7.18 % a ending, la principal causa del impacto durante esta categoría es la utilización de argón líquido, y en menor medida la producción de acero inoxidable.

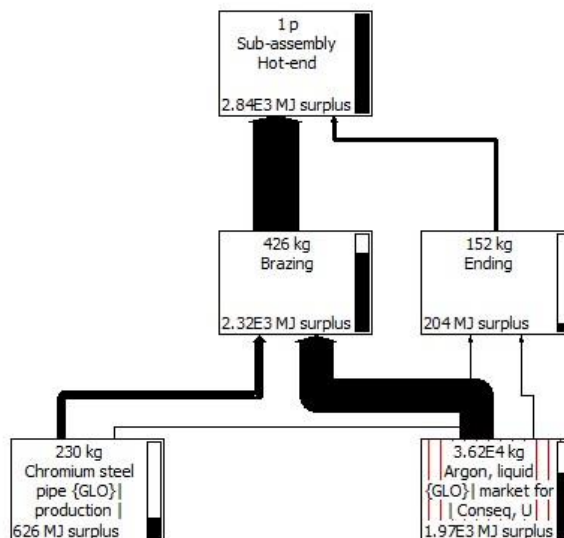


Figura 21. Diagrama de árbol del agotamiento de fuentes fósiles

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

En la figura 19 se muestra el impacto al calentamiento global, donde brazing contribuye un 75.7%, flexible 6.9% y ending 10.2%, en este caso se observa que la mayor contribución es ocasionado por la producción de argón líquido, en segundo lugar está la producción de acero inoxidable y por último la producción oxígeno líquido.

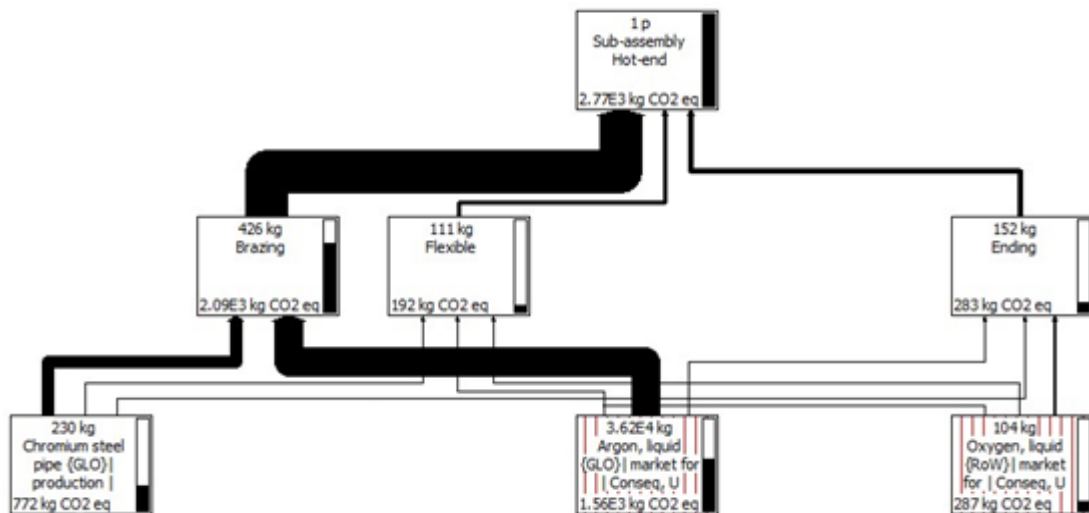


Figura 22. Diagrama de árbol del calentamiento global

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

En las siguientes tablas (21-23) se muestran las sustancias que debido al proceso de producción del Hot-end están presentes en las categorías del método TRACI con valores más elevados, con la finalidad de describir las sustancias que están presentes en mayor cantidad se realizó un corte $\geq 1\%$. Se observa que diferentes tipos de metales contribuyen a la toxicidad, y que la generación de contaminantes está dada principalmente por los diferentes procesos de combustión para la generación de energía.

Tabla 21. Sustancias presentes en la categoría de Eco-toxicidad

Eco-toxicidad			
Sustancia	Compartimento	Unidad	Total
Total		CTUe	7,228.67
Substancias remanentes		CTUe	366.13
Antimonio	Aire	CTUe	316.32
Arsénico	Aire	CTUe	148.04
Cromo	Aire	CTUe	4,120.68
Cromo VI	Aire	CTUe	204.07
Cromo VI	Agua	CTUe	573.80
Cobre	Aire	CTUe	690.00
Níquel	Aire	CTUe	107.42
Zinc	Aire	CTUe	455.41
Zinc	Agua	CTUe	169.23
Zinc	Suelo	CTUe	77.53

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Tabla 22. Sustancias presentes en la categoría de fuentes fósiles

Calentamiento global			
Sustancia	Compartimento	Unidad	Total
Total		kg CO2 eq	2,766.18
Substancias remanentes		kg CO2 eq	19.80
Dióxido de carbono, fósil	Aire	kg CO2 eq	2475.71
Monóxido nitroso	Aire	kg CO2 eq	31.07
Metano, fósil	Aire	kg CO2 eq	239.59

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

Tabla 23. Sustancias presentes en la categoría de calentamiento global

Agotamiento de fuentes fósiles			
Sustancia	Compartimento	Unidad	Total
Total		MJ surplus	2,835.58
Substancias remanentes		MJ surplus	17.07
Carbón	Crudo	MJ surplus	145.18
Gas de escape de minería de carbón/m3	Crudo	MJ surplus	47.45
Gas, natural/m3	Crudo	MJ surplus	1,390.98
Petróleo, crudo	Crudo	MJ surplus	1,234.88

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

6.4.2 Contribución al cambio climático método TRACI y ReCiPe

En la figura 21 y 22 se compara la contribución al cambio climático en cada una de las etapas de la producción del sub-ensamble, para fines del estudio esta categoría tiene relevancia ya que la unidad funcional está representada en tonelada de CO₂ eq. En el diagrama de árbol se puede observar que la distribución es muy parecida en los métodos ReCiPe y TRACI, en orden de mayor a menor impacto se tiene a la etapa de brazing, ending, flexible, tack-weld, packing, canning, bender, manifold y washing. Al igual que en otras categorías la etapa de brazing tiene un impacto muy elevado en comparación a las demás, esto se debe principalmente al uso de argón líquido para el proceso de soldadura y metales (acero inoxidable y cobre), además es la etapa que utiliza mayor cantidad de energía para el ensamble de las piezas de acero inoxidable.

En esta categoría se puede observar una relación entre la cantidad de acero inoxidable y los kg de CO₂ atmosférico ocasionados. A excepción de la etapa de packing, donde no se utiliza nuevas piezas de acero inoxidable, sin embargo es necesario la utilización de otros materiales como el cartón, la madera y el plástico, los cuales también presentan un impacto considerable al medio ambiente.

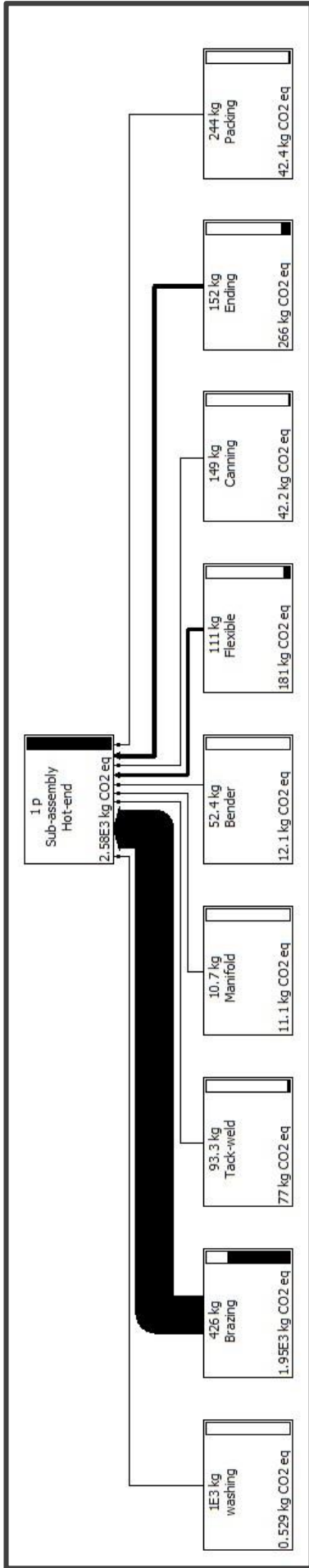


Figura 23. Kg CO₂ eq por etapa de producción del Hot-end, ReCiPe

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

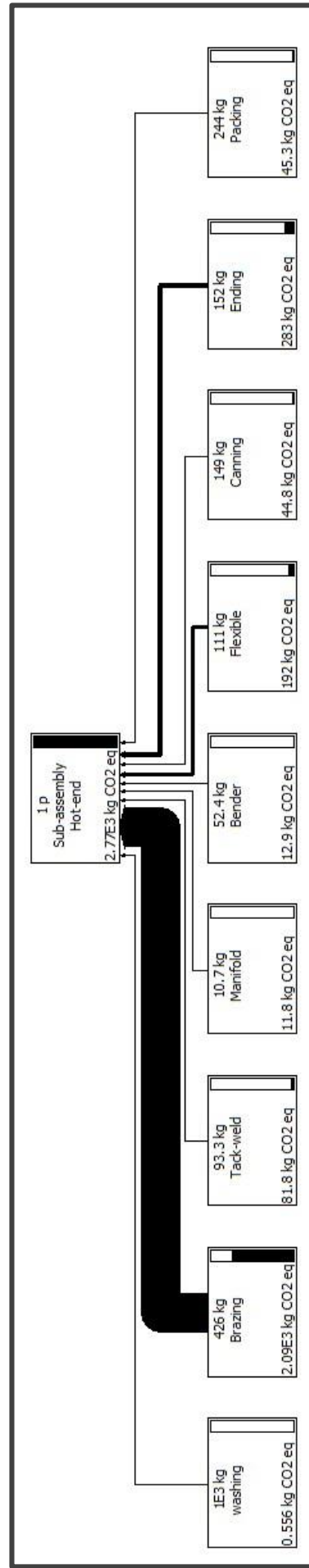


Figura 24. Kg CO₂ por etapa de producción de Hot-end, TRACI

Fuente: Base de datos SimaPro 8® (2015).

6.4.3 Análisis de sensibilidad

Para representar la reducción real del impacto que tiene la introducción de acero inoxidable reciclado en cada categoría se seleccionaron los factores de cambio de las tablas 15 y 16 y se graficaron en escala logarítmica (omitiendo los valores negativos), los resultados se muestran en las gráficas 24 y 25.

Las categorías con mayor reducción de impacto en el método ReCiPe son el agotamiento de metales con una reducción de $6.02E+03$ kg Fe eq, la toxicidad humana con $4.75E+03$ kg 1.4 DB eq, la toxicidad marina con $4.41E+03$ 1.4 DB eq, el cambio climático con $1.03 E+03$ kg CO₂ eq, la ocupación de suelo agrícola con $1.03 E+03$ m²a y el agotamiento de recurso fósil con $3.46E+02$ E+02 kg de petróleo eq. Estas categorías implican una reducción en la extracción minera, ya que se reduce el consumo de metales, de energía y químicos para extraerlos, disminuyendo también el terreno de explotación de los mismos.

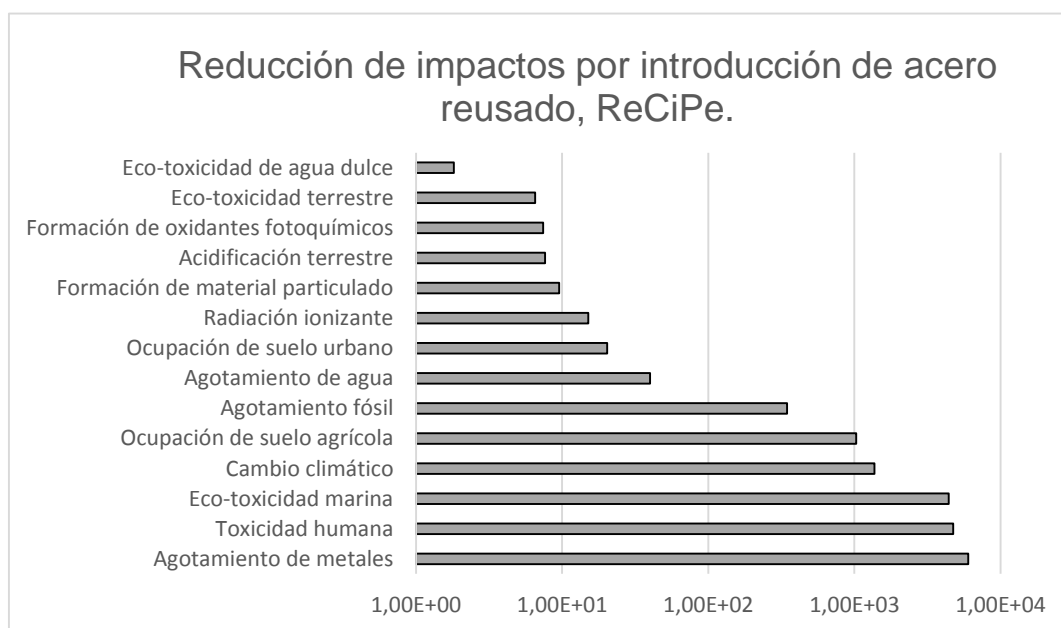


Figura 25. Reducción de impactos por la introducción de acero reciclado, ReCiPe.

Fuente: Elaboración propia (2015)

Cabe destacar que la reducción en la categoría de agotamiento de metales implica no solo la reducción total por extracción, sí no también un ahorro e impacto positivo al ambiente expresado como números negativos en la gráfica presentada en la figura 13, es por eso que el impacto reducido total es mayor que el impacto generado por la producción normal del Hot-end.

Por su parte, el método TRACI también presenta una significativa reducción de impacto en sus categorías, las más relevantes son la eco-toxicidad con $1.08E+04$ CTU, el calentamiento global con $1.46E+03$ kg CO₂ eq, el agotamiento de fuentes fósiles con $1.2E+03$ MJ excedentes y la generación de smog $1.09E+02$ kg O₃ eq. Al igual que ReCiPe, en este método se puede observar que mediante la reducción de la explotación minera, hay un significativo cambio en la toxicidad, en la energía y por lo tanto en su contribución al cambio climático.

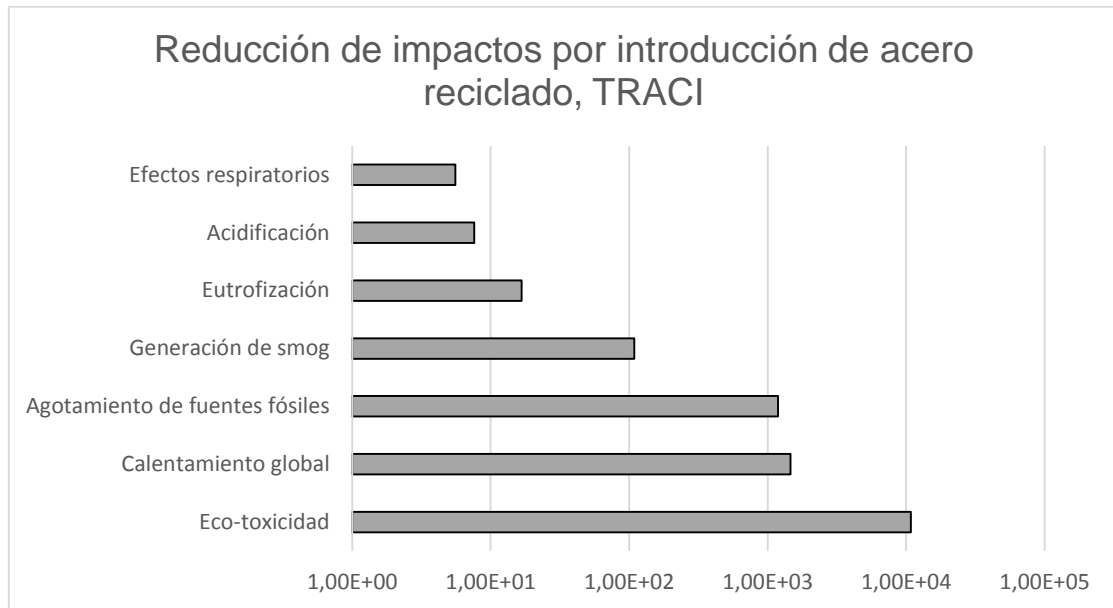


Figura 26. Reducción de impactos por introducción de acero reciclado, TRACI

Fuente: Elaboración propia (2015)

VII. DISCUSIÓN

Los resultados que muestran el ACV presentan varias directrices para una producción más sustentable del sub-ensamble Hot-end, la descripción del proceso mediante el estándar ISO-14040-44 muestra la magnitud de los procesos industriales y su impacto al ambiente, tanto por tipo de recurso usado, como por la cantidad del mismo. El análisis de impacto potencial por material fue complementario para comprender que los materiales del AICV tienen diferente impacto según sus características y las condiciones del ambiente del cual son extraídos. Un factor interesante es analizar cuánto puede variar este impacto dependiendo de la cantidad de material que es requerido durante su producción, para eso se estudió el sistema de producción del Hot-end.

Mediante el AICV se describen cada una de las etapas y materiales requeridos para la producción del sub-ensamble, entre los que destacan por cantidad de consumo el acero inoxidable y el argón. Aparentemente estos materiales no tienen un impacto directo para el ambiente durante su uso, sin embargo a través de la EICV de cuna a puerta se pudo analizar el daño causado por la extracción de los mismos, demostrando que la etapa del ACV con mayor impacto por producción es la extracción de materias primas, principalmente del cobre, el argón y el acero inoxidable.

Durante el EICV también se analizó que los mayores daños causados por estos materiales son los siguientes: eco-toxicidad, toxicidad humana, calentamiento global, agotamiento de metales y de recursos fósiles. Resaltando el impacto de las sustancias de carácter tóxico y el uso de recursos no renovables. Las categorías de toxicidad están relacionadas principalmente con la producción del cobre, generando problemas relacionados con la persistencia ambiental, la bio-acumulación y toxicidad de un químico (Huijbregts et al., 2012), causando graves problemas en las cadenas tróficas y afectando principalmente a los ecosistemas marinos.

Gran parte del impacto en la toxicidad durante el proceso de producción de metales se explica por la generación de sustancias como el As, Cu, Mn, Fe, Ba, Ni, Se, entre otros, que debido a la erosión, dispersión, lixiviado y transportación atmosférica pueden esparcirse hacia sistemas naturales y acuáticos (Paktunc, Foster y G., 2003; Anawar, Canha y Do Carmo Freitas, 2011), por tal motivo la exposición y acumulación de estas sustancias representan problemas de toxicidad no solo en las regiones cercanas a los procesos de minería y metalurgia, sino también en los sistemas a donde son transportadas estas sustancias.

Otras categorías con alto impacto son el potencial de calentamiento global y el uso de energía fósiles, en su mayoría está dado por la producción de argón, esto podría ser explicado por la tecnología utilizada para la producción de argón, la destilación criogénica (generando argón con 99.9% de pureza aproximadamente), puesto que esta técnica representa un uso muy elevado de energía (Belaissaoui et al., 2014).

La etapa de producción que tuvo mayor impacto en todas las categorías para ambos métodos fue brazing debido a que es la única etapa donde se utiliza el cobre, además de la gran cantidad de argón líquido que se requiere para el tipo de soldadura que se realiza en esta estación. Anteriormente en esta etapa se utilizaba una mezcla argón/oxígeno en una proporción 95/5, como las demás etapas de soldadura (tack-weld, manifold, flexible y ending) pero con ayuda del estudio de impactos potenciales se pudo observar que el uso de un kilogramo de argón líquido equivale a 0.04 kg de CO₂ eq, mientras que la producción de un kilogramo de oxígeno significaría 2.8 kg CO₂ eq, lo anterior implica una reducción en impactos ambientales al eliminar el uso de oxígeno en esta etapa, sin embargo es necesario hacer un estudio comparativo para saber el cambio real del impacto ambiental por el cambio de tecnologías que involucra la reducción en el uso de oxígeno líquido y pero a su vez requiere la introducción de cobre.

Las ocho etapas restantes del proceso generan de igual manera su mayor impacto en las categorías de toxicidad, calentamiento global y uso de fuentes fósiles, como se describe en el anexo 1, también se puede observar que tanto para el método ReCiPe como para TRACI la categoría de impacto más elevado fue la eco-toxicidad.

Los resultados encontrados por el muestro de humos de soldadura señalan la existencia de emisiones por hierro y cromo principalmente. Las etapas de mayor a menor emisiones son tack-weld, flexible, manifold, ending y brazing, cabe destacar que ninguna de las etapas sobrepasa los límites de exposición recomendados por la NOM-010STPS-1999 (Fe 1 mg/m³, Cr 0.5 mg/m³). Tack-weld y flexible fueron las únicas etapas donde se registraron además del hierro, emisiones por cromo. La etapa de tack-weld como se explicó anteriormente consta únicamente de una máquina que es operada de manera manual y no tiene cabina o sistema de extracción, por lo que las emisiones van directamente al ambiente. Flexible por su parte es una etapa del proceso más sistematizada y controlada, donde las emisiones pasan a un filtro, en esta etapa se operan cuatro celdas robóticas. Manifold y ending tuvieron resultados muy similares de emisiones, en manifold se tienen operando dos máquinas y en ending cuatro, ambos con campanas de extracción.

Por último, brazing fue la etapa que menos emisiones registró, sin embargo esto es relevante para la empresa, ya que no tienen ningún sistema de control para las 22 máquinas que operan esta sección debido a que no se habían realizado estudios sobre las emisiones ocasionadas con la nueva maquinaria incorporada. En general se pudo observar que la etapa que más emisiones genera es la que menor número de máquinas opera y de manera contraria la que genera menos contaminación es la etapa que mayor cantidad de máquinas contiene, esto es importante en cuestión al cuidado y prevención de contaminación atmosférica.

Debido a que en la mayoría de las etapas se utiliza el acero inoxidable se realizó el análisis de sensibilidad con la introducción de acero inoxidable reciclado como alternativa viable para reducción de impactos ambientales. Cabe destacar que a pesar del fuerte impacto del cobre y de ser un material con reciclabilidad, las diferentes aplicaciones del mismo hacen que sea difícil su reciclaje, ya que usualmente es utilizado en baja proporción para muy variadas aplicaciones. Por el contrario el acero inoxidable es el producto más reciclado en el mundo, alrededor del 97% de los productos de acero se pueden reutilizar, además de que el acero tiene la capacidad de ser reciclado una infinidad de veces sin perder su desempeño como material (Patel y Seetharaman, 2013; AUTOSTEEL, 2015).

Adicionalmente, los autos contienen una gran cantidad de acero por lo que son un producto idóneo para el reciclado, en E.U. la industria del acero recicla más de 14 millones de toneladas de acero de autos al final de su vida útil, lo que equivale a cerca de 13.5 millones de coches nuevos (AUTOSTEEL, 2015).

Los resultados obtenidos a través de SimaPro8® muestran que el acero inoxidable reciclado puede reducir significativamente los impactos ambientales y mejorar el desempeño ambiental de la empresa estudiada, entre los mayores beneficios del reciclaje de acero se encuentra el ahorro de energía, la conservación de recursos naturales y la reducción de emisiones a la atmosfera (alrededor del 30% de la energía total consumida por la industria del hierro y acero es emitida por subproductos en forma de gas) (AUTOSTEEL, 2015; Kong, 2015). Además, el reciclaje a largo plazo puede significar un considerable ahorro económico sin pérdida en la calidad del producto.

Cabe destacar que la industria en si misma ya realiza labores de reciclaje, enviando las piezas defectuosas a proveedor para re-fabricarlas, esto habla de un potencial de reciclaje por parte de los proveedores, aunque el porcentaje sea bajo. Si el suministro de acero inoxidable para la empresa está basado en material reciclado se estaría reduciendo la extracción minera y la actividad en la industria de la metalurgia.

VIII. CONCLUSIONES

El estudio realizado demostró que la manufactura de un sub-ensamble automotriz representa graves problemas ambientales a los ecosistemas, los recursos y la salud humana, principalmente con el aumento de agentes tóxicos, esencialmente por la extracción de materias primas, esto es importante ya que las actividades dentro de la fábrica tienen un impacto muy bajo en comparación con la obtención de las materias primas para poder realizar la producción. Esto se explica por el tipo de industria analizada, ya que la fabricación del Hot-end consiste en un continuo ensamblaje de piezas compradas anteriormente y unidas mediante energía y otros recursos que durante su uso tienen un bajo impacto en comparación a la energía requerida e impactos ocasionados en la extracción o fabricación de los mismos recursos.

Los resultados muestran que la empresa en general tiene un bajo impacto durante la producción del sub-ensamble Hot-end y que el impacto en cada etapa de producción está relacionado con la cantidad de materia prima utilizados, destacando la etapa de brazing debido su fuerte impacto en comparación con las ocho etapas de producción restantes. Sin embargo, es importante entender que se trata de una producción industrial y aunque no genera un impacto directo, la demanda de materia prima es muy elevada, aún más si se considera que el producto analizado no es el único producto final de la empresa.

Los recursos que más impacto tienen son los de carácter minero, el acero inoxidable y el cobre, sin embargo, los resultados obtenidos a través de SimaPro8® muestran que el acero inoxidable reciclado puede reducir significativamente los impactos ambientales encontrados. Mediante el análisis de sensibilidad se observó una importante disminución de impacto en las categorías con valores más elevados tanto para el método ReCiPe como para TRACI. Los resultados de este análisis son relevantes ya que la industria automotriz es uno de los mayores consumidores de metales y juega un papel importante en su uso sustentable, disminuyendo la extracción y agotamiento de metales, y reducción de emisiones de CO₂.

El ACV demostró ser una herramienta de gran utilidad en la industria automotriz para la detección de problemas ambientales y la detección de alternativas tecnológicas para las partes interesadas. La metodología ISO 14040-44 permite explorar de manera detallada y sistemática el proceso de producción, permitiendo un análisis de los materiales y energía en cada etapa de producción y caracterizando todas las cargas ambientales que conlleva la producción un producto.

IX .RECOMENDACIONES

Para la aplicación del ACV es importante considerar la disponibilidad e información que la empresa sea capaz de proporcionar, ya que el ACV es un análisis muy detallado y muchas empresas, en especial las de carácter internacional, tienen diversas restricciones debido a situaciones legales de confidencialidad. Se recomienda realizar una entrevista para estar enterado de las limitaciones que pueden presentarse para el estudio, así como la creación de cartas compromiso tanto para la empresa como para el que desarrolla la investigación.

Durante la investigación la etapa de brazing fue la que genera más impacto a pesar de que esta área recientemente incorporó una alta inversión tecnológica, esto se debe a la utilización de argón puro y cobre, este último es el material que mayor impacto causa en el ambiente durante la producción del Hot-end, generando 9.61 kg de CO₂ por kg de cobre utilizado, por tal motivo se considera que esta etapa del proceso debe ser analizada a detalle a fin de encontrar un material sustituto para el cobre. Adicionalmente se recomienda hacer un análisis más completo sobre las emisiones en esta etapa del proceso, ya que no han sido monitoreadas por la empresa y no existe un sistema de control de las mismas.

Además de la alta contaminación al ambiente por parte del cobre, se recomienda la sustitución de este material debido a que es uno de los contaminantes que más afectan la reciclabilidad del acero, produciendo efectos adversos durante el procesamiento del acero y con una tendencia acumulativa en el uso cíclico del acero, por lo que si se contiene una cantidad conocida de cobre debe de reducirse añadiendo hierro puro durante el proceso de reciclaje del acero.

Es importante considerar que sub-ensamble hot-end es únicamente uno de los múltiples productos finales de esta empresa, por lo tanto el acero inoxidable es aún más demandado. Un análisis sobre la cantidad total de acero utilizado para la fabricación de ensambles automotrices puede ser interesante, ya que un solo escape automotriz para un carro mediano tipo sedán pesa alrededor de 31.4 kg (Ohno et al., 2015) y está constituido en un 90% por acero inoxidable.

X. REFERENCIAS

- Abdul, Q., Ahmed, S., Raja, R., Ahmed, S. & Dahari, M., 2015. Evaluation of criteria for CO₂ capture and storage in the iron and steel industry using the 2-tuple DEMATEL technique. *Journal of Cleaner Production*, In press.
- Ahmad, M., Ala, Q., Mohammed, O. & Dongri, S., 2012. Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, pp.1845-1862.
- Alves, C., Ferrão, P. M., Silva, A. J., Reis, L. G., Freitas, M., Rodrigues, L. B. & Alves, D. E., 2010. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, 18, pp.313-327.
- AMIA, 2013. Acelera la Industria Automotriz en México. *Trade Links: Lazos Comerciales*, 11, pp.1-4.
- Anawar, H. M., Canha, N. & Do Carmo Freitas, M., 2011. Evaluation of atmospheric particle dispersion at a contaminated mine using biomonitors *International Journal of Environment and Health*, 5, pp.84-92.
- Arena, M., Azzone, G. & Conte, A., 2013. A streamlined LCA framework to support early decision making in vehicle development. *Journal of Cleaner Production*, 41, pp.105-113.
- AUTOSTEEL. 2015. *Sustainability and steel in automotive application* [En línea]. Steel Market Development Institute. Disponible: www.autosteel.org [Consultado 20 Octubre 2015].
- Backer, E. d., Aertsens, J., Vergucht, S. & Steurbaut, W., 2009. Assessing the ecological soundness of organic and conventional agriculture by means of life cycle assessment (LCA): A case study of leek production. *British Food Journal*, 111, pp.1028-1061.
- Belaissaoui, B., Moullec, Y., Hagi, H. & Favre, E., 2014. Energy efficiency of oxygen enriched air production technologies: Cryogeny vs membranes. *JSeparation and purification technology*, 125, pp.142-150.
- Castro, M., Remmerswaal, J., Reuter, M. & Boin, U., 2004. A thermodynamic approach to the compatibility of materials combinations for recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, pp.1-19.
- Chan, J. & Tong, T., 2007. Multi-criteria material selections and end-of-life product strategy: Grey relational analysis approach. *Materials & Design*, 28, pp.1539-1546.
- De Felice, F., Campagiorni, F. & Petrillo, A., 2013. Economic and Environmental Evaluation Via an Integrated Method based on LCA and MCDA. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 99, pp.1-10.
- Debrand, J. M. P., 2012. The Automobile Industry in Latin America: Assessment of the conditions for sustainable development. *Minutos Universitarios*, 34, pp.73-98.
- Du, J., Han, W. & Peng, Y., 2010. Life cycle greenhouse gases, energy and cost assessment of automobiles using magnesium from Chinese Pidgeon process. *Journal of Cleaner Production*, 18, pp.112-119.
- Duda, M. & Shaw, J. S., 1997. Life cycle assessment. *Society*, 35, pp.38-43.
- Ermolaeva, N. S., Castro, M. B. G. & Kandachar, P. V., 2004. Materials selection for an automotive structure by integrating structural optimization with environmental impact assessment. *Materials & Design*, 25, pp.689-698.
- European-Commission 2010. ILCD handbook: International Reference Life Cycle Data System. Luxembourg: European Union.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K. & Kluppel, H. J., 2006. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT*, 11, pp.80-85.

- Gaidajis, G., Angelakoglou, K., Botsaris, P. N. & Filippidou, F., 2011. Analysis of the recycling potential of used automotive oil filters using the Life Cycle Assessment approach. *Resources, Conservation & Recycling*, 55, pp.986-994.
- Gan, L., 2003. Globalization of the automobile industry in China: dynamics and barriers in greening of the road transportation. *Energy Policy*, 31, pp.537-551.
- García Sánchez, J. A., López Martínez, J. M., Lumbreras Martín, J., Flores Holgado, M. N. & Aguilar Morales, H., 2013. Impact of Spanish electricity mix, over the period 2008–2030, on the Life Cycle energy consumption and GHG emissions of Electric, Hybrid Diesel-Electric, Fuel Cell Hybrid and Diesel Bus of the Madrid Transportation System. *Energy Conversion and Management*, 74, pp.332-343.
- García Sánchez, J. A. L. M. J. M. L. M. J. F. H. M. N. A.-P. F. o. R. E., 2012. Comparison of Life Cycle energy consumption and GHG emissions of natural gas, biodiesel and diesel buses of the Madrid transportation system. *Energy*, 47, pp.174-198.
- González-Colín, M., Domínguez, E. & Suppen-Reynaga, N., 2007. Evaluación técnica, económica y ambiental de la producción más limpia en una empresa de bebidas gaseosas. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 22, pp.78-83.
- González, M., Domínguez, E. & Nydua, S., 2007. Evaluación técnica, económica y ambiental de la producción más limpia en una empresa de bebidas gaseosas. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*, 22, pp.78-83.
- Graf, N., Cabrera, G., Cerutti, H., Delgado, G., Favela, D., Gall, O., López, R., Maass, E. & Uribe, I. (eds.) 2010. *Ecología política de la minería de américa latina: Aspectos socioeconómicos, legales y ambientales de la mega minería*, México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
- Guinée, J. B., Huppes, G. & Heijungs, R., 2001. Developing an LCA guide for decision support. *Environmental Management and Health*, 12, pp.301-311.
- Hatayama, H. & Tahara, D., 2014. Tracking effective measures for closed-loop recycling of automobile steel in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, pp.65-71.
- Heck, R. M. & Farrauto, R. J., 2001. Automobile exhaust catalysts. *Applied catalysis. A, General.*, 221, pp.443-457.
- Herrmann, I. T., Hauschild, M. Z., Sohn, M. D. & Mckone, T. E., 2014. Confronting Uncertainty in Life Cycle Assessment Used for Decision Support: Developing and Proposing a Taxonomy for LCA Studies. *J. Ind. Ecol. Journal of Industrial Ecology*, 18, pp.366-379.
- Huijbregts, M., Zelm, R., Rombouts, L., Ragas, A., Struijs, J., Goedkoop, M., Heijungs, R., Harber, J., Wintersen, A., Posthuma, L., Hendriks, J. & Van de Meent, D. 2012. Toxicity. In: Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. & Zelm, R., eds. 2012 ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. pp. 68-76
- IHOBE 2009. Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono: Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. In: IHOBE (ed.) 1 ed. Bilbao,: Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- ISO-14044 2006. ISO 14040: Gestión ambiental', Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. ENOR ed.: Organización Internacional de Normalización & Asociación Española de Normalización y Certificación
- Kafka, P., 2012. The automotive standard ISO 26262, the innovative driver for enhanced safety assessment & technology for motor cars. *Procedia Eng. Procedia Engineering*, 45, pp.2-10.
- Kong, H., 2015. A green mixed integer linear programming model for optimization of byproduct gases in iron and steel industry. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 22, pp.681-685.

- Koplin, J., Seuring, S. & Mesterharm, M., 2007. Incorporating sustainability into supply management in the automotive industry – the case of the Volkswagen AG. *Journal of Cleaner Production*, 15, pp.1053-1062.
- Lachman, I., Bagley, R. & Lewis, R., 1981. Thermal expansion of extruded cordierite ceramic. *Ceramic Bolleting*, 60, pp.202-205.
- Liu, Z., Qiu, T. & Chen, B., 2014. A LCA Based Biofuel Supply Chain Analysis Framework. *Chinese Journal of Chemical Engineering Chinese Journal of Chemical Engineering*, 22, pp.669-681.
- Löfgren, B., Tillman, A. M. & Rinde, B., 2011. Manufacturing actors LCA. *Journal of Cleaner Production Journal of Cleaner Production*, 19, pp.2025-2033.
- Luz, S. M., Caldeira-Pires, A. & Ferrão, P., 2010. Environmental benefits of substituting talc by sugarcane bagasse fibers as reinforcement in polypropylene composites: Ecodesign and LCA as strategy for automotive components. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, pp.1135-1144.
- Marroquín, W. G. 2004. Hacer posible la aplicación de “Life Cycle Assessment” en Colombia. *¿Qué es diseño Hoy? Primer Encuentro Nacional de Investigación en Diseño*. Universidad Icesi.
- Nakamura, Y., Kondo, K., Matsubase, K., Nakajima, K. & Nagasaka, T., 2011. UPIOM: a new tool of MFA and its application to the flow of iron and steel associated with car production. *Enviromental science & technology*, 43, pp.1114-1120.
- Nakamura, Y., Kondo, Y., Kagawa, k., Matsubase, K., Nakajima, K. & Nagasaka, T., 2014. MaTrace: tracing the fate of materials over time and across products in open-loop recycling. *Enviromental science & technology*, 48, pp.7207-7214.
- Nanaki, E. A. & Koroneos, C. J., 2012. Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation. *Journal of Cleaner Production Journal of Cleaner Production*, 20, pp.14-19.
- Nieuwenhuis, P. & Katsifou, E., 2015. More sustainable automotive production through understanding decoupling points in leagile manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 95, pp.232-241.
- Ohno, H., Matsubase, K., Nakajima, K., Kondo, Y., Nakamura, S. & Nagasaka, T., 2015. Toward the efficient recycling of alloying elements from end of life vehicle steel scrap. *Resources, Conservation and Recycling*, 100, pp.11-20.
- OICA 2015. CO2. International Organization of Motor Vehicle Manufactures.
- Orsato, R. J. & Wells, P., 2007. The Automobile Industry & Sustainability. *Journal of Cleaner Production Journal of Cleaner Production*, 15, pp.989-993.
- Paktunc, D., Foster, G. & G., L., 2003. Speciation and caracterizacion of arsenic in Ketz River mine tailing using X-ray absorption spectroscopy. *Enviromental Science and Technology*, 37, pp.2067-2074.
- Pallaro, E., Subramanian, N., Abdulrahman, M. & Chang, L., 2015. Sustainable production and consumption in the automotive sector: Integral review framework and research directions. *Sustainable Production and Consumption*, En prensa.
- Passarini, F., Ciacci, L., Santini, A., Vassura, I. & Morselli, L., 2012. Auto shredder residue LCA: implications of ASR composition evolution. *Journal of Cleaner Production Journal of Cleaner Production*, 23, pp.28-36.
- Patel, P. & Seetharaman, S., 2013. A test of the steel industry's metal. *MRS Bulletin*, 38, pp.680-681.
- Pegoretti, T. d., Mathieux, F., Evrard, D., Brissaud, D. & Arruda, J. R., 2014. Use of recycled natural fibres in industrial products: A comparative LCA case study on acoustic components in the Brazilian automotive sector. *Resources, Conservation & Recycling*, 84, pp.1-14.
- Penna, C. C. & Geels, F. W., 2012. Multi-dimensional struggles in the greening of industry: A dialectic issue lifecycle model and case study. *TFS Technological Forecasting & Social Change*, 79, pp.999-1020.
- Radetziki, M., 2009. Seven thousand years in the service of humanity- the history of copper, the red metaq. *Resources Policy*, 34, pp.176-184.

- Ramírez, R. 2014. *Análisis de ciclo de vida aplicado a Plantas termoeléctricas convencionales y de ciclo combinado*. Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Raugei, M., ElFakir, O., Wang, L., Lin, J. & Morrey, D., 2014. Life cycle assessment of the potential environmental benefits of a novel hot forming process in automotive manufacturing. *Journal of Cleaner Production* *Journal of Cleaner Production*.
- Reap, J., Roman, F., Duncan, S. & Bras, B., 2008. A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: Goal and scope and inventory analysis. *Int. J. Life Cycle Assess. International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, pp.290-300.
- ReCiPe. 2015. *Quick introduction into ReCiPe LCIA Methodology* [En línea]. Disponible: <http://www.lcia-recipe.net/project-definition> [Consultado Octubre 06 2015].
- Rodríguez, B. I. R., 2003. El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Tendencias tecnológicas*, Julio-Septiembre, pp.91-97.
- Saavedra, Y. M., Barquet, A. P., Rozenfeld, H., Forcellini, F. A. & Ometto, A. R., 2013. Remanufacturing in Brazil: case studies on the automotive sector. *Journal of Cleaner Production*, 53, pp.267-276.
- Sadiq, R. & Khan, F. I., 2006. An integrated approach for risk-based life cycle assessment and multi-criteria decision-making: selection, design and evaluation of cleaner and greener processes. *Business Process Management Journal*, 12, pp.770-792.
- Subramanian, N. & Gunasekaran, A., 2015. Cleaner supply-chain management practices for twenty-first-century organizational competitiveness: Practice-performance framework and research propositions. *International Journal of Production Economics*, 164, pp.216-233.
- Subramoniam, R., Huisingh, D. & Chinnam, R. B., 2009. Remanufacturing for the automotive aftermarket-strategic factors: literature review and future research needs. *Journal of Cleaner Production*, 17, pp.1163-1174.
- Tilton, J. & Lagos, G., 2007. Assessing the long-run availability of copper. *Resources Policy*, 32, pp.19-23.
- Udo de Haes H. A. & Heijungs, R., 2007. Life-cycle assessment for energy analysis and management. *Applied energy*., 84, pp.817-827.
- UNEP 2005. *Life Cycle Approaches: The road from analysis to practice*. UNEP & Life cycle initiative.
- UNEP 2012. *Análisis de Ciclo de Vida en la industrial de acero*. UNEP & Life cycle initiative.
- Weidema, B., 2014. Has ISO 14040/44 Failed Its Role as a Standard for Life Cycle Assessment? *JIEC Journal of Industrial Ecology*, 18, pp.324-326.
- Willers, C. D. & Rodrigues, L. B., 2014. A critical evaluation of Brazilian life cycle assessment studies. *International Journal of Life Cycle Assess*, pp.144-152.
- Yuracko, K. L. & Morris, M. I., 2001. Better D&D decision making through life cycle analysis. *Environmental Management and Health*, 12, pp.312-323.
- Zhu, Q., Sarkis, J. & Lai, K.-h., 2007. Green supply chain management: pressures, practices and performance within the Chinese automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 15, pp.1041-1052.
- Zorpas, A. A. & Inglezakis, V. J., 2012. Automotive industry challenges in meeting EU 2015 environmental standard. *Technology in Society*, 34, pp.55-83.
- Zufia, J. & L., A., 2008. Life cycle assessment to eco-design food products: industrial cooked dish case study. *Journal of Cleaner Production*, 16, pp.1915-1921.

Anexo 1. Categorías de mayor impacto por proceso de producción

Etapas	Cantidad ReCiPe	Categoría ReCiPe	Cantidad TRACI	Categoría TRACI
Washing	9.54 kg 1.4-DB eq	Toxicidad humana	0.79 MJ excedente	Reducción de fuentes fósiles
Brazing	143.82 kg 1.4-DB eq	Eco-toxicidad marina	5,677 CTUe	Eco-toxicidad
Tack-weld	4,082.83 kg 1.4-DB eq	Eco-toxicidad marina	221.98 CTUe	Eco-toxicidad
Manifold	184.50 kg 1.4-DB eq	Eco-toxicidad marina	11.8 kg CO ₂ eq	Global warming
Bender	1,129.18 kg 1.4-DB eq	Eco-toxicidad marina	68.94 CTUe	Eco-toxicidad
Flexible	6,737.23 kg 1.4-DB eq	Eco-toxicidad marina	330.82 CTUe	Eco-toxicidad
Canning	4,081.47 kg 1.4-DB eq	Eco-toxicidad marina	265.01 CTUe	Eco-toxicidad
Ending	11,629.90 kg 1.4-DB eq	Eco-toxicidad marina	604.20 CTUe	Eco-toxicidad
Packing	523.56 kg 1.4-DB eq	Toxicidad humana	61.08 MJ excedente	Reducción de fuentes fósiles

Anexo 2 Muestra de Humus de soldadura en Brazing



INFORME DE LABORATORIO No. 67958.5	FECHA: 04 de Noviembre de 2015	Página: 1 de 1
------------------------------------	--------------------------------	----------------

UNIVERSIDAD DE SONORA
Bld. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro
Hermosillo, Sonora.

REGISTRO INTERNO: **FQ - 68782** INGRESO: **2015/10/21**
 DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE:
 IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: **FILTRO BRAZING**
 MUESTREO POR: **CLIENTE** EN FECHA: **NO PROPORCIONADO**

PARÁMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	CANTIDAD MINIMA CUANTIFICABLE	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA
Hierro (Fe) µg/F	2,06	1,25	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
Cromo (Cr) µg/F	< L.C.	0,625	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
< L. C. = Menor de Limite de Cuantificación NOM = Norma Oficial Mexicana		µg/F = microgramo por Filtro EPA = Environmental Protection Agency		



 M.B. Rocío Guadalupe Hurtado Banda
 Signatario



 M.I. Marcial Córdova Figueroa
 Director

A. Los datos anotados son exclusivos de las muestras ingresadas al Laboratorio
 B. La reproducción total o parcial del presente informe, serán válidas sólo si presentan el sello y firma de autorización del Laboratorio
 C. El Laboratorio no es responsable por la información proporcionada por el cliente
 D. Queremos seguir mejorando nuestro servicio, esperamos sus comentarios
 E. Pruebas acreditadas por rama en la página www.ema.org.mx, y aprobadas en la página www.analiticadelnoroeste.com.

ADN-CC-033

Anexo 3 Muestra de humus de soldadura en Tack-weld



INFORME DE LABORATORIO No. 67958.2	FECHA: 04 de Noviembre de 2015	Página: 1 de 1
------------------------------------	--------------------------------	----------------

UNIVERSIDAD DE SONORA
 Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro
 Hermosillo, Sonora.

REGISTRO INTERNO: **FQ - 68779** INGRESO: **2015/10/21**
 DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE:
 IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: **FILTRO TACK - WELD**
 MUESTREO POR: **CLIENTE** EN FECHA: **NO PROPORCIONADO**

PARÁMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	CANTIDAD MINIMA CUANTIFICABLE	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA
Hierro (Fe) µg/F	10,5	1,25	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
Cromo (Cr) µg/F	2,11	0,625	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
<small>< L. C. = Menor de Limite de Cuantificación</small>		<small>µg/F = microgramo por Filtro</small>		
<small>NOM = Norma Oficial Mexicana</small>		<small>EPA = Environmental Protection Agency</small>		



 M.B. Rocío Guadalupe Hurtado Banda
 Signatario



 M.I. Marcial Córdova Figueroa
 Director

A. Los datos anotados son exclusivos de las muestras ingresadas al Laboratorio
 B. La reproducción total o parcial del presente informe, serán válidas sólo si presentan el sello y firma de autorización del Laboratorio
 C. El Laboratorio no es responsable por la información proporcionada por el cliente
 D. Quèremos seguir mejorando nuestro servicio, esperamos sus comentarios
 E. Pruebas acreditadas por rama en la página www.ema.org.mx, y aprobadas en la página www.analiticadelnoroeste.com.

ADN-CC-033

Anexo 4 Muestra de humus de soldadura en Manifold



INFORME DE LABORATORIO No. 67958.1	FECHA: 04 de Noviembre de 2015	Página: 1 de 1
------------------------------------	--------------------------------	----------------

UNIVERSIDAD DE SONORA
Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro
Hermosillo, Sonora.

REGISTRO INTERNO: **FQ - 68778** INGRESO: **2015/10/21**
 DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE:
 IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: **FILTRO MANIFOLD**
 MUESTREO POR: **CLIENTE** EN FECHA: **NO PROPORCIONADO**

PARÁMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	CANTIDAD MINIMA CUANTIFICABLE	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA
Hierro (Fe) µg/F	3,68	1,25	2015/10/27 AEAC	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
Cromo (Cr) µg/F	< L.C.	0,625	2015/10/27 AEAC	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
< L. C. = Menor de Limite de Cuantificación NOM = Norma Oficial Mexicana		µg/F = microgramo por Filtro EPA = Environmental Protection Agency		



 M.B. Rocio Guadalupe Hurtado Banda
 Signatario



 M.I. Marcial Córdova Figueroa
 Director

A. Los datos anotados son exclusivos de las muestras ingresadas al Laboratorio
 B. La reproducción total o parcial del presente informe, serán válidas sólo si presentan el sello y firma de autorización del Laboratorio
 C. El Laboratorio no es responsable por la información proporcionada por el cliente
 D. Queremos seguir mejorando nuestro servicio, esperamos sus comentarios
 E. Pruebas acreditadas por rama en la página www.ema.org.mx, y aprobadas en la página www.analiticadelnoroeste.com.

ADN-CC-033


Anexo 5 Muestra de humus de soldadura en Flexible



INFORME DE LABORATORIO No. 67958.4	FECHA: 04 de Noviembre de 2015	Pagina: 1 de 1
UNIVERSIDAD DE SONORA Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro Hermosillo, Sonora.		
REGISTRO INTERNO: FQ - 68781		INGRESO: 2015/10/21
DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE:		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: FILTRO FLEXIBLE		EN FECHA: NO PROPORCIONADO
MUESTREADO POR: CLIENTE		

PARÁMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	CANTIDAD MINIMA CUANTIFICABLE	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA
Hierro (Fe) $\mu\text{g/F}$	4,90	1,25	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
Cromo (Cr) $\mu\text{g/F}$	0,734	0,625	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
< L. C. = Menor de Limite de Cuantificación NOM = Norma Oficial Mexicana		$\mu\text{g/F}$ = microgramo por Filtro EPA = Environmental Protection Agency		


 M.B. Rocío Guadalupe Hurtado Banda
 Signatario


 M.I. Marcial Córdova Figueroa
 Director

- A. Los datos anotados son exclusivos de las muestras ingresadas al Laboratorio
- B. La reproducción total o parcial del presente informe, serán válidas sólo si presentan el sello y firma de autorización del Laboratorio
- C. El Laboratorio no es responsable por la información proporcionada por el cliente
- D. Queremos seguir mejorando nuestro servicio, esperamos sus comentarios
- E. Pruebas acreditadas por rama en la página www.ema.org.mx , y aprobadas en la página www.analiticadelnoroeste.com.

ADN-CC-033

Anexo 6 Muestra de humus de soldadura en Ending

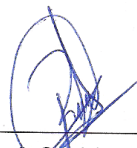


INFORME DE LABORATORIO No. 67958.3	FECHA: 04 de Noviembre de 2015	Página: 1 de 1
------------------------------------	--------------------------------	----------------

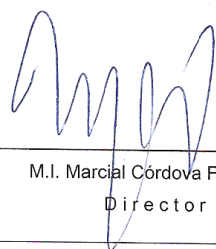
UNIVERSIDAD DE SONORA
Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro
Hermosillo, Sonora.

REGISTRO INTERNO: **FQ - 68780** INGRESO: **2015/10/21**
 DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE:
 IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: **FILTRO FINAL**
 MUESTREO POR: **CLIENTE** EN FECHA: **NO PROPORCIONADO**

PARÁMETROS EN MUESTRA:	RESULTADOS	CANTIDAD MINIMA CUANTIFICABLE	PROCESO ANALISTA	REFERENCIA
Hierro (Fe) µg/F	3,00	1,25	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
Cromo (Cr) µg/F	< L.C.	0,625	2015/10/27 AEAC/RGHB	NOM-010-STPS-1999 EPA 6010 B
< L. C. = Menor de Limite de Cuantificación		µg/F = microgramo por Filtro		
NOM = Norma Oficial Mexicana		EPA = Environmental Protection Agency		



 M.B. Rocio Guadalupe Hurtado Banda
 Signatario



 M.I. Marcial Córdova Figueroa
 Director

A. Los datos anotados son exclusivos de las muestras ingresadas al Laboratorio
 B. La reproducción total o parcial del presente informe, serán válidas sólo si presentan el sello y firma de autorización del Laboratorio
 C. El Laboratorio no es responsable por la información proporcionada por el cliente
 D. Queremos seguir mejorando nuestro servicio, esperamos sus comentarios
 E. Pruebas acreditadas por rama en la página www.ema.org.mx , y aprobadas en la página www.analiticadelnoroeste.com.

ADN-CC-033