

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Departamento de Ingeniería Química

TRABAJO DE DIPLOMA

Evaluación del impacto ambiental de propuesta tecnológica en la etapa de moldeo en Planta mecánica mediante ACV.

Autor: Liz Rosy Hernández Martínez

Tutores: Dra. C. Mayra de la Caridad Morales Pérez

Consultante: Dra. C. Elena Regla Rosa Domínguez.

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Chemical Engineering Department

DIPLOMA THESIS

**Evaluation of the environmental impact of the technological proposal in
the molding stage in a mechanical plant by means of LCA.**

Author: Liz Rosy Hernández Martínez

Thesis Director: Dra. C. Mayra de la Caridad Morales Pérez

Consultant: Dra. C. Elena Regla Rosa

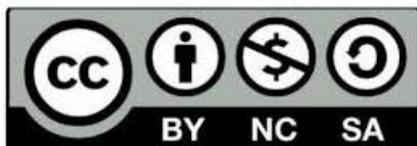
Domínguez.

Santa Clara
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Dedicatoria

A mi papá que ya no está físicamente y que hubiera querido presenciar este acto, que será siempre un ejemplo a seguir.

A mi mamá por su paciencia, comprensión y dedicación, pero sobre todo, por guiar mis pasos con su luz.

A mi hermana por estar siempre a mi lado y ser un gran apoyo.

Agradecimientos

- *A mi tutora Mayra Morales por ser una excelente profesora y aportarme todos sus conocimientos.*
- *A la profesora Elena Rosa por ayudarme en los momentos finales de esta tesis.*
- *A Darianna por aguantarme estos años y estar ahí cuando más la necesitaba.*
- *A mis niñas Arianna, Taila y Diana por esta bella amistad durante estos años, por ser mi apoyo incondicional, sin ustedes no lo hubiera logrado.*
- *A las niñas del cuarto que siempre me ayudaron aun estando en la distancia.*
- *A Roberto Javier y su familia, por estar a mi lado, por ser una fuente de cariño y ánimos.*
- *A toda mi familia que siempre estuvo pendiente de mí.*

Resumen

En el presente trabajo se aplica la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para evaluar los impactos ambientales en la etapa de moldeo en el proceso de fundición de acero en la Empresa de Producciones Mecánicas Fabric Aguilar Noriega, Santa Clara, Cuba, sujeto a una inversión tecnológica. Para ello se evaluaron e inventariaron los flujos de entrada y salidas de las mezclas de moldeo, gases y residuos sólidos en la etapa de moldeo, fusión y desmoldeo de la nueva inversión y a la tecnología tradicional como base de comparación para la producción de una tonelada de acero fundido como unidad funcional. El software SIMAPRO V-9.0.035 fue utilizado como herramienta para obtener los resultados del ACV.

Se hace una comparación entre la tecnología tradicional y la tecnología inversionista demostrándose que esta última es más factible tanto en lo económico como en lo ambiental. El ACV empleando la metodología (ReCiPe) evidenciaron que la mezcla de retorno, es la materia prima de mayor beneficio a las categorías de impacto y que las categorías de impacto más afectadas fueron: cambio climático a la salud humana, la formación de material particulado que inciden en la salud, los ecosistemas y los recursos naturales.

Abstract

In this work, the Life Cycle Analysis methodology is applied to evaluate the environmental impacts in the molding stage of the steel casting process at the Mechanical Productions Company Fabric Aguilar Noriega, Santa Clara, Cuba, subject to a technological investment. For this purpose, the input and output flows of the mixtures of sand, gases and solid wastes in the molding, melting and demolding stages of the new investment and traditional technology were evaluated and inventoried as a basis of comparison for the production of one ton of molten steel as a functional unit. SIMAPRO V-9.0.035 software was used as a tool to obtain the LCA results.

A comparison is made between the traditional technology and the investment technology, showing that the latter is more feasible both economically and environmentally. The Life Cycle Analysis (LCA) using the methodology (ReCiPe) showed that the return sand is the raw material with the greatest benefit to the impact categories and that the most affected impact categories were: climate change to human health, formation of particulate matter that affects health, ecosystems and natural resources.

Índice

Introducción.....	12
Capítulo I. Revisión Bibliográfica.	14
1.1 Industria de fundición.....	14
1.1.2 Contaminación en la industria metalúrgica.....	15
1.1.3 Contaminantes	15
1.1.4 Proceso Productivo de fundición.....	19
1.2 Etapa de moldeo	21
1.2.1. Arenas para moldeo.	22
1.3. Tecnologías de moldeo. Proceso fenólico uretano autofraguante.....	25
1.3.1. Resinas autofraguantes.....	26
1.4 Evaluación de impactos ambientales Análisis del Ciclo de Vida –ACV	27
1.4.1 Análisis del Ciclo de Vida –ACV–.	27
1.4.2 Metodología de evaluación y tipos de impactos.....	30
Conclusiones parciales.....	32
Capítulo II. Materiales y métodos	33
2.1 Caracterización general de la Empresa de Producciones Mecánicas Fabric Aguilar Noriega.....	33
2.2 Descripción del proceso de Fundición	35
2.3 Balances de materiales y energía.....	40
2.3.1 Balances de materiales para la tecnología tradicional.	40
2.3.2 Balances de materiales para la tecnología de moldeo con resinas furánicas.....	43
2.4 Objetivo y alcance del ACV.	44
2.5 Conformación de los inventarios.....	45
2.5.1 Inventario para 1 tonelada de acero con la tecnología tradicional.....	45
2.5.2 Inventario para 1 tonelada de acero con la nueva tecnología.	46
2.5.3 Inventario para la etapa de fusión de acero en la tecnología tradicional.	47
2.6 Modelación de los inventarios en SimaPro.	47
2.7 Análisis económico preliminar.	48
2.7.1 Costos de las Materias primas para la tecnología tradicional.....	48
2.7.2 Costos de las Materias primas para la nueva tecnología	49
Conclusiones parciales.....	49
Capítulo III. Resultados y análisis.....	51
3.1 Evaluación de impactos ambientales causados por la tecnología inversionista de moldeo	51
Conclusiones.....	59

Recomendaciones.....	60
Bibliografía	61

Introducción

Los procesos de fundición son fundamentales para la economía debido a que los productos que generan son utilizados como insumos de primer orden en otras industrias como la metalmecánica, la automotriz, y en general en la fabricación de maquinarias y equipos para la industria cementera, minera, azucarera, etc. Este sector involucra diferentes actividades económicas según el tipo de materia prima de fundición utilizada y según la posición de las empresas fundidoras en la cadena de valor del metal.

El valor agregado ofrecido por las empresas fundidoras varía de acuerdo con el grado de transformación que realicen sobre el metal una vez ha sido fundido. Es así que existen empresas cuyo proceso productivo se limita a la fundición y cuyo producto final son lingotes metálicos, como empresas cuyo proceso productivo involucra además de la fundición la fabricación de piezas metálicas específicas – productos terminados. La generación de residuos en el sector de fundición depende de factores tales como el material de fundición (hierro, acero, aluminio, bronce, plomo, etc.), y del tipo de combustible, machos y moldes, y tecnología empleada. En términos generales, los principales problemas ambientales del sector son las emisiones atmosféricas (material particulado, gases de combustión y vapores propios de la fundición) y la generación de residuos sólidos (arena, escoria, residuos de limpieza, material refractario, sales y medios abrasivos).

Las fundiciones que trabajan el hierro y acero son sitios significativos en lo que se refiere al grado de contaminación que impactan negativamente en la atmósfera por material particulado fundamentalmente en el aire. Por otra parte, las empresas deben hacer uso racional de la energía, los recursos naturales, elevar su productividad buscando así una minimización del impacto medioambiental, lo que ya es posible gracias a que la tecnología ha avanzado y se pueden adquirir equipos e instalaciones que contribuyen a minimizar los recursos consumidos y los residuos que se generan en un proceso específico, como es el caso del moldeo utilizando resinas autofraguantes.

En Cuba, en la región central existe una única planta de producción de acero que es la fábrica de fábricas Planta mecánica «Fabric Aguilar Noriegas», entidad que conserva una fuerte tradición en la fabricación de innumerables piezas, equipos y accesorios para diferentes fábricas y sectores industriales. La misma lleva años al servicio de la industria azucarera cubana y su posición geográfica la hace insustituible para la comercialización de su producción tanto dentro como fuera de Cuba. En la actualidad se ha modernizado con una tecnología novedosa de moldeo pero no se ha evaluado el impacto ambiental de

la misma mediante el análisis de ciclo de vida, herramienta que permite la toma de decisiones en la selección de materiales y tecnologías con menor impacto ambiental y para optimizar el uso de recursos adoptando nuevas soluciones inversionistas.

Los procesos de fundición son una alternativa de solución a los problemas de piezas de repuesto para la Industria azucarera del país, sin embargo, las tecnologías de moldeo y desmoldeo utilizadas son manufactureras, por tanto la tecnología de moldeo con resinas autofraguantes se vuelve una alternativa atractiva para la humanización y la productividad del proceso, pero no se han evaluado los impactos ambientales y económicos de esta tecnología con enfoque de ciclo de vida lo cual constituye el **problema científico** de este trabajo.

Hipótesis: La aplicación del Análisis del Ciclo de Vida como herramienta para la evaluación del impacto ambiental permitirá evaluar los impactos ambientales de la propuesta tecnológica en la etapa de moldeo en la UEB Planta Mecánica.

Objetivo general: Evaluar los impactos ambientales en la propuesta tecnológica en la etapa de moldeo en Planta mecánica mediante ACV.

Objetivos Específicos:

- Realizar estudio del arte en la producción de acero, tecnologías de moldeo y Análisis de Ciclo de Vida.
- Construir el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) de la producción de acero (etapas de moldeo y fusión) con moldeo tradicional manufacturero.
- Construir el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) de la etapa de moldeo de la propuesta tecnológica de uso de resinas autofraguantes.
- Evaluar las cargas ambientales, las categorías de impacto y daño de ambas tecnologías de moldeo con el Software Simapro y el ACV.
- Comparar ambas tecnologías para demostrar la factibilidad ambientalmente sostenible de propuesta tecnológica de moldeo con resinas autofraguantes.

Capítulo I. Revisión Bibliográfica.

1.1 Industria de fundición.

La industria de fundición es una de las actividades industriales con mayor historia en la civilización humana. El cobre fue el primer material fundido hace unos 5000 años y coincidió con los procesos metalúrgicos de otros metales como el estaño, plomo, plata y oro dando origen a nuevos materiales aleados como por ejemplo el bronce. La capacidad de fundir y dar forma a los metales dio origen a herramientas que revolucionaron a la humanidad, como el arado, la rueda y el armamento. La metalurgia del hierro se consolida debido a los abundantes yacimientos existentes en comparación con los filones de cobre y estaño. El uso del hierro contribuyó al desarrollo del armamento y la conformación de los primeros imperios militares (Metalurgia, 2008).

Desde los inicios de la fundición al presente los procesos productivos han cambiado y modificado, sin embargo esta industria continua siendo fundamental para la sociedad y sus actividades productivas como el petróleo, minería, explotación, conducción de agua y saneamiento, el mercado automotriz, maquinaria agrícola, ferrocarril, construcción, artefactos domésticos, entre otros.

Las fundiciones fabrican piezas de fundición de metales ferrosos y no ferrosos. Las piezas de fundición ferrosas consisten en hierro y acero. Las piezas se obtienen mediante la fusión, colada y moldeo de metales ferrosos y no ferrosos. Muchas fundiciones se dedican a fundir ambas clases de metales.

Los hierros fundidos, como los aceros, son básicamente aleaciones de hierro y carbono, los hierros fundidos contienen entre 2 y 6.7 % de carbono (Díaz del Castillo Rodríguez, 2007)

Aunque los hierros fundidos son frágiles y tienen menores propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos y pueden fundirse más fácilmente.

La fundición puede ser por inyección, fundición en arena y fundición a presión, siendo la fundición en arena la generalizada en Cuba y es el modelado de un metal «vertiendo» metal fundido en un molde. Las mezclas de moldeo es un material especialmente bueno para hacer moldes. Puede resistir a temperaturas muy altas y se puede moldear en formas complejas. Los bloques del motor de automóviles y las culatas del cilindro, los soportes para maquinaria pesada, tapas de registro, y el bastidor de tornillo de bancos de un mecánico (como los de los talleres escolares) son ejemplos de productos fundidos en arena.

Como toda actividad industrial, la fundición consume recursos y energía generando residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Sin embargo, y a diferencia de otras industrias, es

una gran recicladora de materiales, ya que al llegar al final de su vida útil los elementos alguna vez fundidos se transforman en chatarra con alto valor de mercado, posibles de refundir y transformar en nuevas piezas(Esteban Miguel, 2014)

1.1.2 Contaminación en la industria metalúrgica.

En la Industria de Fundición, los procesos más contaminantes son los de fusión del metal o de las aleaciones, el resto de los procesos de la fundición donde no hay fusión de metales generan contaminación por partículas.

La generación de residuos en esta industria está directamente relacionada con el tipo de material usado (hierro fundido, acero, bronce o aluminio) y depende del tipo de moldes y machos usados, así como de la tecnología empleada.

En la elaboración de piezas fundidas los principales residuos se muestran en diagrama causa efecto de la Figura1.1

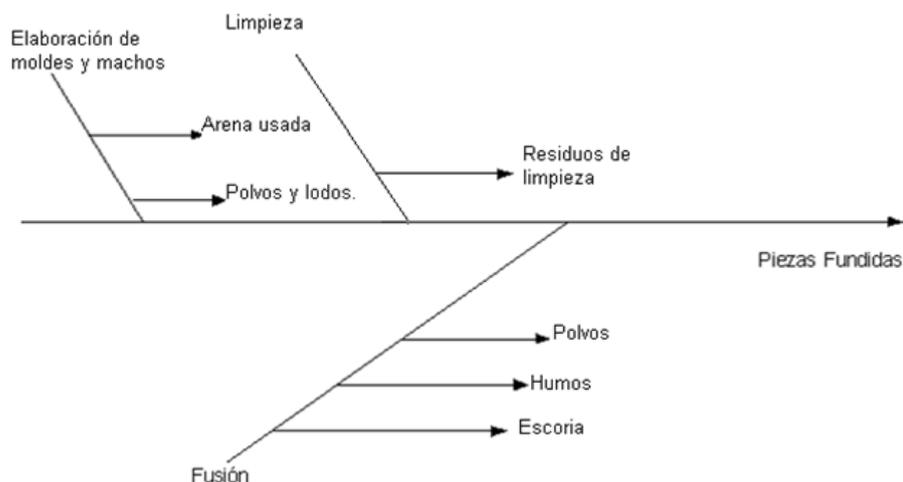


Figura 1.1 Diagrama Causa efecto de los principales residuos en la elaboración de piezas fundidas.

1.1.3 Contaminantes

Como se observa en el diagrama causa efecto durante el proceso productivo se generan escorias, polvos de acería, arenas gastadas, restos metálicos y humos que constituyen gases de combustión. Estos residuos son un problema para la industria que los genera, el medio ambiente y la sociedad por su carácter de peligrosidad, elevado volumen, inadecuada disposición y falta de aprovechamiento. A continuación se detallará la incidencia de estos residuos en las emisiones.

Mezclas Usadas.

La mezcla residual procedente de las fundiciones que emplean moldes en arena constituye una fuente significativa de residuos por volumen. La mezcla de moldeo y de los machos representa entre un 65 y un 80 por ciento de los residuos totales generados por las fundiciones de metales ferrosos. La mezcla aglomerada químicamente para fabricar machos o moldes de coquillas es más difícil de reutilizar eficazmente y sus residuos pueden eliminarse una vez utilizada.

La mayoría de las fundiciones reutilizan cierta porción de las mezclas usadas para la fabricación de machos y moldes; en muchos casos, se reutiliza la mayor parte de la mezcla. A medida que se reutiliza la mezcla, se forman acumulaciones de finos, por lo que una cierta cantidad de esta debe ser retirada regularmente para mantener las propiedades deseadas. La mezcla retirada, junto con la pérdida por fugas y durante el desmoldeo se convierte en residuos. La composición química de esta determinará la toxicidad de la misma y su posible reuso en el proceso y en otras aplicaciones.

Los residuos de machos están conformados por mezclas parcialmente descompuesta, retirada durante el desmoldeo. Ellos contienen aglomerantes degradados solo parcialmente. Los residuos de machos pueden ser aplastados y reciclados a la línea de arena para elaboración de moldes (Casas Martínez, 2013).

Residuos de limpieza: incluyen perdigones usados, residuos encontrados al barrer el piso y polvo de los recolectores de polvo de la limpieza. Estos residuos pueden ser peligrosos si contienen niveles excesivos de metales pesados tóxicos.

Residuos de escoria La escoria es una masa vidriosa, relativamente inerte, con una estructura química compleja.

En cada período de la fusión los requisitos para las escorias son diferentes. Por ejemplo, en el período de oxidación de la escoria debe permitir el paso del oxígeno a gran velocidad, tener una alta capacidad desfosforante y gran movilidad en estado líquido: por el contrario, al finalizar la fusión se debe aislar el metal del efecto oxidante de la atmósfera y tener una fluidez media. En la desoxidación por fusión, durante el período de reducción, la escoria debe tener suficiente viscosidad para retener o intercambiar el oxígeno del acero líquido. En la formación de escoria participan:

- a. Los óxidos que se forman durante la oxidación (silicio, manganeso, fósforo, cromo, hierro) y otros componentes que participan en la composición de la carga metálica

- b. El mineral de hierro, la cal, la caliza, la alúmina, la chamota, la fluorita etc.
- c. Las áreas desgastadas del revestimiento refractario del horno
- d. La suciedad de la chatarra del acero (tierra, arena, grasa etc.)

Las escorias están compuestas por óxidos básicos, ácidos y anfóteros y también por sulfuros (CaS, MnS y FeS). A los óxidos básicos pertenecen: CaO, MnO, MgO, FeO y a los ácidos: SiO₂, P₂O₅, TiO₂, V₂O y a los anfóteros Al₂O₃, Fe₂O₃, Cr₂O₃. Según el contenido de los óxidos de silicio y óxido de calcio, las escorias se dividen en escorias ácidas y básicas. Las escorias ácidas presentan más del 40% de SiO₂ y menos cantidad de CaO (3-15%); las escorias básicas generalmente contienen menos del 30% de óxido de silicio y gran cantidad de óxido de calcio. Las escorias ácidas se usan durante la fusión del acero en hornos ácidos, en los cuales el revestimiento refractario es de óxido de silicio y las escorias básicas durante la fusión del acero en hornos con revestimientos refractarios, de magnesita o dolomita. La escoria presenta a menudo una compleja composición química y contiene distintos contaminantes procedentes de los desechos de metal. Puede constituir hasta un 25 por ciento de la corriente de residuos sólidos generados por las fundiciones. Los componentes más comunes de la escoria son los óxidos metálicos, refractarios fundidos, arena y ceniza de coque (en caso de emplearse coque). Asimismo, pueden añadirse fundentes para facilitar la eliminación de los desechos del horno. La escoria puede resultar peligrosa siempre que contenga plomo, cadmio o cromo procedente de la fusión del acero o de metales no ferrosos (Perez Gonzalez, 2018)

Material particulado

En Las distintas fases de proceso generan material particulado con distintos niveles de óxidos minerales, óxidos metálicos y metales. Las emisiones de polvo proceden de los procesos térmicos y de acciones mecánicas.

Las emisiones de partículas producidas en la industria de fundición son las siguientes:

- Combustible no quemado, lo que incluye aceite volatilizado y los finos del coque cuando se usa este combustible. Esta fracción contaminante, cuando no se le controla, es la que produce la aparición de humos negros.
- Partículas sólidas, que normalmente son de tamaños mayores a 44 µm y corresponden a partículas de arena quemada adheridas a chatarra propia refundida, finos de piedra caliza, y suciedad adherida a la superficie de la chatarra comprada.
- Partículas finas, entre 2 µm y 44 µm, que es material finamente dividido proveniente

de las mismas fuentes de la fracción gruesa. Incluye entonces $PM_{2.5}$, PM_{10} y PST

Durante el proceso de fundido, la emisión de materia particulada en forma de polvo, materiales metálicos y humos de óxido metálico, varía en función del tipo de horno, combustible, metal a fundir y propiedades de fusión.

Los hornos de arco eléctrico constituyen una fuente considerable de materia particulada durante la carga, al iniciarse la fusión, durante la inyección de oxígeno y en la fase de descarburación.

Los gases emitidos del proceso de fundido son los siguientes:

Óxidos de nitrógeno

Las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x) se producen debido a la alta temperatura de los hornos y la oxidación del nitrógeno del aire alimentado en los hornos de cubilote y por oxidación del nitrógeno del electrodo carburante. La reducción de las emisiones puede llevarse a cabo con medidas primarias de modificación del proceso y técnicas secundarias de reducción de final de proceso.

Óxido de azufre

La presencia de óxido de azufre (SO_x) en los gases residuales procedentes de los hornos de fusión depende del contenido en azufre del combustible de proceso en hornos de cubilote y rotatorios. En hornos de arco eléctrico procede de la materia prima utilizada fundamentalmente la chatarra, el oxidante, el grafito y el electrodo carburante. Otras fuentes de emisiones son los procesos de templado de gas en la fabricación de moldes y en la fabricación de machos con arena aglomerada químicamente y en la fusión del magnesio (Mg).

Monóxido de carbono

La presencia de CO en los gases residuales procedentes de los hornos de arco eléctrico resulta de la oxidación de electrodos de grafito y del carbón procedente del baño de metal durante las fases de fusión y refinado. Asimismo, puede producirse monóxido de carbono al entrar los moldes y machos de arena en contacto con el metal fundido durante las actividades de colada del metal (**WHO, 2006**).

Compuestos orgánicos volátiles y otros contaminantes peligrosos del aire

Las emisiones de contaminantes peligrosos del aire (HAP) orgánicos pueden producirse también durante la colada, refrigeración y desmolde de arena verde y moldeos autofraguantes a partir de la descomposición térmica de compuestos orgánicos (los aditivos carbonosos presentes en los moldes de arena verde y distintos aglutinantes de machos) durante la colada de metal

1.1.4 Proceso Productivo de fundición.

El proceso tecnológico de las fundiciones de hierro y acero incluye las siguientes áreas que a continuación se detallan:

1. Plantillería.
2. Macho.
3. Planta arena.
4. Preparación.
5. Moldeo.
6. Fusión.
7. Acabado.

En **Plantillería** se elaboran los modelos de plantillas y cajas de machos nuevos acorde con las exigencias de los clientes según el plano de cada pieza, se reparan los ya existentes, producto del deterioro y estos son enviados al **área de moldeo y de macho** para la producción en las cantidades solicitadas por los clientes, los mismos están identificados con la orden de producción. Estos retornan a Plantillería una vez hecha la producción donde se almacenan en estantes identificados o se devuelve la plantilla si es del cliente.

En el área de macho se confeccionan los machos ya sean de mezclas de arena-melaza o de arena sílice-silicato endurecidas con CO₂ de las producciones incluidas en el plan de producción. En la producción de machos también existen otros sistemas de aglomeración y los más utilizados son:

Por caja fría (fenólico/uretano, Fenólico/éster, silicato /CO₂, epoxy/CO₂)

Por caja caliente /cascara (resinas fenólicas, resinas furánicas)

Sistema de aglutinación no horneado.

En el **área de planta arena** se preparan las mezclas de moldeo de cara y de relleno según lo establecido en la tecnología, la mezcla de relleno se transporta y se distribuye hasta los diferentes puestos de trabajo por medio de transportadores de bandas superiores en los correspondientes silos de almacenamiento y la mezcla de cara en silos

móviles. A esta área llega por medio de transportadores inferiores y elevadores de cangilones toda la mezcla que se recicla durante el desmoldeo de las piezas, la misma se somete al enriquecimiento según lo que establecido en la tecnología.

En el **área de preparación** se prepara todo el herraje necesario establecido por la tecnología de moldeo, se limpian las barras de los tapones de fusión y se reparan si han sufrido deformación durante su explotación, así como se revisan y engrasan las roscas de los mismos, se limpian las cucharas de tomar muestras y rastrillos de escoriar del área de fusión, las cadenas de las cestas de carga, se endereza todo el herraje que se recupera durante el desmoldeo de las piezas, se reparan las cajas de moldeo que han sufrido afectación durante el vaciado del metal, se reparan los cubos de vaciado que han sufrido deterioro durante la explotación de los mismos, se reparan los pisones de moldeo, los martillos de limpieza de acabado, las tenazas de soldar y otros dispositivos que se usan el proceso.

En el **área de moldeo** se elaboran los distintos tipos de moldes ya sea de arena-melaza o de arena sílice con silicato endurecidas por CO₂ o mezclas químicas (mezclas de arenas arcillosas con aglutinantes químicos y cuando están listos todos los moldes que van en la colada ya sea de acero o hierro se trasladan de los machos al área de moldeo y se ensamblan los moldes.

En el **área de fusión** se realiza la carga del horno ya sea hierro o acero según lo establecido en la tecnología de elaboración. Se preparan los cubos de vertido, colocándole la boquilla y el tapón una vez que estos han sido limpiados de las coladas precedentes. Estos se colocan en la estufa para su posterior calentamiento y recepción del metal en el momento en que se va a evacuar el metal previamente elaborado en el horno de arco eléctrico. En el horno se elabora el metal donde se garantiza la composición química del acero o hierro, así como la temperatura correcta de evacuación para garantizar que se fundan todas las piezas con la calidad requerida.

En el **área de acabado** se garantiza la limpieza de todas las piezas procedentes del área de moldeo con la ayuda de martillos manuales y neumáticos, máquinas de limpiezas (Granalladoras), corte por oxicorte de los sistemas de alimentación, desbaste de rebabas con la ayuda de discos de esmeril y toche, se reparan los defectos que permite la tecnología con soldadura en la recuperación de piezas sin que afecten las condiciones de explotación de las mismas, se le da tratamiento térmico para eliminar tensiones y facilitar su posterior maquinado. Se almacenan para su posterior venta. Se envía todo el retorno de los sistemas de alimentación de las piezas fundidas al área de fusión, así como todas

las piezas que se rechazan por no cumplir los requerimientos de calidad según lo establecido en la tecnología.

Procesos Auxiliares

En el **área del laboratorio** se preparan y analizan todas las muestras procedentes del horno ya sea de acero o hierro y se certifica la composición química y se envían los resultados en cada etapa del proceso de elaboración del metal al técnico encargado.

En el **área de mantenimiento** se encuentra todo el personal de mantenimiento mecánico y eléctrico, además soldadores y paileros que brindan el servicio a toda el área de la fundición planificado y por averías imprevistas durante el proceso.

En el **área de compresores** se garantiza el suministro de aire comprimido para todas las áreas de la fundición y de la empresa. En el caso de la fundición para el trabajo de los pisonos de moldeo, martillos, quemadores, toches, discos de desbaste etc. Además se garantiza el suministro y rebombeo del agua de recirculación de la torre de enfriamiento al horno y otras áreas del taller.

En el **área de la Bala de CO₂** se garantiza el suministro de este gas según lo que establece la tecnología al área de macho y de moldeo para el endurecimiento de las mezclas que se emplean en el proceso.

En el **área de la Sub-estación eléctrica** se autoriza y garantiza el suministro de energía eléctrica según la demanda contratada para dar respuesta a los planes de producción previamente aprobados a sus correspondientes niveles (CESAMVC, 2019).

1.2 Etapa de moldeo

Elaboración de Mezclas, Moldes y Machos

En el área de moldeo y machería, como ya se mencionó se elaboran los moldes y machos, fundamentalmente de arena, con las huellas de las piezas que se van a fabricar. Cuando estas piezas tienen orificios internos se utilizan machos, para obtener el orificio sin necesidad de un mecanizado posterior.

En la **producción de moldes** de arena se distinguen dos grupos principales:

- Moldeo de arena en verde: su composición es básicamente una mezcla de arena de sílice a la que se añade un aglutinante «bentonita» (arcilla de grano muy fino) y agua para que adquiera resistencia y pueda mantener la forma moldeada.
- Moldeo de arena químico: se denomina moldeo en arena química cuando el aglomerante de la arena es una resina orgánica o inorgánica que, por acción de un

catalizador líquido o gaseoso, se polimeriza creando un molde rígido, permitiendo fundir piezas de mayor tamaño y mejor acabado superficial.

Según Elío de Bengy et al. (2012), las mezclas para el moldeo en arena se dividen en dos grandes grupos: las arenas aglutinadas y las aglomeradas. Siendo la arena base el componente fundamental de los materiales para moldeo. En la preparación de estos dos grupos las ecuaciones fundamentales podrían escribirse así:

Arena base + aglutinante + aditivos = arena aglutinada

Arena base + aglomerante + aditivos = arena aglomerada

1.2.1. Arenas para moldeo.

Moldear con arena es una vieja técnica de fundición, es la más utilizada en el mundo.

Las arenas de moldeo, cuerpos complejos que se encuentran en numerosas canteras, resultan de la disgregación de las rocas graníticas, arrastradas por las aguas y depositadas por orden de densidad en capas sensiblemente paralelas.

Debido a que los moldes a menudo deben ser destruidos para remover la parte moldeada, la arena es un material de molde muy útil. Toda la arena utilizada para moldear se mezcla con un aglutinante para solidificar el molde antes de que el metal se vierta. (García Fuentes, 2016).

La arena de Sílice: se compone de 1 átomo de sílice y 2 de Oxígeno, formando una molécula muy estable: SiO_2 . (Dióxido de silicio). Esta molécula es insoluble en agua y es un mineral que es altamente resistente al calor, con un punto de fusión de 1650 °C. El dióxido de silicio es el mineral más abundante en la corteza de la Tierra, y se encuentra en todo el mundo en diversas formas.

Arena de cromita: La arena de Cromita es una arena especial con muy buenas propiedades a elevadas temperaturas, proporciona una alta resistencia a la penetración del metal líquido, y comparativamente con otras arenas produce un enfriamiento más rápido de la pieza fundida. La arena de Cromita es aplicable a todos los tipos de aceros y muy apropiada para las piezas de acero al cromo, cromo-níquel y acero al manganeso. Tiene la ventaja sobre la arena de sílice de que es menos reactiva con el óxido de manganeso, reduciendo, de este modo, los problemas de calcinación.

Arena de Circonio: La arena de Circonio presenta excelentes propiedades refractarias, baja dilatación térmica y elevada conductividad térmica. Su composición es Silicato de circonio (ZrSiO_4) y tiene una densidad aparente aproximada de 2,7 gr/cm³

Se emplea en la fabricación de machos y moldes sometidos a altas temperaturas como es el caso de piezas de acero y piezas masivas de fundición. Las propiedades de la

arena de Circonio permiten evitar las reacciones metal/molde y aumentar la velocidad de enfriamiento.

Mezclas aglutinadas

Estas mezclas están compuestas por la combinación de una arena base que puede ser sílice, cromita, circón, más un aglutinante, que por lo general es una arcilla del grupo de las montmorillonitas (bentonitas), a esta mezcla se le adiciona agua, lo que origina entre el aglutinante y el agua atracciones electrostáticas, que son las fuerzas responsables de la cohesión entre los granos de la arena base.

Aglutinantes inorgánicos tipo arcilloso:

Las propiedades aglutinantes de la arcilla depende de las dimensiones y de la forma de las escamas cristalinas de que está compuesta, cuantas más pequeñas sean, mejor será el poder aglutinante. En consecuencia, se puede afirmar que la cohesión de una arena aglutinada con arcilla no depende solamente de la cantidad, sino también y especialmente de las características de la misma arcilla. El contenido de agua, en cambio tiene una notable influencia sobre la plasticidad).

Mezclas aglomeradas

Las mezclas aglomeradas, compuestas por la misma arena base del grupo anterior más la adición de un aglomerante. Estos dos elementos son mezclados hasta envolver todos y cada uno de los granos de arena con la resina. El mecanismo de aglomeración consiste en una reacción química que confiere gran consistencia al molde o macho fabricado. Generalmente para acelerar el proceso de endurecimiento de la arena-aglomerante se adiciona una resina catalítica (Elío de Bengy et al., 2012).

Al atacar el modelo con la mezcla de arena aglomerante esta sufre una reacción química que le hace fraguar, debido al aglomerante que acaba quedando como un cemento o retículo que recubre los granos de arena y hace de unión entre los mismos.

En lo que se refiere al moldeo de arenas aglomeradas, se las puede ubicar con el nombre de moldeo químico. Actualmente existen tres formas de clasificar los diferentes sistemas de aglomeración (Esquivel Herrera, 2010, Sáenz Valdez, 2010):

En la base de su composición química:

- Resinas orgánicas, son artificiales y naturales, las artificiales se obtienen del petróleo y se las llaman resinas sintéticas, las naturales se obtienen de la celulosa, almidón y toda clase de polisacáridos, para ambos casos contienen

cadenas poliméricas de carbono.

- Resinas inorgánicas, no contiene carbono en su estructura molecular, su tecnología se basa en los silicatos, sulfatos, fosfatos, aluminosilicatos, sales y óxidos metálicos.

En base al pH del catalizador:

- Tipo ácido, $\text{pH} < 7$, son curados mediante la adición de material alcalino.
- Tipo básico, $\text{pH} > 7$, son curados mediante la adición de material ácido.

En base al mecanismo físico de curado:

- Caja fría, el curado del molde se lleva a cabo poniéndolo en contacto con un catalizador vaporizado.
- Caja Caliente, el curado del molde se lo realiza con una fuente externa de calor.
- No horneado, que consiste en mezclar todos los componentes con un catalizador líquido que reacciona a temperatura ambiente.

Propiedades de las mezclas.

Las propiedades técnicas de una arena que interesa más conocer y aprobar son:

- La permeabilidad
- La cohesión o resistencia.

Permeabilidad.

Se denomina permeabilidad de las mezclas de moldeo a la facilidad que ofrecen de dejarse atravesar por el aire y los gases que se desprenden al realizar la colada. El aire procede del empuje del metal que lo desplaza al llenar la cavidad del molde y los gases proceden de la propia masa del metal y de la arena. Estos gases están formados principalmente por vapor de agua.

La permeabilidad depende fundamentalmente de 4 características de la mezcla:

1. De su granulometría cuanto más finos sean los granos, menor será la permeabilidad.
2. De la forma de los granos. Los granos redondeados dan mejor permeabilidad que los angulosos. La forma de los granos influye, por regla general: una arena de granos redondos tiene, teóricamente un número de huecos mayor que otra de granos angulosos, la segunda es más permeable que la primera, porque los granos angulosos se comprimen unos contra otros menos apretadamente que los granos redondos.

3. De su contenido de arcilla. Cuanto mayor sea, mas acoplados y soldados quedaran unos granos con otros y menor será la permeabilidad
4. Del porcentaje de humedad. Si la humedad es grande, queda la masa de la arena muy aglomerada e impermeable, relleno de agua todos los huecos disponibles resultando, por tanto muy baja su permeabilidad. La permeabilidad de una arena determinada aumenta con la humedad hasta cierto límite (4 a 6 %), después del cual disminuye.

Cohesión o resistencia.

La cohesión de una mezcla es consecuencia directa de la acción del aglutinante y depende de la naturaleza y contenido de este último y del porcentaje de humedad. La cohesión se puede establecer por medio de pruebas que determinan las cargas de rotura por compresión, por tracción, por flexión, la más importante es la primera, porque indica si la arena, al secarse, será capaz de soportar las fuerzas a que será sometido el molde ante las diversas operaciones. La resistencia a la cortadura corresponde al índice de plasticidad.

Presentando la humedad respecto al valor indicado, la resistencia a la compresión en verde disminuye. El aumento de humedad, sin embargo es un efecto a la inversa sobre la resistencia a la compresión en seco. También la forma de los granos influye sobre la cohesión.

En igualdad de forma, la cohesión queda influida por el tamaño de granos. En general, las cohesiones más elevadas se obtienen con arenas de granos muy gruesos o muy finos.

La distribución granulométrica de la arena influye en su resistencia; arena muy uniforme presenta una cohesión menor que otra arena distribuida en un mayor número de cedazos.

La cohesión depende del porcentaje de arcilla que contenga la arena, que conjuntamente con el agua, es la que sirve de ligamento entre los granos resistencia mecánica al conjunto. Pero no basta con que la arena contenga arcilla suficiente, sino que esta debe rodear los granos de sílice uniformemente.

1.3. Tecnologías de moldeo. Proceso fenólico uretano autofraguante.

En la Industria de Fundición se encuentra gran variedad de aglomerantes utilizados en la fabricación de moldes de arena y machos. La función de éstos es mejorar la compactación del molde y aumentar la resistencia y dureza con el fin de que el molde soporte los esfuerzos a los cuales están sometidos durante la colada.

La operación con resinas autofraguantes ofrece la ventaja de recuperar la mezcla en gran porcentaje siendo utilizada nuevamente en el proceso y reduciendo costos de manufactura, el cual ofrece moldes de mayor resistencia, permitiendo así, fundir piezas de gran tamaño, geometrías complejas, mayor precisión dimensional y mejor acabado superficial respecto al proceso actual (Alzate Suarez and Reyes Cubides, 2014).

1.3.1. Resinas autofraguantes.

El material de moldeo es una mezcla de arena con aglomerante químico, generalmente resinas sintéticas (furánicas o fenólicas). Este tipo de moldeo se suele emplear para producción de piezas en serie y piezas de gran tamaño.

Las fundiciones que utilizan en su proceso resinas para la fabricación de moldes disponen de un círculo cerrado de arena que se va renovando permanentemente mediante adición de arena nueva. Un sistema utilizado con frecuencia es aprovechar la arena de los machos para la renovación, ya que estos se suelen fabricar con arena nueva. De esta forma se mantiene dentro de unos límites prefijados los elementos que pueden variar la resistencia y dureza de la arena.

En la **producción de machos**, los procesos de aglomeración más utilizados tienen las siguientes características:

Sistema de aglutinación caja fría. El proceso de caja fría implica la curación a temperatura ambiente de una mezcla de aglutinante de arena acelerado por un catalizador, vapor o gas que se pasa a través de la arena. El gas pasa por un inyector dentro de la caja de machos y se obliga a pasar a través de la mezcla de arena, produciéndose el endurecimiento instantáneo de la misma

Sistema de aglutinación curado en caliente. Resinas de cajas caliente que se clasifican simplemente como furánico o fenólico. Todo el aglomerante de curado en caliente contiene urea y formaldehído.

Sistema de aglutinación no horneado. Consiste en mezclar todos los componentes con un catalizador líquido que reacciona a temperatura ambiente.

Como aspecto positivo de esta tecnología de moldeo están el aumento de la productividad y se ahorran materias primas como la arena de sílice pues el % de recuperación de la misma es cercano al 90 %, mejorará la calidad superficial de las piezas fundidas, y tendrán mayor exactitud dimensional. Como aspecto negativo la confección de los moldes conlleva varios riesgos. Entre ellos la inhalación o ingestión de sustancias nocivas (resinas, isocianatos, silicatos sódicos, polvo, etc.) en los diferentes procesos de trabajo, incendio durante el proceso de revestimiento del molde y sobreesfuerzos en la manipulación de moldes o cajas de moldeo. Con el empleo de las

resinas se disminuye el empleo del Silicato de Sodio, pero se corre el riesgo de producción de burbujas de gas, presencia de Nitrógeno y en ocasiones formación de formaldehído.

1.4 Evaluación de impactos ambientales Análisis del Ciclo de Vida – ACV

1.4.1 Análisis del Ciclo de Vida –ACV–.

El ACV es una herramienta que permite conocer y evaluar los impactos ambientales de productos, procesos y servicios. La metodología de ACV fue desarrollada en Europa y poco a poco, nuevas metodologías han surgido en países como Estados Unidos y Japón.

El ACV de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de cómo se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que estos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos en una forma sustentable –desde el punto de vista ambiental– minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo (Suppen and Bart, 2005).

El **ACV**, de acuerdo a la Norma NC-ISO 14040, es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas (materia y energía) y salidas (producto, coproducto, emisiones al aire, agua y suelo) relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

El ACV ha evolucionado y se ha enriquecido progresivamente, debido a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de las distintas producciones que tienen lugar en la actualidad. Los objetivos globales que persigue son:

1. Suministrar un cuadro lo más completo posible de las interrelaciones de los procesos, productos y actividades con el medio ambiente.
2. Identificar mejoras ambientales.

3. Obtener información ambiental de calidad, que facilite el diálogo constructivo entre los diferentes sectores de la sociedad preocupados por los temas de calidad ambiental.

El ACV consiste, por tanto, en un tipo de contabilidad ambiental, un balance material y energético del sistema estudiado, en que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida. Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas.

En la NC-ISO 14 040 se describen las cuatro fases del ACV: definición de los objetivos y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto, interpretación de resultados. En la figura 1.2 se presenta el marco de referencia de un ACV.

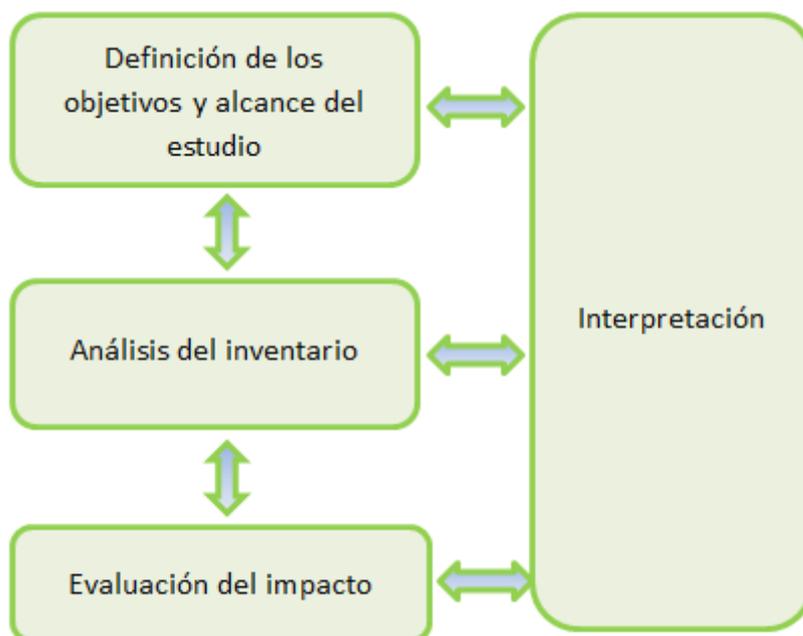


Figura 1.2. Marco de referencia de un análisis de ciclo de vida. (Holsteijn, 2005)

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

Este primer elemento del ACV tiene como objetivo tratar de esclarecer sin ambigüedades cuáles son las metas del estudio, este punto se considera importante para encontrar respuestas para algunas cuestiones determinantes.

La definición del objetivo determina el nivel de profundidad del estudio y los requerimientos del informe final. Quienes lleven a cabo el estudio deben comprender el propósito del mismo, con el objeto de tomar las decisiones correctas durante su desarrollo.

Etapa 2: Análisis del inventario.

La ISO 14.041:1998, define el análisis del inventario como el elemento del ACV que se preocupa por la colección de los datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema de producción en estudio.

Para esto se recomienda que se construya el diagrama de flujo inicial del proceso, ya que se afirma que remontar todos los flujos de entrada y salidas puede significar una regresión infinita en alguna parte del sistema. Por este motivo construir el diagrama del proceso serviría de apoyo para redefinir los límites del sistema en estudio, y ayudaría a tomar decisiones a la hora de incluir o excluir determinados sistemas auxiliares que demuestren cierta importancia en el sistema analizado (Suppen and Bart, 2005).

Etapa 3: Evaluación del impacto.

El tercer elemento del ACV, tiene como objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales. Los resultados tienen un valor informativo para la toma de decisiones.

En esta fase de metodología del ACV propuesta por la ISO 14042:2000, se identifica como obligatorio, cumplir los tres pasos que se muestran a continuación:

- 1) Selección y definición de las categorías de impacto.

Las **categorías de impactos** son los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto en estudio. Estos efectos serán seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho, estos son los objetivos y alcance del ACV.

Las categorías de impactos medioambientales se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema. Actualmente existen metodologías realmente aceptadas para asociar datos del inventario con impactos ambientales potenciales específicos de un modo consistente y preciso.

- 2) Asignación de los resultados del análisis del inventario (clasificación).

El segundo paso trazado en la metodología se conoce con el término de Clasificación. En estas, los resultados del inventario se asignan respectivamente a cada una de las categorías de impactos previamente seleccionada.

El procedimiento consiste en identificar y correlacionar todas las cargas ambientales a una o más categorías de impacto potenciales, es un procedimiento de rutina que se asigna a la totalidad de las cargas ambientales del sistema analizado. Entre los requisitos

necesarios para tal procedimiento destaca el conocimiento del comportamiento de estas cargas medioambientales y la actuación sobre los mecanismos medioambientales que estas desencadenan.

3) Cálculo de los indicadores de categoría (caracterización).

El último paso a seguir se conoce como Caracterización, el cual se lleva a cabo mediante la aplicación de los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medio ambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignadas todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, será necesario realizar la cuantificación de las referidas categorías.

Etapa 4: Interpretación de resultados.

Se discuten los resultados obtenidos en las fases anteriores como base para realizar las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de productos equivalentes se podrá determinar cuál presenta un mejor comportamiento ambiental (Holsteijn, 2005).

1.4.2 Metodología de evaluación y tipos de impactos.

Como se ha mencionado anteriormente, la selección de las categorías de impacto, los indicadores de categoría y los modelos de caracterización responden a la coherencia exigida con el objetivo y alcance del ACV para cada uno de los demostrativos. Bibliografías publicadas relacionadas con estudios de análisis de ciclo de vida, revelan que las metodologías de evaluación de impacto ambiental más comúnmente utilizadas son la CML 2001 y Ecoindicador 99, ambas enmarcadas en el ámbito Europeo. En Roux (2014) se presentan las diferencias significativas en las metodologías.

- La metodología CML 2001 es una metodología de puntos intermedios, es decir, con un planteamiento orientado al problema ambiental. Para la caracterización utiliza 10 categorías de impacto (disminución de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad agua de mar, ecotoxicidad terrestre, oxidación fotoquímica, calentamiento global, acidificación, agotamiento de recursos abióticos y eutrofización).
- La metodología Ecoindicador 99 es una metodología de puntos finales, es decir, con un planteamiento orientado al daño. Utiliza 11 categorías de impacto.
- La metodología Recipe, creada por RIVM, CML, PRé Consultants, Radboud Universiteit, Nijmegen y CE Delft. Recipe se desarrolló para combinar las ventajas de

los métodos CML2001 y Eco-Indicator 99. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Eco-Indicator 99 es su facilidad de interpretación. Se trata de una metodología publicada en el año 2008 e internacionalmente aceptada. Esta metodología, también está enmarcada en el ámbito europeo y está considerada como la sucesora de las metodologías anteriores. La misma integra el enfoque orientado al problema ambiental y el orientado al daño. Comprende, por tanto, dos grupos de categorías de impacto: uno de puntos intermedios, que incluye 18 categorías (Cambio climático, Disminución de la capa de ozono, Toxicidad humana, Formación de oxidantes fotoquímicos, Formación de materia particulada, Radiación ionizante, Acidificación terrestre, Eutrofización de agua dulce, Eutrofización marina, Ecotoxicidad terrestre, Ecotoxicidad de agua dulce, Ecotoxicidad marina, Ocupación de terreno agrícola, Ocupación de terreno urbano, Transformación de terreno natural, Disminución de cantidad de agua dulce, Disminución de recursos minerales y Disminución de combustibles fósiles) y otro de puntos finales que incluye 17 categorías de impacto y 3 categorías (salud humana, ecosistemas y aumento del coste de recursos).

En el enfoque de puntos intermedios la incertidumbre de los datos es baja, es decir, los resultados son más fiables y precisos, pero resulta ambigua o difícil de interpretar para audiencias no técnicas. En el enfoque de puntos finales la incertidumbre en los datos es alta, pero los resultados son más fáciles de interpretar.

Esta metodología incluye la posibilidad de realizar los pasos de normalización y ponderación en la evaluación de impacto. Se contempla la posibilidad de incluir estos pasos en la evaluación e impacto ambiental, para apoyar la interpretación de resultados.

El SIMAPRO es el software implementado para evaluar las metodologías antes referidas y ha tenido varias versiones, El SIMAPRO versión 9.0.035 es el utilizado para aplicar la metodología Recipe.

Una de las principales ventajas del software empleado es que contiene bases de datos que incluyen varias librerías o proyectos que, a su vez, agrupan diferentes procesos con todas sus entradas y salidas.

Los procesos se separan en siete categorías: materiales, energía, transporte, procesado, uso, escenario de residuos y tratamiento de residuos. Además, la base de datos contiene entradas de carácter general como son los nombres de sustancias, las unidades de medida, referencias de la literatura, etc. La base de datos por defecto contiene librerías

de distintos autores con datos de energía, industriales, materiales, transporte y métodos de evaluación de impacto (Holsteijn, 2005).

Conclusiones parciales

Los procesos de fundición afectan la calidad del aire por la cantidad y composición de sus residuos sólidos y gaseosos

Las etapas de moldeo y desmoldeo son generalmente manuales y generan considerables emisiones de material particulado por lo que las nuevas tecnologías desarrolladas priorizan la eliminación del impacto ambiental por generación de este residuo que afecta la salud de los trabajadores del sector

No se han evaluado desde el punto de vista ambiental con enfoque de ciclo de vida las tecnologías de moldeo con resinas autofraguantes que si bien minimiza las emisiones de material particulado por los equipos de control de las emisiones, y aumenta productividad de los trabajadores, los residuos sólidos generados son más tóxicos.

Capítulo II. Materiales y métodos

En este capítulo se desarrolla la metodología de ACV en el proceso de producción de acero C45 en la fábrica Fabric Aguilar Noriega. Se definen los límites del sistema y el alcance del estudio y el software a utilizar. Se realizan los balances de materiales y consumo de electricidad correspondientes para la colección de los datos y los procedimientos de cálculo que permiten cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema de producción en estudio que conforman los inventarios.

2.1 Caracterización general de la Empresa de Producciones Mecánicas Fabric Aguilar Noriega.

La Empresa de Producciones Mecánicas Fabric Aguilar Noriega se encuentra ubicada en la Zona Industrial, Apto. 29, CP. 50100, Municipio Santa Clara, región central del país a 266 Km de Ciudad Habana y a 65 km del puerto de Cienfuegos. Sus instalaciones tecnológicas ocupa un espacio de 80 000 m² totalmente techados. El mismo permite la producción anual de más de 10 000 toneladas de equipos, estructuras metálicas y piezas de repuesto.

En la Figura 2.1 se encuentra la Macrolocalización de la fábrica.

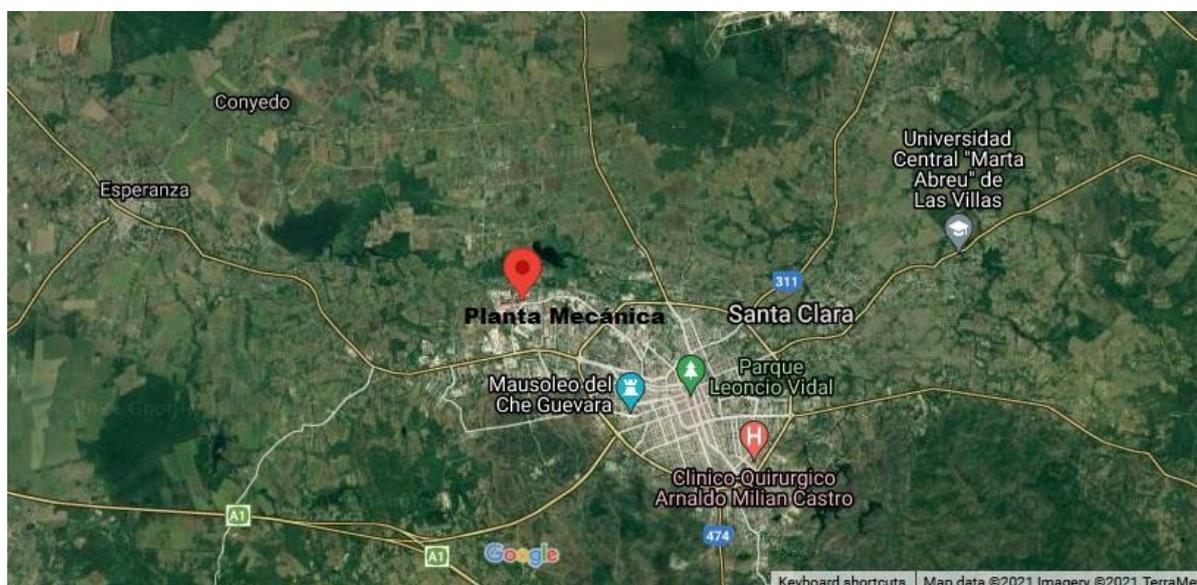


Figura 2.1 Macrolocalización de la fábrica (Google earth)

Fundada el 3 de mayo de 1964 estableció su producción en el mercado nacional, con equipos y piezas de repuesto para la industria azucarera. Años más tarde se consolida, además, como fabricante de maquinaria para las industrias Metalúrgicas, Siderúrgicas, del Cemento, de la Minería, Obras Hidráulicas, Petróleo, entre las más significativas. El complejo industrial posee divisiones especializadas, talleres de servicio, laboratorios y

almacenes. El potencial tecnológico, la asimilación de tecnologías especiales y más de 50 años de tradición productiva, hacen que nuestro complejo industrial sea hoy una organización capaz de asumir los más diversos proyectos y situar sus productos en el mercado nacional e internacional. Para su desarrollo Planta Mecánica ha favorecido las producciones conjuntas con firmas internacionales, las cuales avalan un campo de actividades competentes y atractivas para el más exigente empresario. Además, es su intención ofrecer condiciones ventajosas para establecer alianzas productivas, técnicas y comerciales, no solo con el objetivo de mejorar su tecnología y aumentar su nivel de calidad, sino además para ofertar productos más competitivos en precios, calidad y con posibilidades de proyectarse a la exportación ya que se posee licencia para exportar, preferentemente en el área Latinoamericana y del Caribe.

En la figura 2.2 resumen de los procesos metalúrgicos en Planta Mecánica.

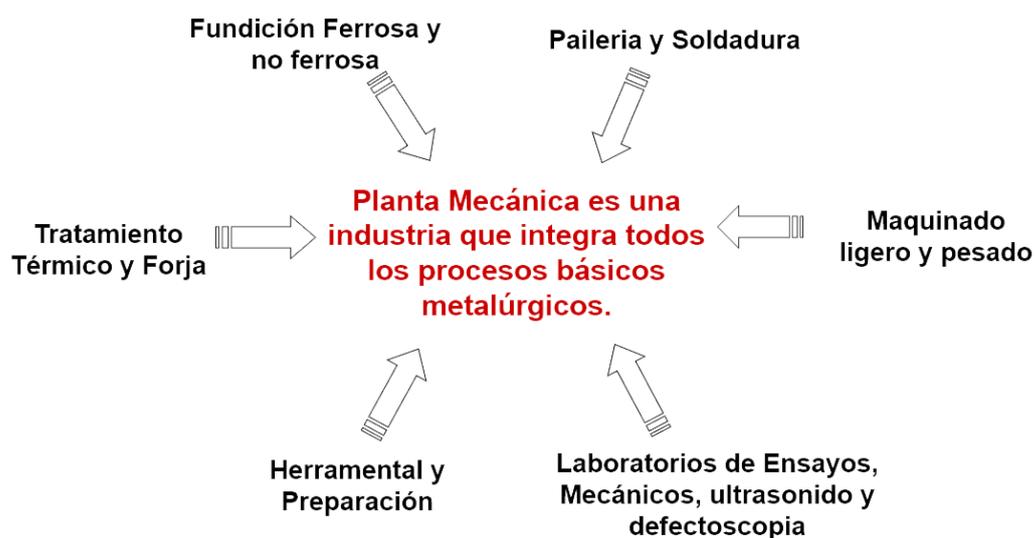


Figura 2. 2 Integración de los procesos metalúrgicos en Planta Mecánica.

Misión: La Empresa Planta Mecánica Villa Clara, la fábrica de fábricas de Cuba, gestiona una cadena de valor metalmeccánica a ciclo cerrado, que le posibilita brindar a sus clientes nacionales y extranjeros una oferta integral de servicios de ingeniería, fabricación, montaje, garantía y post-venta; para lo cual dispone de tecnologías adecuadas, y de un capital humano altamente profesional, comprometido en el empeño de alcanzar los más alto estándares industriales y medioambientales.

Visión

«Ser líderes en la fabricación de equipos y piezas de repuesto para la industria sobre todos en sectores estratégicos como el azucarero, minería, energético, turismo, agricultura, construcción, transporte, etc., utilizando tecnologías de punta, con competitividad en los mercados nacionales e internacionales»

2.2 Descripción del proceso de Fundición

El proceso de fundición en moldes con mezclas con arena comienza con el pedido que se le realiza a la fábrica por determinado cliente, en el que están incluidas las características de la pieza, o pueden ser modificada en la primera etapa que es la de diseño, en la que se definen las dimensiones, el diámetro de los agujeros, y el volumen de la misma. La próxima etapa es la de tecnología de fusión en el que se define la cantidad de materia prima a emplear para la fusión y el tiempo. Posteriormente pasa al taller de Plantillería donde se elabora una plantilla modelo para obtener mediante la elaboración de un molde la pieza. Se utilizan los machos que son las encargadas de realizar los agujeros, en caso de que el agujero sea muy pequeño, se realiza esa parte maciza y se obtiene el agujero con el taladrado en el taller de acabado. Con relación a las medidas de la plantilla hay que tener en cuenta un aspecto fundamental, la contracción, que varía en dependencia del tipo de material a emplear y que pueden cambiar el tamaño y la sobre medida que se le da a la pieza. Las superficies del modelo deberán respetar unos ángulos mínimos con la dirección de desmolde (la dirección en la que se extraerá el modelo), con objeto de no dañar el molde de arena durante su extracción. Este ángulo se denomina ángulo de salida y se recomienda que este entre $0,5^\circ$ y 2° (Chavéz, 2016). Ya con la plantilla lista se pasa a moldeo, que se realiza en dependencia de la plantilla y el material a obtener. El molde se realiza dentro de cajas metálicas, utilizando arena para su confección. Se utiliza este tipo de material refractario ya que es muy abundante en la naturaleza y que, mezclada con arcilla, adquiere cohesión y maleabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde al tiempo que se vierte el metal fundido. El molde de arena se construye mediante el vertimiento, compactado y endurecimiento. En la tecnología tradicional que aún se utiliza en la planta se emplean mezclas de arena sílice con melaza, azúcar y silicato de Sodio, o de arena de cromita con azúcar y Silicato de Sodio, las mezclas que contienen silicato son endurecidas por CO_2 , las otras se endurecen con calor en la estufa. Los moldes, generalmente, se encuentran divididos en dos partes, la parte superior denominada cope y la parte inferior denominada draga. Cualquier característica de la pieza de fundición que no pueda ser creada en el modelo se forma en núcleos separados que se fabrican en arena antes de la creación del molde. El tiempo de creación del molde incluye el posicionamiento del molde, la compactación

de la arena y la extracción del modelo y depende del tamaño de la pieza, la cantidad de núcleos y el tipo de molde de arena. Luego se colocan en su sitio los núcleos o machos, se unen las mitades del molde y se sujetan. Es fundamental que las mitades del molde permanezcan firmemente cerradas para evitar cualquier pérdida de material. Ya con el molde seco y endurecido se retira la plantilla y se le da una capa de pintura refractaria con base circonio para darle un acabado superficial, y que el metal penetre en el molde.

Con la inversión se sustituyen las mezclas en arena con silicato y CO_2 por resinas y catalizadores, que hacen que el proceso de moldeo sea más rápido.

Se realiza la alimentación al horno de las materias primas a emplear, que por lo general son chatarra de hierro o acero, que son desechos metálicos ferrosos, de forma irregular o variada, carbonato de calcio que es un mineral cuya composición química principal es el CaO , electrodo carburante que son barras cilíndricas que se utilizan para aumentar el porcentaje de carbón, grafito desoxidante que es un material sólido, cuya procedencia es el carbón mineral, elaborado de color gris oscuro casi negro y su uso es para formar escorias, la fluorita que es un material cuyos componentes son el Ca y el F, que se utiliza en los procesos de acero para hacer fluidas las escorias, el oxidante que es un material residual obtenido en la laminación de metales formado por Fe y O_2 y las ferroaleaciones que incluyen ferrosilicio que es un material metálico en trozos compuesto fundamentalmente de Fe y Si que se utiliza como desoxidante y aleante en el acero y el hierro y por último el ferrosiliciomanganeso que es un material metálico sólido, compuesto de Fe, Si y Mn, se utiliza como aleación y desoxidante. Con anterioridad son conectados los dos hornos. El tiempo de fusión es de aproximadamente tres horas y media, aunque puede ser un poco mayor en dependencia de la cantidad de material a fundir y el tipo de aleación. Cuando transcurre el tiempo determinado comienza la evacuación del metal, este pasa a la cuchara de vertido y de ahí al molde, para esto se utiliza el método de sifón, que no es más que una boquilla con un orificio por donde sale metal. Este orificio contiene un tapón con una barra metálica protegida con cerámica refractaria la cual tiene un brazo en la parte superior con un mecanismo de acción mecánico. Se acciona una palanca la cual levanta el tapón sale el metal y se sella cuando termina el vertido del primer molde y se pasa al segundo molde en caso de que se quiera realizar más de una pieza. Vale añadir que se debe vaciar suficiente metal fundido hasta llenar la cavidad completa y todas las canales del molde. El tiempo de llenado es muy corto a fin de prevenir la solidificación prematura de alguna parte del metal. Posteriormente pasa al enfriamiento, en donde el metal fundido que se ha vaciado en el molde empezará a enfriarse y a solidificarse cuando penetre en la cavidad. Una vez que se llene la cavidad y se solidifique el metal fundido, se tendrá la forma final de la pieza de fundición. No se

puede abrir el molde hasta que haya terminado el periodo de enfriamiento que es de 24 a 48 horas. Muchos de los posibles defectos pueden ser consecuencia del proceso de solidificación. Si parte del metal fundido se enfría demasiado rápido, la pieza puede presentar encogimiento, grietas o secciones incompletas.

Con posterioridad pasa al desmoldeo, después de transcurrido el tiempo predeterminado de solidificación, el molde de arena puede simplemente romperse y extraer la pieza de fundición. Esta etapa se realiza con una máquina vibradora de parrillas o de forma manual o con martillos neumáticos. Después de su extracción. Ya la pieza está lista para todo el proceso de acabado, el cual no es objeto de estudio.

En la figura 2.3 y 2.4 son los diagramas de flujo del proceso de fundición de acero para la tecnología tradicional y la tecnología después de la inversión respectivamente.

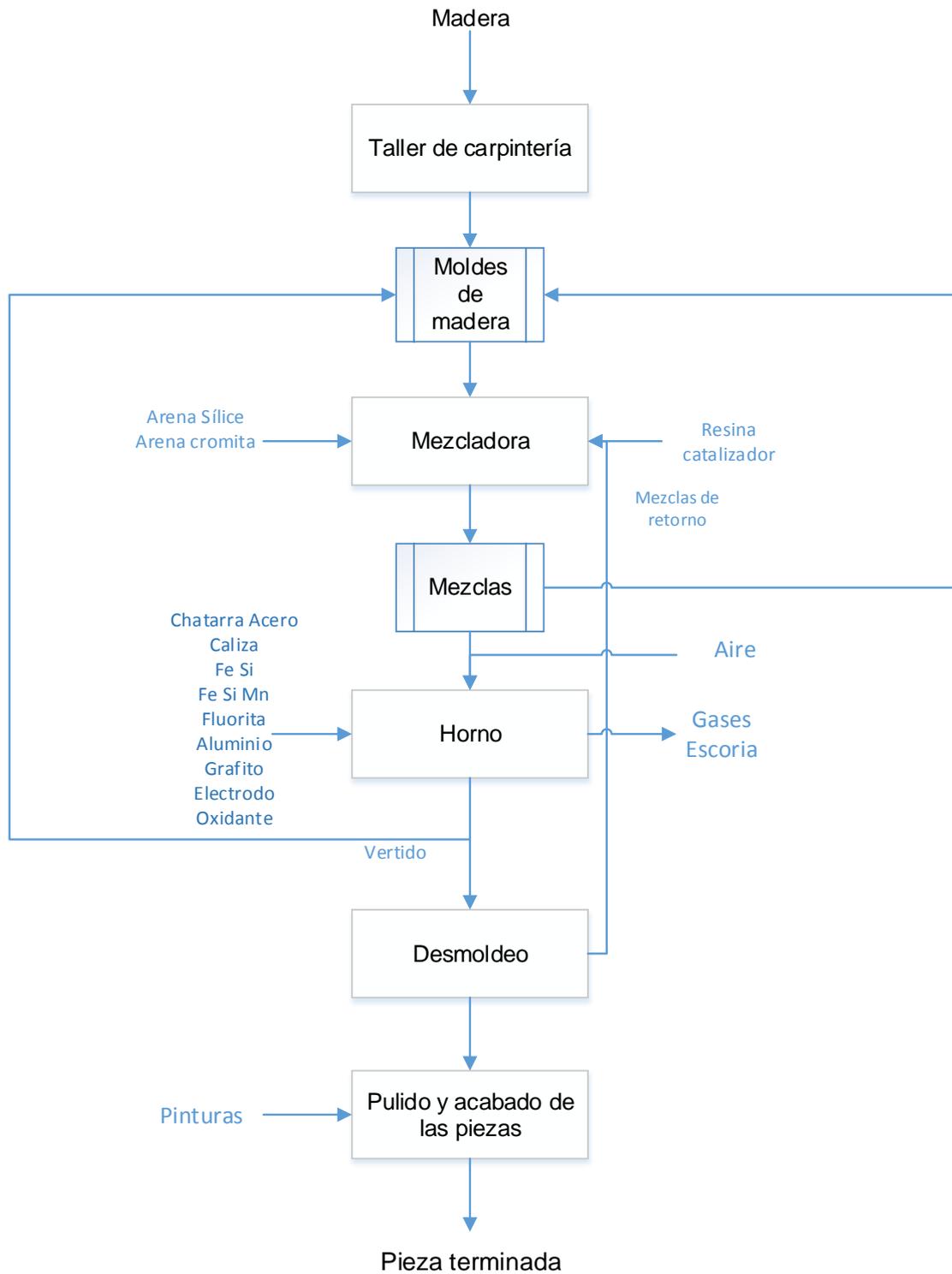


Figura 2.4 Diagrama de Flujo del proceso tecnológico después de la inversión de fundición de acero

2.3 Balances de materiales y energía.

Para la realización de los balances de materiales y energía se tomó la producción del 2021 donde se ha producido hasta el mes de octubre un total de 781,317 toneladas de acero.

Se hicieron los cálculos para la tecnología de moldeo tradicional que aún se trabaja en la fábrica y para la nueva tecnología de moldeo con que se modernizó con la inversión en fecha reciente .

2.3.1 Balances de materiales para la tecnología tradicional.

Para conformar el molde para fundir acero se tiene dos tipos de arenas:

- Mezcla de cara, que está compuesta por un 94% de arena sílice y un 4% de silicato de sodio.

La tabla 2.1 muestra la composición de la mezcla de cara.

Tabla 2.1 Composición de la mezcla de cara para una tonelada de acero fundido.

Cantidad de la Arena de entrada al molde	UM	Cantidad
Arena Sílice	t	1,504
Silicato Sodio	t	0,006
Total	t	1,510

- Mezcla de relleno, que está compuesta por un 94% de arena de retorno, un 3% de bentonita y un 3% de melaza. Estas mezclas son endurecidas por CO₂, para una tonelada de acero fundido se utiliza 0,07 toneladas.

La tabla 2.2 muestra la composición de la mezcla de relleno.

Tabla 2.2 Composición de la mezcla de relleno para una tonelada de acero fundido.

Cantidad de arena de relleno de entrada	UM	Cantidad
Mezcla de retorno.	t	3,397
Melaza	t	0,001
Bentonita	t	0,0021
Total	t	3,401

Antes de verter el acero fundido al molde se le da una capa con pintura alcohólica base circonio para facilitar el desprendimiento final de las piezas fundidas durante el desmoldeo.

La Tabla 2.3 muestra la composición de la pintura refractaria.

Tabla 2.3 Composición de las pinturas refractarias.

Componente	Composición
Circonio	67%
Alcohol etílico (93%)	29%
Pez Rubia (Colofonia)	4%

Para el balance en el desmoldeo se tomó como referencia una colada donde se fundieron 7,42 toneladas de acero y se obtuvo 4,178 toneladas de acero neto para 14 piezas fundidas. En la Tabla 2.4 se muestra la colada # 19 de acero C45.

Tabla 2.4 Piezas fundidas en una colada de acero C45 (# 19) 15/2/2021

Denominación	Plan	Metal	Plan		Real	
			Peso bruto (kg)	Peso Neto (kg)	Peso bruto (kg)	Peso Neto (kg)
Cuchilla Central Perfil # 2A	1	AC45	1158	930	1158	930
Sprocket Z-13 P-8 Mot ríz	4	AC45	720	414	2880	1656
Sprocket Z-16 P-6 Motríz	5	AC45	480	210	2400	1050
Soporte Brazo Cuchilla	2	AC45	276	146	552	292
Silla soporte fulton	1	AC45	220	130	220	130
Silla soporte Hamilton	1	AC45	210	120	210	120
Total (tn)	14				7,42	4,178

En el desmoldeo se considera de acuerdo a la literatura y a la experiencia fabril que en la salida un 65% de arena se desecha (1,65tn) y un 35% de arena retorna al proceso: (0,89tn), además se emanan gases que se calculan por balance total. Los balance de materiales de las tablas # 2.5, 2.6 y 2.7 fueron tomados del trabajo de (Tejeda Lema, 2017).

Balance Total para una tonelada de acero fundido.

Mezcla de cara + Mezcla de relleno + pintura refractaria

= Mezcla de retorno + Mezcla de desecho + Escoria + Carga metálica

+ Piezas + Gases

Balance de materiales para la fusión del acero

Tabla 2.5: Composición y masa en el fundido.

Fundido									
Salida	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Fe	Total
m(t)	0,0048	0,00264	0,00650	0,00007	0,0032	0,00224	0,00128	0.98215	1,00

Tabla 2.6: Composición y masa en la escoria

Escoria										
Salida	MnO	Al2O3	Mn	Al	CaF2	P2O5	MgO	CaO	C	Total
m (t)	0,023	0.0152	0,0418	0.0269	0,0195	0,0000018	0.0082	0,051	0,184	0,326

Tabla 2.7: Composición y masa en los gases

Gases				
Salida	CO	SO2	N2	Total
m(t)	0,041	0,047	0,00021	0,089

Tabla 2.8 Resultados del Balance total de materiales.

Componente	UM	Cantidad
Escoria	t	0,32
Carga Metálica	t	0,01
Gases	t	1,06

Electricidad.

La energía que se consume en la planta es de 769Kwh/t para la producción de acero de referencia (6,5 tn) donde el tiempo de trabajo es de 4h. En la colada analizada para una producción de fundido de 7,42 toneladas el consumo será de 118 kWh de potencia para una tonelada de acero fundido.

2.3.2 Balances de materiales para la tecnología de moldeo con resinas furánicas.

Para la elaboración de los moldes se tienen dos tipos de mezclas:

Mezcla nueva que está compuesta por: arena sílice, arena cromita, resina furánica (2,6%) y catalizador (0.072%).

Mezcla de retorno que es la que se recupera del proceso.

En la tabla 2.9 se muestra los materiales para la elaboración de los moldes.

Tabla 2.9 Cantidad de materiales para la elaboración de moldes para una tonelada de acero fundido.

Denominador	UM	Cantidad
Arena Sílice	t	1,3000
Arena Cromita	t	0,3500
Resina	t	0,0150
Catalizador	t	0,0080
Caolín	t	0,0050
Mezcla de retorno	t	2,2800

Antes de verter el acero fundido al molde se le da una capa con pintura alcohólica base circonio igual que en el proceso tradicional.

En el desmoldeo se considera de acuerdo a la literatura (CESAMVC, 2019) y a la experiencia fabril que en la salida un 10% de mezcla se desechó (0,253 t) y un 90% de retorna al proceso: (2,283T), además se emanan gases que se calculan por balance total. Las cantidades de escoria y carga metálica se mantienen con respecto a la tecnología tradicional al mantenerse la misma carga de la colada y la misma tecnología de fusión.

El balance total de materiales se mantiene al de la tecnología tradicional. En la tabla 2.11 se muestran los resultados.

Tabla 2.11 Resultados del Balance de materiales.

Componente	UM	Cantidad
Escoria	t	0,32
Carga Metálica	t	0,01
Gases	t	0,119

Balance de Energía

La energía que se consume en la planta es de 576,75 para la producción de acero de referencia (6,5 tn) y considerando que en la nueva tecnología se ahorra un 25 % (CESAMVC, 2019). En la colada analizada para una producción de fundido de 7,42 toneladas el consumo será de 88,73 kW h de potencia para un tiempo menor de moldeo de 1,71h

2.4 Objetivo y alcance del ACV.

El objetivo del presente estudio está en evaluar los impactos ambientales de la propuesta tecnológica en la etapa de moldeo en Planta mecánica mediante un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que posibilite el cálculo de las categorías de impacto y de daño, y establecer las bases para la posterior comparación de las dos tecnologías de moldeo.

Los estudios se realizarán de acuerdo a las normas ISO 14 040 y 14 045.

El sistema analizado se define como la fabricación de una tonelada de acero. Para elaborar los inventarios se tomó como base los balances de materiales y energía en una colada de referencia del año 2021 e incluyen la preparación de los componentes (moldes, machos, piezas)

Los resultados presentados en el informe, pretenden constituir una información objetiva, que le permitirá a la fábrica Planta Mecánica mejorar su política de responsabilidad social, a través del cálculo de las categorías de impacto, tomar decisiones sobre la producción a gran escala de acero.

El alcance del presente estudio se ha definido de acuerdo a su objetivo principal, por esta razón, el enfoque seleccionado es de la cuna a la puerta ya que se concluye cuando la pieza está terminada.

En la figura 2.5 se muestra el diagrama de los límites del sistema.

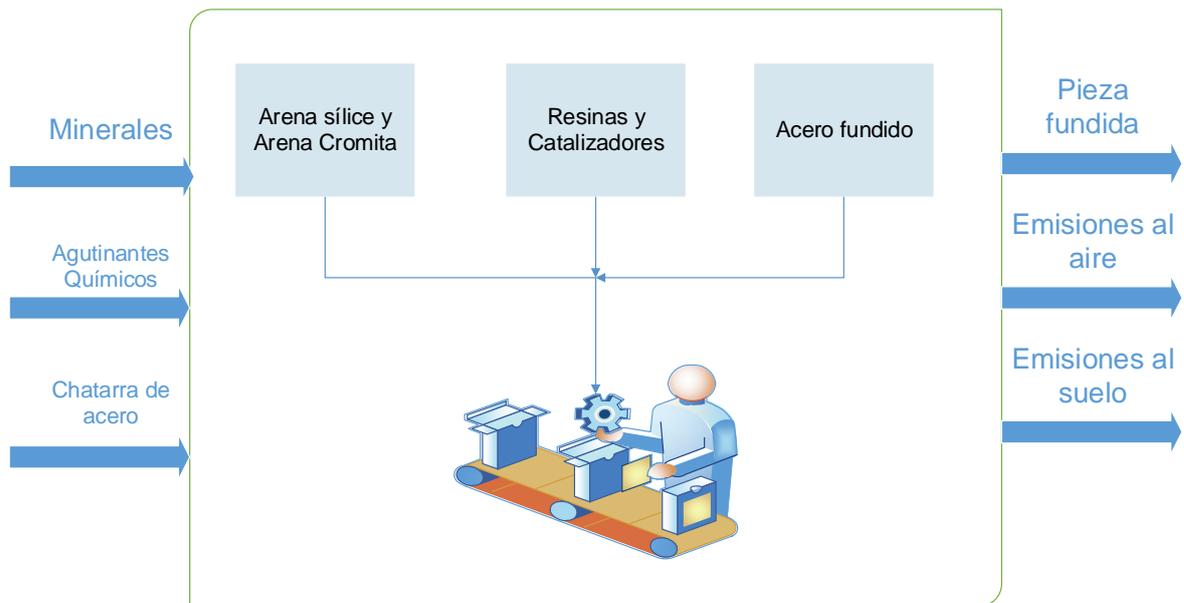


Figura 2.5 Diagrama de los límites del sistema.

Unidad Funcional y Flujo de referencia

La unidad funcional de este estudio es la producción de una tonelada de acero fundido.

El flujo de referencia es una tonelada de acero fundido.

2.5 Conformación de los inventarios

Para la conformación de los inventarios, los resultados obtenidos en los balances de materiales y energía son adaptados a la Unidad Funcional (1 tonelada de acero) los cuales se muestran en las tablas 2.12, 2.13 y 2.14

2.5.1 Inventario para 1 tonelada de acero con la tecnología tradicional.

Tabla 2.12 Inventario para la tecnología tradicional.

Entrada	UM	Total
Arena Sílice	t	1,504
Silicato Sodio	t	0,006
Melaza	t	0,001
Bentonita	t	0,0021
Caolín	t	0,005
CO ₂ (Dióxido de Carbono)	t	0,070
Pez Rubia (Colofonia)	t	0,001
Circonio	t	0,010

Alcohol	t	0,008
Arena de retorno.	t	3,397
Fuel Oil	t	0,018
Brocha	U	1,000
Salidas	UM	Total
Mezcla de desecho	t	2,404
Mezcla de retorno.	t	1,294
Gases	t	1,062
Pieza	t	1
Escoria	t	0,32
Carga metalica	t	0,01

2.5.2 Inventario para 1 tonelada de acero con la nueva tecnología.

Tabla 2.13 Inventario para la nueva tecnología.

Entrada	UM	Total
Arena Sílice	t	1,300
Arena Cromita	t	0,350
Resina	t	0,015
Catalizador	t	0,008
Caolín	t	0,005
Pez rubia (Colofonia)	t	0,001
Circonio	t	0,010
Alcohol	t	0,008
Mezcla de retorno	t	2,28
GLP	t	0,051
Fuel Oil	t	0,018
Brocha 2"	U	1,000
Salidas	UM	Total
Mezcla de desecho	t	0,301
Mezcla de retorno.	t	2,709
Gases	t	0,11
Pieza	t	1,000
Escoria	t	0,32
Carga metálica	t	0,01

2.5.3 Inventario para la etapa de fusión de acero en la tecnología tradicional.

Tabla 2.14 Inventario para la etapa de fusión.

Entrada	UM	Total
Chatarra Acero	t	1,1200
Retorno Acero	t	0,4900
Fe Si 75 %	t	0,0130
Fe Si Mn 65%	t	0,0140
Chatarra Aluminio	t	0,0036
Magnesita Granulada	t	0,0400
Piedra Caliza	t	0,2600
Spato Flúor (Florita)	t	0,0060
Grafito Granulado	t	0,0050
Antracita	t	0,0080
Electrodo Ø 300	t	0,0160
Soga	m	2,0000
Escama molino	t	0,0700
SiCa	t	0,0030
GLP	t	0,051
O ₂	t	0,070
Salidas	UM	Total
Acero fundido	t	1
Escoria	t	0,326
Gases	t	0,089

2.6 Modelación de los inventarios en SimaPro.

Para la modelación de los inventarios en SimaPro (VERSION 9.0.0.35) fue necesario adaptar todos los procesos de la base de datos Ecoinvent a las condiciones de Cuba. También los procesos de obtención de acero, por ser materias primas cubanas. Las principales modificaciones están relacionadas con la sustitución de los procesos de electricidad y combustible por los procesos cubanos. Tampoco se conocía la composición de la resina furánica utilizada por lo que se sustituyó por la categoría de orgánicos que tiene la base de datos. En la figura 2.5 se muestra el entorno del software SimaPro.



Figura 2.5 Software SimaPro

2.7 Análisis económico preliminar.

En este estudio se toma como indicador de valor el costo de producción a partir de las entradas del inventario y considerando el precio de las materias primas. Se obtienen los costos de producción para una tonelada de acero fundido en las tablas 2.15 y 2.16.

2.7.1 Costos de las Materias primas para la tecnología tradicional.

Tabla 2.15 Costos de las Materias primas para la tecnología tradicional.

DENOMINACION	UM	Consumo Acero	Plan	PRECIO(CUP)	IMPORTE
Arena Sílice	t	1,504	1,504	160,34	256,54
Arena Cromita	t	0,35	0,35	15024,00	5258,40
Silicato Sodio	t	0,006	0,006	9809,15	1481,18
Melaza	t	0,001	0,001	2949,00	132,71
Bentonita	t	0,07	0,07	2075,56	145,29
Caolín	t	0,005	0,005	2340,00	11,70
Azúcar	t	0,015	0,015	2700,00	40,50
CO ₂ (Dióxido de Carbono)	t	0,07	0,07	5187,96	363,16

Pez Rubia (Colofonia)	t	0,00084	0,00084	1000,00	0,84
Circonio	t	0,01	0,01	65568,00	655,68
Alcohol	t	0,008	10	891,31	8913,10
Mezcla de retorno.	t	3,614	3,614	6,75	24,39
Fuel Oil	t	0,018	37,05	6,62	245,27
Brocha 2"	U	1	1	80,00	80,00
TOTAL					17608\$

2.7.2 Costos de las Materias primas para la nueva tecnología.

Tabla 2.16 Costos de las Materias primas para la nueva tecnología.

Denominación	UM	Índice de consumo x t de acero	Plan acero	Precio CUP	Importe CUP
Arena Sílice	t	1,3	1,3	160,34	208,44
Arena Cromita	t	0,35	0,35	15024,00	5258,40
Resina	t	0,015	0,015	84000	1260,00
Catalizador	t	0,008	0,008	43200	345,60
Caolín	t	0,005	0,005	2340	11,70
Pez rubia (Colofonia)	t	0,00084	0,00084	1000	0,84
Circonio	t	0,01	0,01	65568	655,68
Alcohol	t	0,008	10	891,31	7,03
Arena de retorno	t	2,28	5,4	6,75	15,39
GLP	t	0,051	0,087	6,62	0,34
Fuel Oil	t	0,018	19	6,62	0,12
Brocha 2"	U	1	1	80	80,00
Total					7843,54

Conclusiones parciales

Los balances de masa y energía permitieron la confección de los inventarios necesarios para el posterior análisis de ciclo de vida de producción de moldes para piezas de acero con las dos tecnologías en estudio.

La nueva tecnología objeto de modernización que se aplica tiene grandes ventajas:

- Elimina el uso del aglutinante silicato de sodio que al reaccionar con el CO_2 es dañino para la salud de los trabajadores.
- Se sustituye los aglutinantes bentonita, melaza, azúcar, por aglomerantes químicos que son resinas orgánicas que permiten un máximo aprovechamiento de los moldes.
- El ahorro económico asciende a 9765,22 CUP por concepto de sustitución de materias primas y reúso de las mezclas.

Capítulo III. Resultados y análisis

En este capítulo se expresan los resultados de la evaluación del impacto ambiental por la metodología Recipe mediante el uso del software SimaPro 7.3, la misma se lleva a cabo para la producción de acero C45 con las dos tecnologías objeto de estudio, permitiendo cuantificar el impacto ocasionado por las entradas y salidas del inventario, a las categorías de impacto y las categorías de daños. De esta forma se establece el perfil ambiental de la producción de acero con la alternativa inversionista de la etapa de moldeo químico con resina furánica y su comparación con la tecnología tradicional (caso base).

3.1 Evaluación de impactos ambientales causados por la tecnología inversionista de moldeo.

En este epígrafe se hará un estudio de la producción de acero con la etapa de moldeo químico. Con este objetivo se muestra a continuación la red de la producción del acero en Planta Mecánica, para visualizar los procesos que influyen y tener conocimiento de cuáles tienen mayor significación.

En la figura 2.1 se muestra la red del proceso de producción.

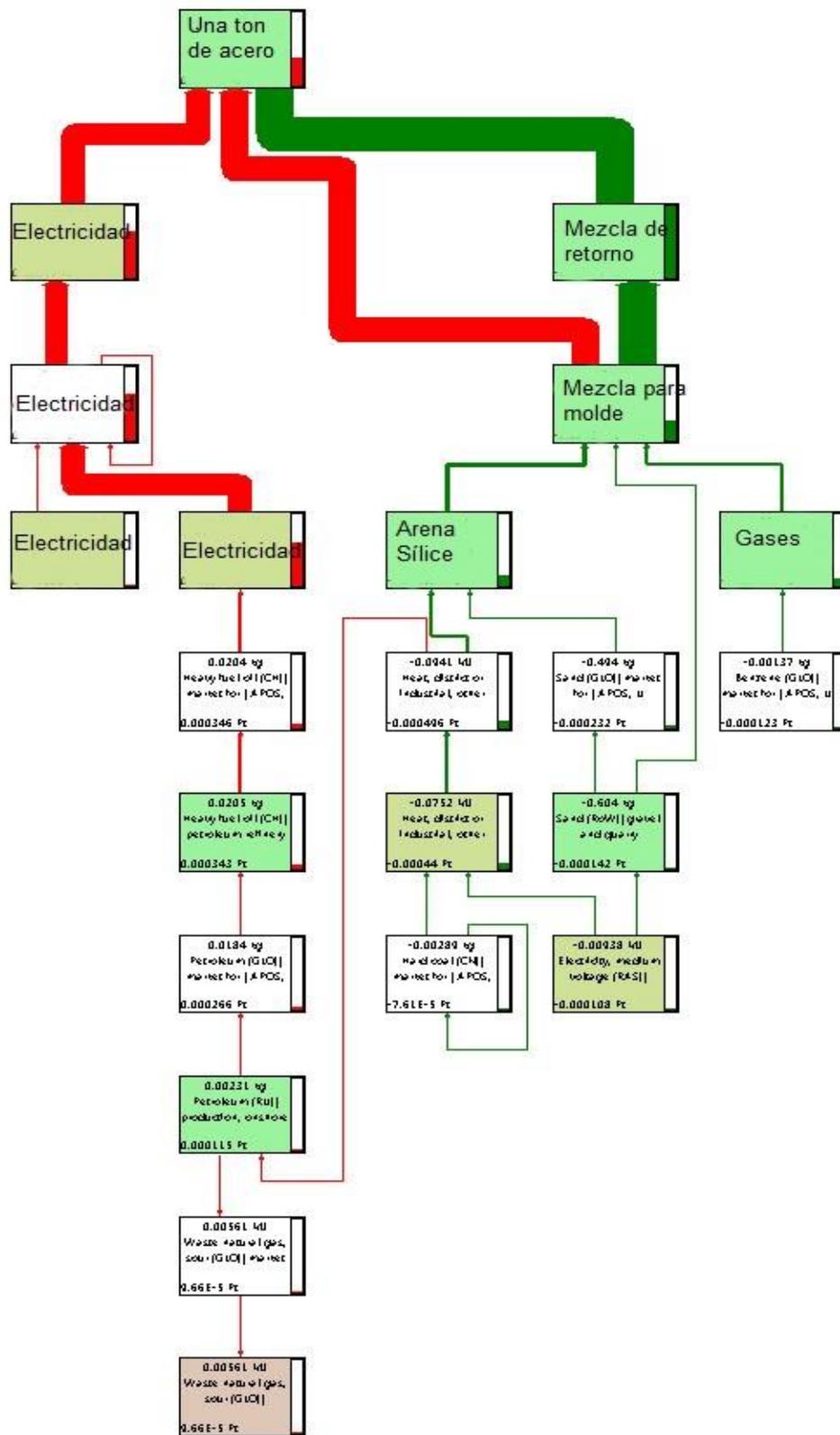


Figura 3.1 Red del proceso de producción de acero para la nueva tecnología.

El grosor de la flecha, en la figura 3.1, permite conocer la magnitud del impacto generado por cada uno de los procesos que intervienen en la producción del acero. Por lo tanto, las mezclas y electricidad tienen un aumento significativo con respecto al resto de las corrientes, siendo la mezcla de retorno la de mayor impacto y contribución como producto evitado que se recicla en este proceso.

La figura 3.2 ilustra la caracterización de cada una de las corrientes involucradas en la producción de acero en la nueva tecnología de moldeo, a cada una de las categorías de impacto evaluadas por el Recipe (midpoint). El flujo que presenta un porcentaje de mayor contribución ambiental, es la mezcla de retorno que impacta con el máximo porcentaje (100%) en 12 de las categorías analizadas. La mezcla de moldeo tiene también un alto % de contribución (73,24 %) en las mismas categorías impactadas. Estas son:

Formación de partículas finas.

Ecotoxicidad terrestre.

Ecotoxicidad del agua dulce.

Toxicidad cancerígena humana.

Toxicidad humana no cancerígena.

Uso del suelo.

Escasez de recursos minerales.

Escasez de recursos fósiles.

Consumo de agua.

Consumo de agua, salud humana.

Consumo de agua, Ecosistema terrestre.

Consumo de agua, Ecosistema acuático

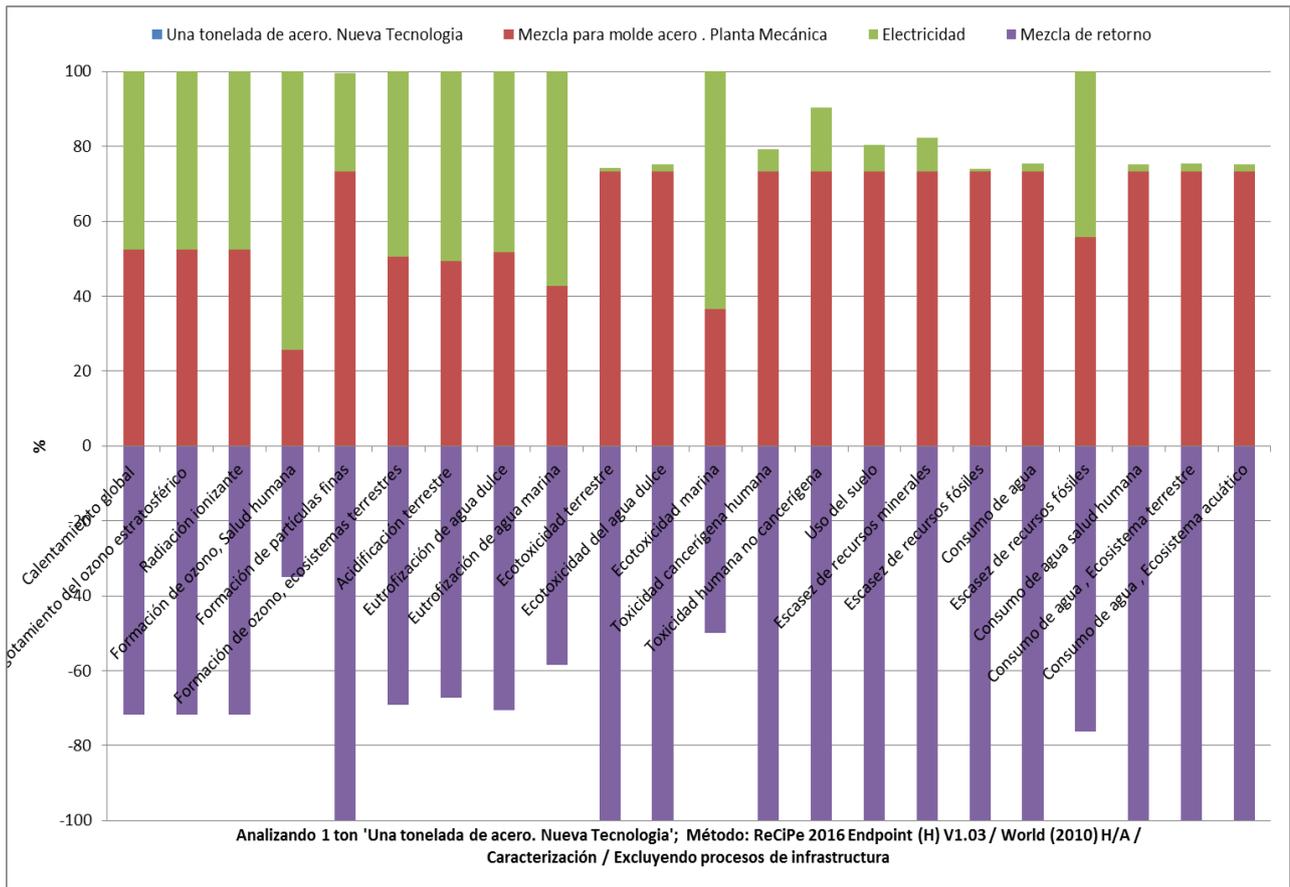


Figura 3.2. Perfil ambiental. Caracterización la etapa de moldeo químico. Nueva Tecnología

En la figura 3.3 se representa la contribución por puntos (Endpoint) de las categorías más impactadas, siendo la formación de material particulado y el calentamiento global las de mayor puntaje en las corrientes principales del proceso de moldeo en la nueva tecnología.

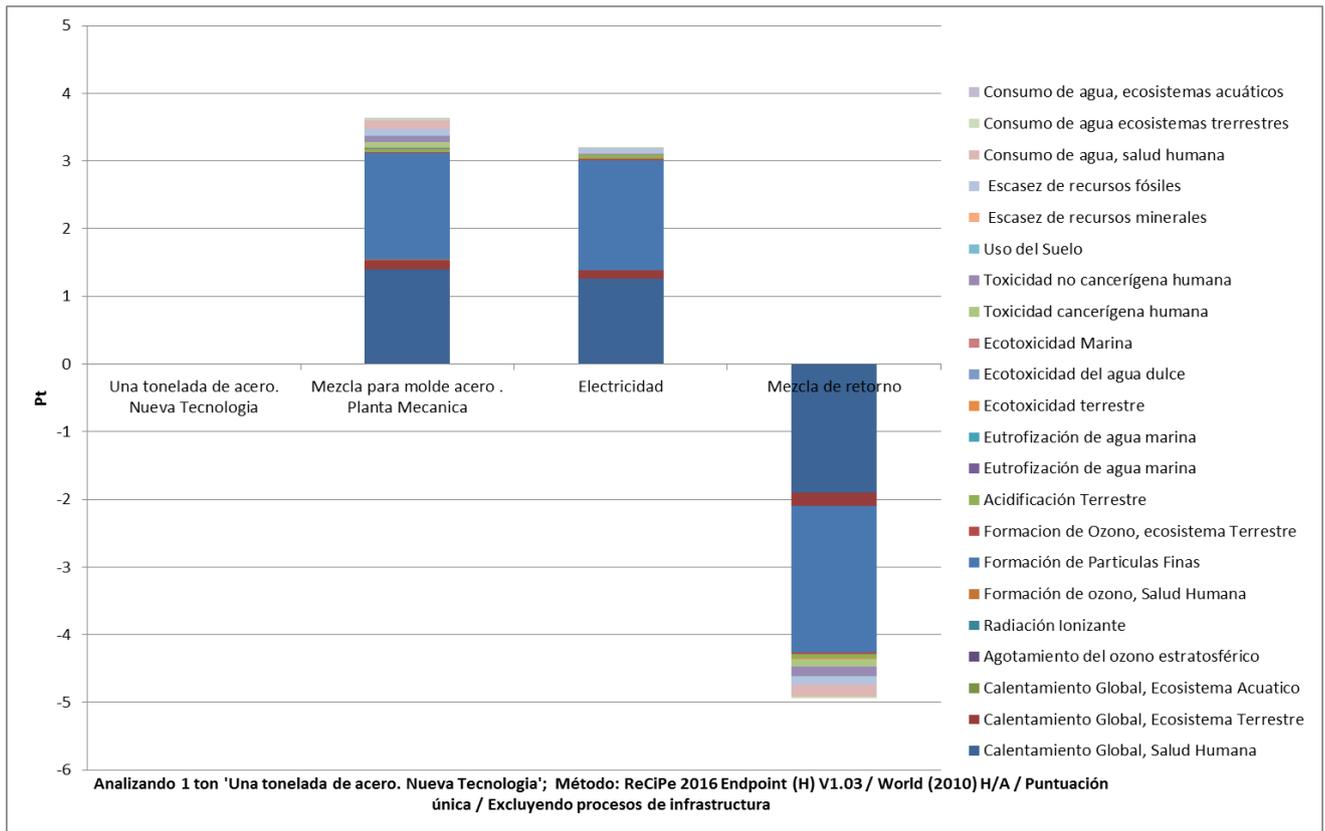


Figura 3.3 Comparación de los resultados entre las tecnologías de moldeo tradicional y química con el usos de resinas furánicas.

En la figura 3.4 aparece la contribución de las dos tecnologías a las categorías de impacto, se evidencia una notable reducción de las categorías impactadas con la nueva tecnología con la mayor incidencia en la formación de material particulado y calentamiento global. En el proceso tradicional son mayores las emisiones de gases que incluye el CO₂ y el material particulado, además de que este está presente en mayor medida en el proceso tradicional que es manufacturero. Por otra parte, en el endurecimiento de la mezcla en este moldeo se consume CO₂ y se utiliza más arena sílice que es un recurso natural que también impacta en la categoría de escasez de recursos fósiles. En cuanto a la nueva tecnología los vapores emitidos en el proceso de vertido del acero en los moldes están contabilizados en este estudio como orgánicos dentro de los gases y por ende, no tienen una incidencia significativa en la categoría de toxicidad humana, en estudios posteriores es necesario tener la composición química de la resina y cuánto hay de alcohol furfúrico en ella para una evaluación más certera.

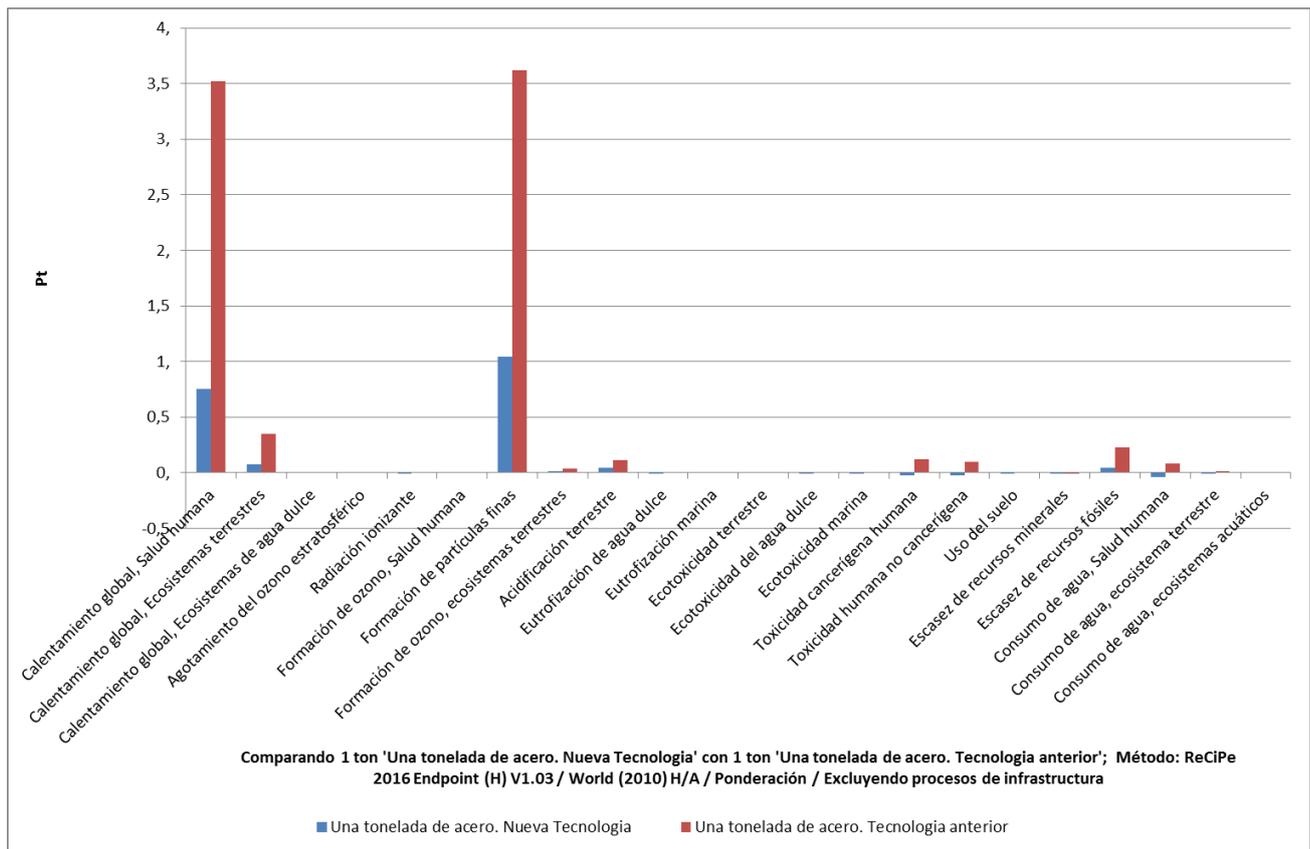


Figura 3.4 Contribución a las dos tecnologías a las categorías de impacto.

En la figura 3.5 se expresan las categorías de daño asociadas a la salud humana , recursos y ecosistemas . Como se observa, los daños con la nueva tecnología son minimizados y la mayor disminución está asociada a la salud humana .

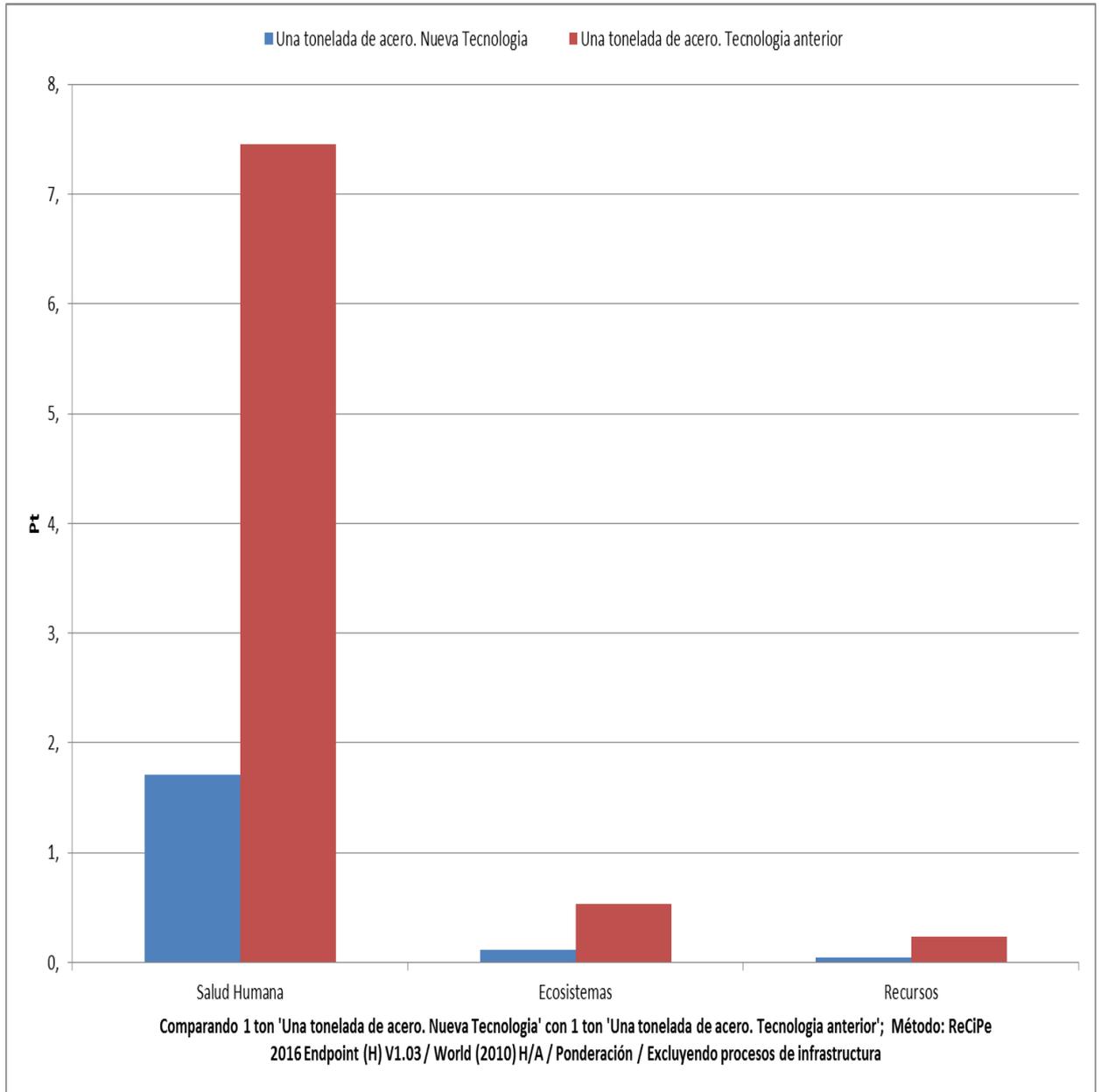


Figura 3.5 Categorías de daño.

En la figura 3.6 se representa en puntuación única la afectación en punto de los recursos ecosistemas y salud humana en ambas tecnologías de moldeo. En todos los casos la afectación es menor en la nueva tecnología y es la salud humana la más afectada.

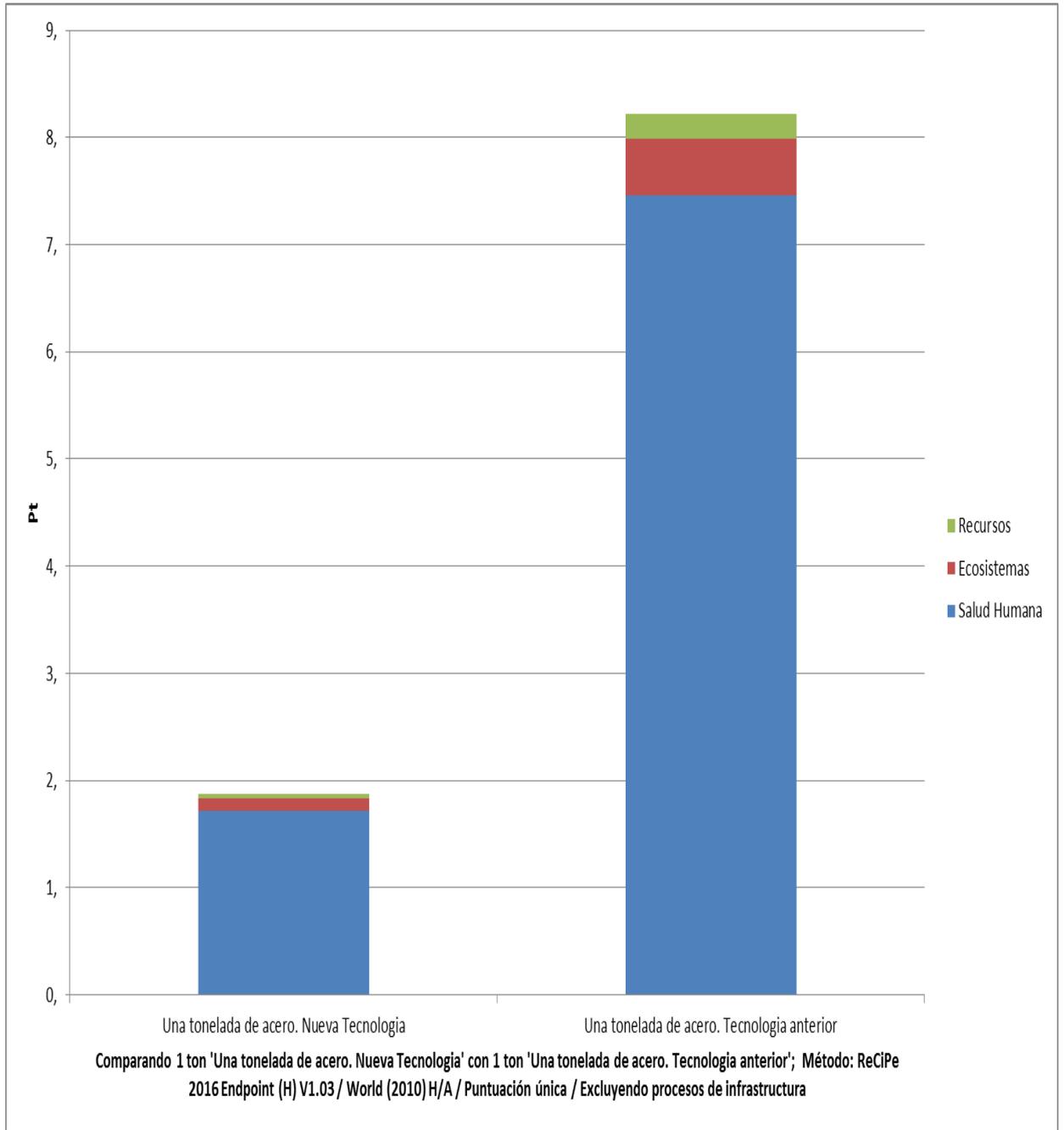


Figura 3.6 Afectaciones en punto final.

Conclusiones

- Se comprobó al aplicar el Análisis de Ciclo de Vida con metodología ReCiPe, que la mezcla de retorno, es la materia prima de mayor contribución a las categorías de impacto y favorece como producto evitado que se recicla en la nueva tecnología para que este proceso sea más ambientalmente sostenible con respecto al moldeo tradicional.
- Mediante el ACV se constató que las categorías ambientales y de daño más afectadas son el cambio climático a la salud humana y la formación de material particulado que inciden en la salud, los ecosistemas y los recursos.
- Con nueva tecnología de moldeo (moldeo químico) se logra un ahorro por consumo de materias primas de 9765,22 CUP.

Recomendaciones

- Realizar estudios posteriores de caracterización de las resinas utilizadas en el proceso de moldeo químico para constatar las emisiones de vapores en el mismo.
- Realizar el Análisis de Ciclo de Vida a la producción de hierro en esta fábrica.

Bibliografía

- ALZATE SUAREZ, A. & REYES CUBIDES, H. A. 2014. *Definición de los requisitos aplicables a la operación de moldeo con resinas autofraguantes en FASAB*. Pregrado, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.
- BARONA LÓPEZ, G., GUILCAMAIGUA PADILLA, J., ALBARRACÍN ÁLVAREZ, M. & VELASTEGUÍ, E. 2017. Arenas de moldeo aglomeradas con resinas: orgánicas sintéticas, inorgánicas y orgánicas naturales biopolímeros, aplicadas en la industria automotriz. *Ciencia Digital*.
- BRUNO, A. & FIGARI, K. 2017. Evaluación del contenido de cromita en la arena sílice de moldeo y su efecto sobre la interface metal-molde en la fundición de aceros al manganes.
- CABRERA RUDAS, A. A. & LINDO ROJAS, D. J. 2020. *Análisis de los componentes de arena de moldeo empleados para un buen resultado de piezas fundidas de aluminio realizados en la empresa "Fundición El Carmen" SAC Lima-Perú*. Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- CASAS MARTÍNEZ, L. D. 2013. *Propuesta de mejora tecnológica para mitigar los impactos ambientales en la UEB Fábrica "9 de Abril"*. Pregrado, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- CASTRO, L., DEL REAL, J. C. & RODRÍGUEZ, J. 2006. *Procesos Industriales para materiales metálicos*. Madrid, España: Vision Net. .
- CESAMVC, C. D. E. Y. S. A. D. V. C. 2019. Expediente de Estudio de Impacto Ambiental de la obra Remodelación y modernización del taller de fundición y tratamiento térmico en la
Empresa Planta Mecánica. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- CHAVÉZ, P. 2016. *Fundición de metales en moldes de arena*.
- DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ, F. 2007. *Lecturas de ingeniería 3: Hierros Fundidos.*, Cuautitlán Izcalli, México, Facultad de estudios Superiores.
- DOBOSZ, S. M., JELINEK, P. & MAJOR-GABRYS, K. 2011. Development tendencies of moulding and core sands. . *China Foundry*, 8, 438-446.
- ELÍO DE BENGY, S. D., TREMP GUERRA, E., FERNÁNDEZ SEGOVIA, D. & ENRÍQUEZ BERCIANO, J. L. 2012. *Fabricación de camisas para motores diesel*.
- ESQUIVEL HERRERA, A. 2010. *Desarrollo de un aglutinante orgánico para la fabricación de moldes y corazones de arena*. Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

- ESTEBAN MIGUEL, R. 2014. *Estrategias de gestión para arenas descartadas de fundición en función de sus características químicas y ambientales*. Doctorado, Universidad de La Plata.
- GARCÍA FUENTES, C. 2016. *“Metodología para la evaluación del impacto en la calidad del aire al proceso de fundición de hierro gris en la UEB Fundición 9 de Abril de Sagua la Grande”*. Pregrado., Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- GROOVER, M. 2007. *Fundamentos de manufactura moderna*. . Ciudad de México: McGraw Hill.
- HOLSTEIJN 2005. Informe de resultados del ACV del proceso. *Improved Economic and Environmental Performance*.
- IHOBE, S. P. D. G. A. 2005. *Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire.: Sector Fundición Férrea*.
- MANUFACTURA, L. D. P. D. 2016. *Arena para moldeo*. Instituto Tecnológico de Sonora.
- MECÁNICA, E. P. 2021a. *Especificaciones técnicas de la Arena Silíce*.
- MECÁNICA, E. P. 2021b. *Especificaciones técnicas: Alcohol*.
- MECÁNICA, E. P. 2021c. *Especificaciones técnicas: Catalizador*.
- MECÁNICA, E. P. 2021d. *Especificaciones técnicas: Resina Furánica*.
- METALURGIA 2008. *Curso de Tecnología de la Fundición. Material de curso*. Tandil, Buenos Aires, Argentina: Cámara Empresaria.
- MORALES PÉREZ, M., CRUZ BERMÚDEZ, Y., ALEJO SANCHÉZ, D., TEJEDA LEMA, L., GONZÁLEZ PÉREZ, L. L., HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, E. & ARTILES, F. 2018. *Evaluación de la calidad del aire en el proceso de fundición de la Empresa de Producciones Mecánicas “Fabric Aguilar Noriega”. “Caracterización y Análisis de compuestos particulados en ambientes de trabajo”*.
- NUÑEZ, V. 2013. *Metodología de prevención de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica originados por fuentes fijas en dependencia del comportamiento de las variables meteorológicas.*, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- PERÉZ DEL CAMINO, A. 2008. *Componentes de las arenas de moldeo*. *Fundi*, 4.
- PEREZ GONZALEZ, L. L. 2018. *Caracterización química y mineralógica de las escorias generadas en las fundiciones “9 de abril”, “ Enrique Villegas Martínez” y “Planta Mecánica”, localizadas en la provincia de Villa Clara*. Maestría, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- R.E., M. 2004. *Arenas de fundición en clave ambiental*. pregado, Universidad Tecnológica Nacional La Plata.
- ROUX, R. 2014. *Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental*. .

- RUIZ ROSA, Y. 2015. *Análisis de Ciclo de Vida y Ecoeficiencia de la producción de cemento en la fábrica de Siguaney*. Maestría, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- SÁENZ VALDEZ, A. A. 2010. *Desarrollo de un aglutinante inorgánico para la producción de corazones en la industria automotriz*. Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- SUPPEN, N. & BART, H. 2005. Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable.
- TEJEDA LEMA, L. A. 2017. "Evaluación de la calidad del aire en el proceso de fundición de hierro Fe20 y acero C45". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- TORRES ANGARITA, A. K. 2018. *Identificación de las causas que ocasionan el problema de porosidad en el proceso de fundición de hierro gris y propuestas de mejora para la reducción del indicador de esta causa de PNC en industrias LAVCO LTDA*. Pregrado., Universidad Pontificia Bolivariana.
- VILLAMIZAR RAMÍREZ, J. E. 2017. *Análisis de ciclo de vida de la puerta a la puerta a la puerta aplicado al proceso de fundición en la empresa metal Green S.A.S*. Pregrado, Universidad Santo Tomás.
- WHO 2006. Air Quality Guidelines.Global Update. 34.