

## **CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN UNA ESTACIÓN CENTRAL**

### **CONSIDERATIONS FOR ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF ELECTRICITY GENERATION AT A CENTRAL STATION**

*Juan P. Hernández Touset<sup>1\*</sup>, Jandécly Cabral Leite<sup>2</sup>, Iván L. Rodríguez Rico<sup>1</sup>,  
Alcimar de Jesus França<sup>3</sup>, Oiama de Assis Guedes<sup>3</sup>, e Italo - Jorge Tavares Jimenez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuani Km 5,5. Santa Clara, Cuba

<sup>2</sup> ITEGAM - Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia. Manaus. Rua Ipixuna 510/Sub – esquina com Rua Visconde de Porto Alegre, Manaus, AM, Brasil.

<sup>3</sup> Companhia Energética Manauara S.A., AM010, Km20, s/rp, Zona Rural, Manaus, AM, Brasil

Recibido: Marzo 3, 2014; Revisado: Junio 17, 2014; Aceptado: Julio 1º, 2014

### **RESUMEN**

En este trabajo se aplica el ACV como una herramienta de evaluación de impactos ambientales en la Planta Termoeléctrica Manauara de Manaus, Brasil. Permite identificar las etapas, recursos e insumos que mayor incidencia tienen durante el ciclo de vida de la generación de electricidad, contribuyendo con esto a adoptar medidas de producciones más limpias en las empresas de energía con similares características de generación.

El objetivo es la identificación y cuantificación de los datos primarios para la evaluación de los impactos ambientales asociados a la generación de energía eléctrica usando motores de combustión interna; considerando un escenario que responde al uso del aceite lubricante, tratamiento de las aguas aceitosas, colecta y transporte de los residuos aceitosos. Se incluye el estudio de los aditivos y contaminantes del aceite lubricante, aspecto que constituye una tarea compleja, teniendo en cuenta las limitaciones en la adquisición de datos. Con la aplicación del programa SimaPro se obtiene que el mayor impacto está en el uso del aceite lubricante y en el transporte sobre la respiración de productos inorgánicos y el uso de combustibles fósiles.

Copyright © 2014. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Juan P. Hernández, Email: [juanpedro@uclv.edu.cu](mailto:juanpedro@uclv.edu.cu)

La mayoría de los impactos ambientales se concentran en el uso del aceite lubricante y en el transporte.

**Palabras clave:** aceite lubricante, aditivos, análisis del ciclo de vida, generación de electricidad, motores de combustión interna

## **ABSTRACT**

This paper applies the ACV as an assessment tool to quantify the environmental impacts at Manauara Thermoelectric Power Plant in Manaus, Brasil. Through this paper, we can identify the steps, resources and supplies that have the greatest impact during the life cycle of electricity generation, contributing with measures of cleaner production in companies with similar power generation.

The goal of this study is the identification and quantification of primary data for environmental impacts assessment associated with electricity generation by internal combustion engines, considering a scenario that responds to use of lubricating oil, oily water treatment, and collection and transportation of sludge.

The study of additives and contaminants from lubricating oil is included; having into account that it is a complex task for life cycle inventory considering limitations to get data. With the implementation of the program SimaPro, we obtained that the greatest impact is in the lubricating oil use in transport and on respiration of inorganic products and the use of fossil fuels. Most environmental impacts are concentrated in the use of lubricating oil and transportation.

**Key words:** additives, electricity generation, internal combustion engine, life cycle assessment, lubricating oil

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las plantas eléctricas a gas se diseñan para una operación óptima en una extensa variedad de producción descentralizada de energía, entre estas, las plantas estacionarias. Los motores se diseñan para una operación continua en modo de gas natural o de doble combustible con gas y HFO (Skrotsky, 1960).

La empresa establece su propia política ambiental y opera en correspondencia con los principios de un desarrollo sustentable, sin embargo las emisiones y los residuos industriales y de mantenimiento procedentes de los motores no expresan la verdad absoluta de los impactos ambientales.

El ACV aplicado a una planta eléctrica puede tener varios beneficios; su uso para evaluar el impacto ambiental de la generación de electricidad puede ayudar a comparar tipos de lubricantes y combustibles en los motores y el impacto de los lubricantes y residuos en correspondencia con el análisis químico y físico. El inventario primario del ciclo de vida, considerando los tipos de aditivos, tomando en consideración los resultados de los análisis de laboratorios es una buena herramienta para evaluar el impacto ambiental de los lubricantes y residuos al final de sus ciclos de vida. El aspecto que hace novedoso el trabajo es la información suministrada sobre la composición del

aceite lubricante, lodo y agua residual para futura aplicación del método de ACV con límites extendidos.

Los procesos multifuncionales son un problema para un ACV porque usualmente no todos los flujos funcionales son parte del mismo sistema de producto. Así, un proceso multifuncional es parte del sistema de producción estudiado y también de otros sistemas. La dificultad radica en asignar los impactos ambientales de este proceso multifuncional a los diferentes sistemas de productos, es decir, a los diferentes flujos funcionales (Wardenaar, 2012). Los métodos más frecuentemente utilizados para resolver este problema son la subdivisión; la expansión del sistema; la partición física; la partición económica y la sustitución. Varios autores han argumentado que la sustitución es conceptualmente equivalente a la expansión del sistema (Ekvall y Tillman, 1997; Finnveden y Lindfors, 1998).

Es necesaria información de la energía utilizada y de las emisiones generadas por los diferentes agentes interventores en la fabricación del producto estudiado, esto implica trabajar en la mayoría de casos con datos procedentes de diferentes fuentes y no homogeneizados (UPC, 2012). Desde el punto de vista ambiental EPEM (2012), la colecta y almacenamiento de aceite lubricante usado (con la subsecuente regeneración del aceite lubricante por hidrogenación catalítica) reduce el deterioro ambiental, ya que esto reduce los efectos de la incineración (emisiones al aire) del aceite lubricante usado y el vertido incontrolado (agua, contaminación del suelo y del agua subterránea).

En el estudio se ha tomado como referencia resultados de la aplicación del ACV en industrias, en las cuales la generación de electricidad a partir de combustibles como el bagazo es el producto y unidad de referencia (Goedkoop, M.; Spriensma, R., 2001; PRé Consultants, 2004; Contreras, et al., 2009; Pérez, 2009)

Los aditivos son sustancias formuladas para mejorar las propiedades antifricción, químicas y físicas de los aceites básicos (mineral, sintético, vegetal o animal) lo que resulta en la mejora del rendimiento de lubricante y se extiende la vida útil del equipo. La cantidad de aditivos puede alcanzar hasta el 30 % (Kopeliovich, 2012).

Los aditivos tienen diferentes funciones y normalmente pertenecen a las categorías de modificadores de fricción (Grafito, Disulfuro de molibdeno, Nitruro de Boro, Disulfuro de Tungsteno, Politetrafluoroetileno); aditivos antidesgaste (Ditiofosfato de Zinc (ZDP), Dialquilditiofosfato de Zinc, Fosfato de Tricresilo); aditivos de extrema presión (Parafinas Cloradas, Grasas Sulfuradas, Esteres, Dialquilditiofosfato de Zinc, Disulfuro de molibdeno); anticorrosivos (Compuestos Alcalinos, Ácidos orgánicos, Esteres, Derivados de los aminoácidos); antioxidantes (Ditiofosfato de Zinc, Sulfuros de Alquilo, Sulfuros Aromáticos, Aminas aromáticas, Fenoles impedidos); detergentes (Fenolatos, Sulfonatos y Fosfonatos de elementos alcalinos y alcalinotérreos, tales como Calcio, Magnesio, Sodio y Bario); dispersantes (succinimidas de poliisobutilénicos); depresores del punto de escurrimiento (Copolímeros de polialquil metacrilatos); mejoradores del índice de viscosidad (polímeros de acrilato); agentes antiespumantes (Dimetilsiloxanos).

Raimondi (2012) integra y expande los anteriores ACVs de aceites básicos e investiga sobre la contribución a los impactos ambientales de los aditivos de un lubricante totalmente formulado. La contribución de los aditivos a los impactos del ciclo

de vida del aceite lubricante comercial resultó ser casi el 35% para calentamiento global.

Las principales fuentes de datos para el ACV fueron el Modelo Boustead (2005), Ecoinvent (2007), European Reference Life Cycle Database - ELCD (2010), el reporte IFEU/GEIR (Fehrenbach 2005). Reporta que una composición típica de un aceite lubricante puede ser 80% de aceite base (mineral/sintético), 2 % de detergentes, 6 % de dispersantes, 9 % de modificadores de viscosidad (copolímeros de olefina); 1 % de antioxidante (dialquilditiofosfatos / fenoles de zinc) y 2 % de antidesgaste (dialquilditiofosfatos de zinc). Los modelos del ACV que proponen comprenden las fases de extracción, transportación y producción hasta la salida de la refinería/fábrica. El criterio de asignación para las salidas es la masa. La principal conclusión que en los lubricantes modernos, la contribución de los aditivos en términos de impacto ambiental puede ser notablemente alta y, por tanto, no deben ser excluidos. Ekman y Börjesson (2011) admiten que en aplicaciones donde la cantidad de aditivos puede ser hasta 30 %, las consecuencias ambientales pueden ser significativas y finalmente recomiendan incluir a los aditivos en futuros ACVs.

Dado que emergen nuevos componentes de los aceites lubricantes mezclados con los aditivos convencionales, los datos nunca son suficientes para la aplicación de un ACV; por otro lado, los fabricantes de aditivos y lubricantes son extremadamente conservadores y rara vez disponibles para el suministro de datos e información que se consideran estrictamente confidenciales. El contenido de este trabajo se puede resumir brevemente como sigue. Como un primer paso, un análisis crítico de la literatura sobre los diversos aspectos que están relacionados con la aplicación del ACV a la generación de electricidad con motores de combustión interna y el efecto de los aceites lubricantes. Como un segundo paso se sugieren los elementos que se deben tomar en consideración en las fases de definición del objetivo y alcance del estudio y en la fase de inventario del ciclo de vida, para la aplicación del ACV, realizando una discusión sobre la disponibilidad y comprensión de los datos y la influencia de los aditivos en ACV para una futura investigación de escenarios alternativos en el ciclo de vida de aceites lubricantes usados y residuos aceitosos.

El objetivo del estudio ha sido identificar y cuantificar los datos primarios para el inventario del ciclo de vida requeridos en una evaluación de los impactos ambientales asociados a la generación de electricidad mediante motores de combustión interna (MCI) en la Planta Termoeléctrica Manauara de Manaus, Brasil, considerando un escenario que responda al uso del aceite lubricante, el tratamiento del agua aceitosa, la colecta y el transporte de los lodos. Se examina el perfil ambiental del sistema de lubricación mediante la metodología del Eco – indicador 99 para obtener la contribución total por cada categoría de impacto en correspondencia con las condiciones del estudio.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***2.1 Definición del objetivo y alcance del estudio***

El objetivo del estudio es identificar y cuantificar los datos primarios para la evaluación de los impactos ambientales asociados a la generación de energía eléctrica usando motores de combustión interna; considerando un escenario que responde al uso del

aceite lubricante, tratamiento de las aguas aceitosas, colecta y transporte de los residuos aceitosos.

Como herramienta analítica, el ACV facilita la adquisición de información para la toma de decisión y la identificación de oportunidades de mejora. Todos los análisis, valoraciones y sugerencias para la aplicación del ACV en MCI están en correspondencia con las normas: NC ISO 14040, 2005; NC ISO 14041, 2000; NC ISO 14042, 2001; NC ISO 14043, 2001.

### 2.1.1 Descripción del sistema en estudio

La planta termoeléctrica tiene una capacidad instalada (potencia total de los generadores) de 85380 kW, compuesta de 5 grupos generadores con motores ciclo gas/diesel de media rotación, de 17 076 kW cada uno de potencia continua en condiciones ISO, a 514 rpm. El gas se transporta directamente por tuberías a la sala de motores desde el suministrador. La planta opera con una demanda de potencia de 63 MW, entregando 525 600MWh/a de energía eléctrica, y consume 11 310MWh/a, durante 8700 h/a y un consumo específico de combustible de 209 g/kWh. Para la lubricación de los motores utiliza el aceite mineral Marbrax CCD 430. La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del sistema de lubricación.

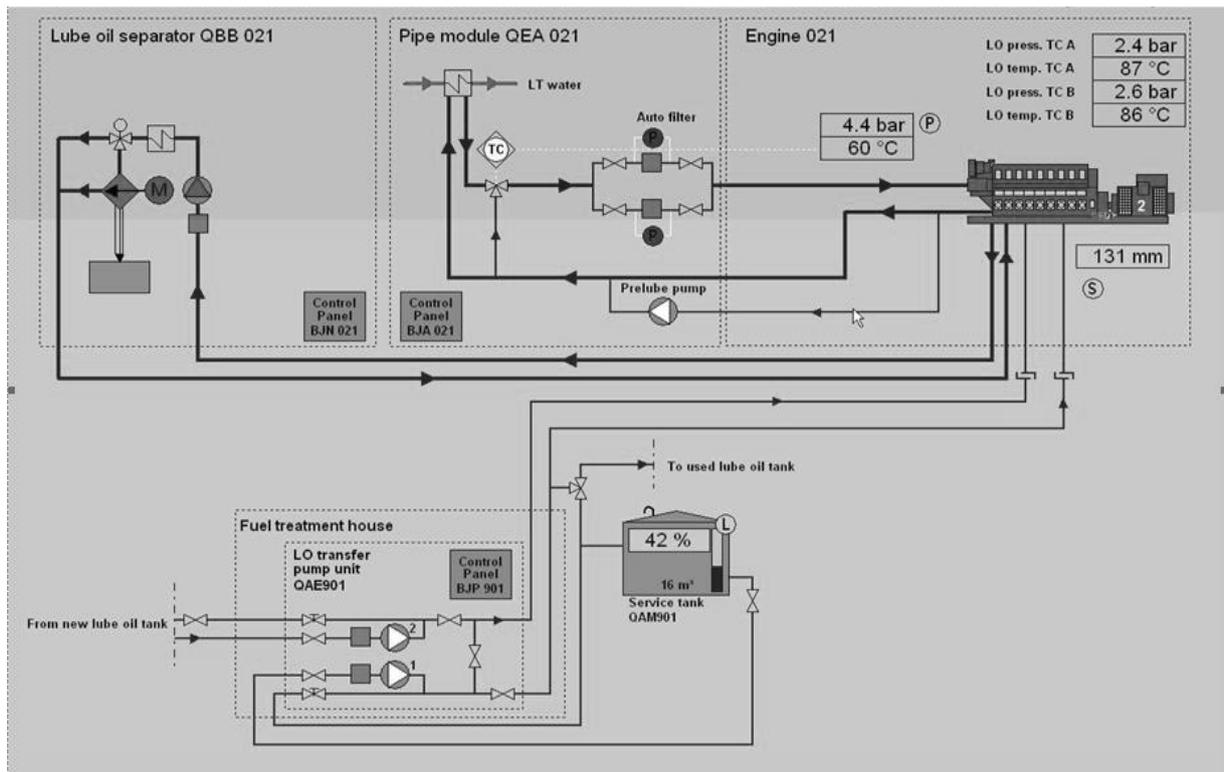


Figura 1. Sistema de aceite lubricante

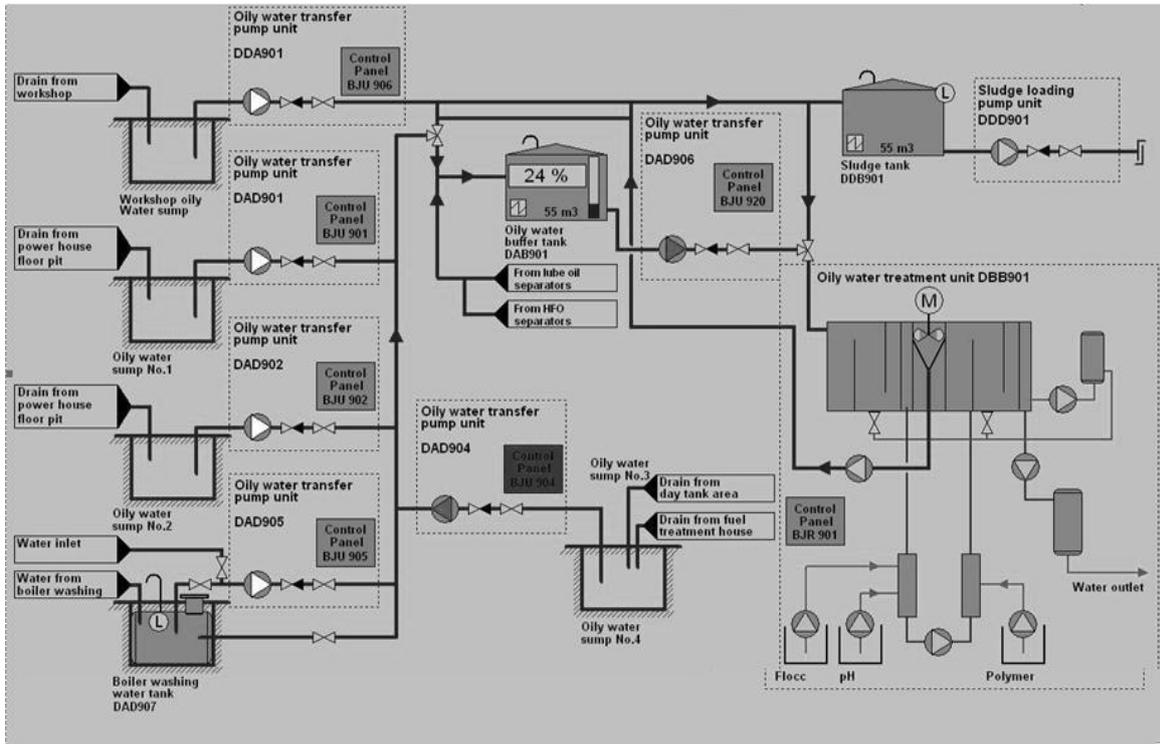


Figura 2. Sistema tratamiento del agua aceitosa

El aceite se bombea y retorna al cárter pasando por un enfriador a placas y un separador centrífugo que elimina los lodos. Se reponen 200 L diarios de aceite lubricante en el cárter por concepto de separación de lodos, quema en las camisas del motor, saturación de los elementos filtrantes y otras pequeñas pérdidas. El agua para el proceso proviene de un pozo. El aceite lubricante se suministra desde un tanque de almacenamiento de 60 m<sup>3</sup>. En caso de mantenimiento este aceite pasa a ser usado nuevamente, el cual se bombea para un tanque de servicio de 16 m<sup>3</sup>. Un tanque de de 30 m<sup>3</sup>, recibe el aceite usado de los motores. Cuando el tanque está lleno se descarga hacia camiones tanques, pertenecientes a empresas en los órganos medio ambientales, que regeneran este aceite. La figura 2 muestra el sistema de tratamiento del agua aceitosa.

El agua aceitosa y el lodo generados en la planta, almacenados en una caja colectora, son separados en agua aceitosa y lodo, el agua se envía a una unidad de tratamiento, mediante flotación con aire disuelto. El agua tratada adecuadamente y mezclada con otros flujos de efluentes se vierte al medio ambiente. El lodo y el HFO (combustible) en promedio de 1 000 kg /d se envían a un tanque de 55 m<sup>3</sup>, los cuales se recogen por camiones tanques que reaprovechan el producto.

Como unidad funcional se define 1512,00 MWh/d de electricidad generada.

### 2.1.2 Establecimiento de los límites del sistema

Los límites del sistema, para el caso en estudio, están en correspondencia con los mostrados en la Figura 3 por líneas de trazos discontinuos. Se pueden definir varios escenarios para el tratamiento del aceite al final de su vida, y por tanto los límites de aplicación del ACV pueden ser diversos en dependencia de la calidad de los datos disponibles para cada opción.

El sistema considerado, de forma general, parte del uso del aceite lubricante en los MCI. En esta etapa de establecimiento de los límites se define como sistema principal y como subsistema la limpieza del aceite en la unidad separadora y el tratamiento de las aguas aceitosas. Es necesario conocer las operaciones que conforman el sistema de lubricación y el flujo de materiales y energía existentes entre las operaciones para lo cual se construye el árbol de procesos que se representa en la Figura 3, que no es más que el modelo del ciclo de vida para la generación de electricidad en una estación central.

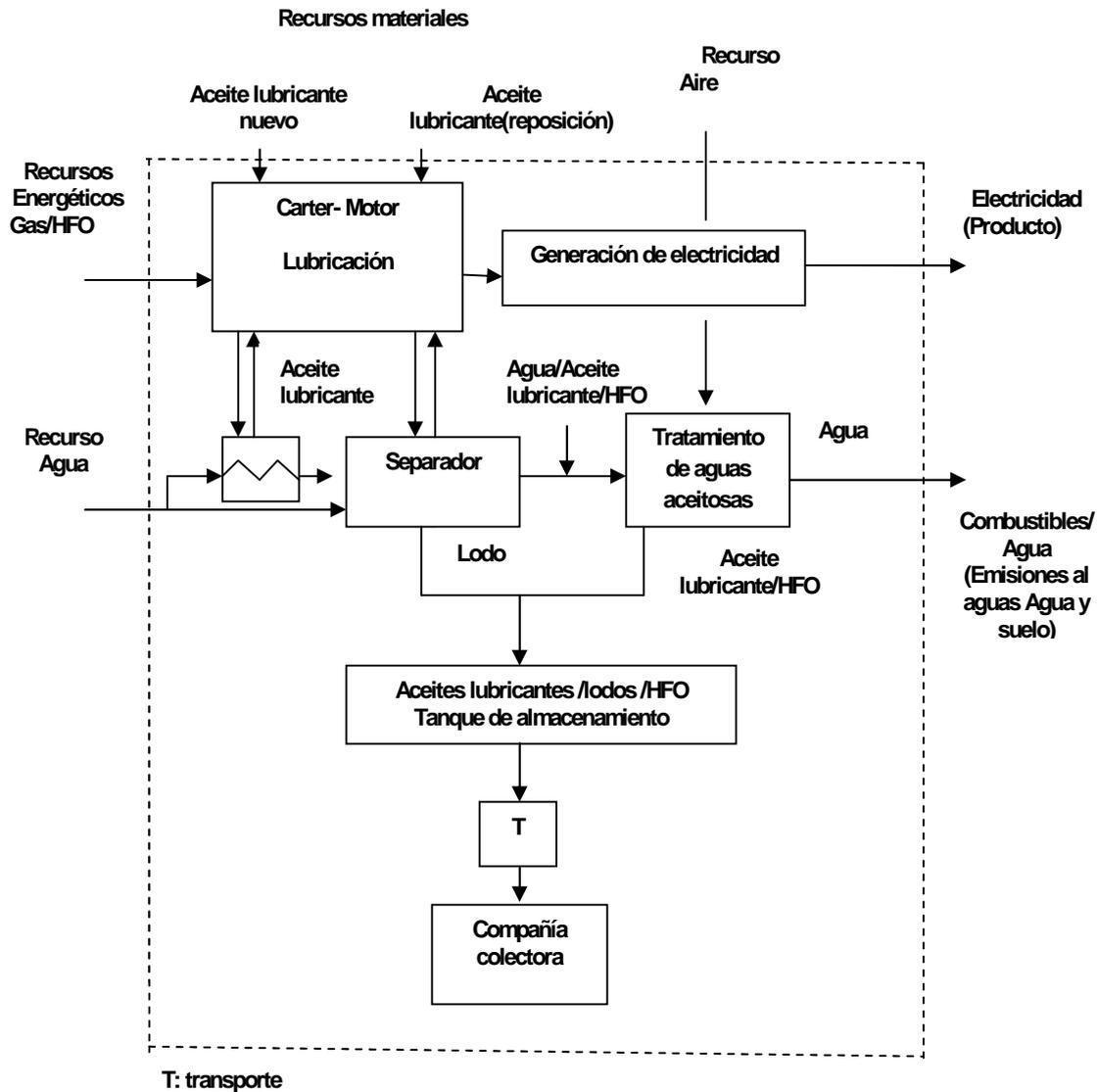


Figura 3. Modelo del ciclo de vida de la generación de electricidad

### 2.1.3 Principios de distribución de cargas y principales suposiciones.

En la etapa en estudio se aplica una distribución de cargas ambientales en función del por ciento másico que representa cada corriente de salida de esta etapa con relación al total. La asignación de cargas ambientales se realiza con el objetivo de evaluar el impacto real de la corriente involucrada en el análisis, en este caso la producción de electricidad.

Las principales suposiciones son:

- Se ha establecido como unidad funcional la cantidad de 1512 MWh para un día de operación.
- La mezcla lodo/HFO se considera el producto evitado, ya que evitan el uso de cantidades equivalentes de Diesel para la combustión en plantas industriales.
- No se considera la fabricación del aceite lubricante, el mantenimiento y los residuales sólidos, pero estos se pueden incluir en otros estudios.
- Se toman en consideración los análisis químicos periódicos para estimar el tipo y la concentración de los aditivos en las bases de datos.
- El análisis que se realiza a continuación se lleva cabo sin considerar el efecto de la electricidad consumida en los separadores de aceite lubricante.
- No se consideran las emisiones de gases de combustión.
- No se considera el aceite usado en los motores ya que se repone cada seis años.
- Los balances de materiales se desarrollan en el sistema de lubricación y de tratamiento de aguas aceitosas.
- La evaluación del impacto ambiental se lleva a cabo mediante la no inclusión de la electricidad consumida en los separadores de aceite, ya que esta proviene de la propia planta.
- Se considera el transporte de 20 toneladas de lodo/HFO cada 20 días, en camiones tanques, en una trayectoria de 40 Km.

## ***2.2 Inventario del Ciclo de Vida***

En el inventario del ciclo de vida todas las entradas y salidas del proceso se cuantificaron en correspondencia con las referencias del epígrafe 1.

En las etapas de los motores de combustión interna y sistema de tratamiento de aguas aceitosas, los datos primarios se tomaron de los reportes de operación de la Compañía, información de la literatura, resultados de los análisis químico – físicos, especialistas de la planta y otras fuentes.

Se ha tenido en cuenta que los datos cumplan con los indicadores de calidad para una interpretación adecuada de los resultados del ACV, para ello se ha tenido en cuenta: (1) la vigencia de los datos (temporalidad), los cuales corresponden al mismo año en que se aplica el ACV; (2) la cobertura geográfica, donde los datos corresponden a una planta en operación; (3) la precisión, ya que se ha trabajado con el valor extremo cuando los datos responden a un rango de valores y (4) la representatividad, ya que se usan datos específicos del proceso base, de bases de datos y de la literatura referenciada, siendo una tecnología madura y moderna.

## ***2.3 Evaluación de los impactos del ciclo de vida.***

En cuanto a los tipos de impactos a evaluar, metodología e interpretación se emplea la metodología del Eco-indicador 99 para la evaluación de los impactos ambientales mediante el uso del software SimaPro 6.0. Evaluándose las 11 categorías de impacto consideradas en el Eco-indicador 99 con ponderación basada en la perspectiva cultural jerárquica (Eco-indicador 99 (H) V2.1 / Europa EI 99 H/H).

Estas categorías de impacto se relacionan con tres categorías de impacto (salud humana, calidad del ecosistema y recursos) (Goedkoop & Spriensma, 2001; PRé Consultants, 2004; Contreras et al., 2009; Pérez, 2009). Los materiales, recursos y productos utilizados en la evaluación se tomaron de Ecoinvent database, desarrollada por Ecoinvent Center, Swizerland.

## 2.4 Interpretación del estudio

Todo el análisis del sistema, puntos débiles y mejores alternativas se determinaron desde el punto de vista ambiental. Como resultados de la evaluación se obtuvieron, la contribución final de los datos del inventario, la red del proceso, los perfiles ambientales por categorías de impacto y de daño en forma tabulada y gráfica, lo que permitió determinar las etapas y sistemas más impactantes.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis de inventario del ciclo de vida

Las entradas y salidas de cada una de las etapas se inventariaron en correspondencia con los balances de materiales y energía, los índices reportados en la literatura y datos de primer plano.

En correspondencia con el programa computacional SimaPro, se agrupan las corrientes de entrada y salida en función de las categorías para los datos del inventario:

- Entradas desde la Ecosfera (recursos naturales).
- Entradas desde la Tecnosfera (productos, recursos, actividad humana).
- Salidas a la Tecnosfera (productos, coproductos).
- Salidas a la Tecnosfera. Productos evitados
- Emisiones a la Ecosfera (aire, agua, suelo).

La Tabla 1 muestra los resultados de los análisis físico – químicos al agua tratada vertida al agua/suelo (MICRO-LAB, 2012).

**Tabla 1.** Resultados de los análisis físico – químicos al agua tratada vertida al agua/suelo (MICRO-LAB, 2012)

<i>Parámetros</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra</i>	<i>V.M.P.</i>
DQO	Mg O <sub>2</sub> /L	139.0	N.A.
Fenoles totales	mgC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH/L	0.00	hasta 0,5
Fósforo	mgP/L	2.8	N.A.
Nitrato	mgN/L	1.4	N.A.
Nitrito	mgN/L	0.00	N.A.
Aceites y grasas	mg/L	17.00	hasta 20,0
Oxígeno disuelto	mgO <sub>2</sub> /L	3.1	N.A.
Sólidos sedimentables	mg/L	<1.00	hasta 1,0
Sólidos disueltos	mg/L	350.00	N.A.
Sólidos suspendidos	mg/L	26,00	N.A.
Sulfitos	mgS/L	0,47	hasta 1,0
Sulfatos	mgSO <sub>4</sub> /L	15,00	N.A.
Turbidez	NTU	32,00	hasta 100,0
Temperatura	°C	31,00	N.A.

V.M.P: Valores Máximos Permisibles por Artículo 16 de la Resolución CONAMA 430 de Mayo 13, 2011, N.A.: No aplicable

### 3.1.1 Aditivos de los aceites lubricantes

Debido a la ausencia de literatura específica y la baja disponibilidad de datos primarios, se puede adoptar una metodología simplificada (Raimondi, 2012) para llevar a cabo el ACV considerando el impacto de los aditivos en el lubricante y residuos. Esta consiste en:

- 1) la identificación de la categoría de aditivo usada en el aceite lubricante: el aceite lubricante Marbrax CCD 430 contiene antioxidante, anticorrosivo, antidesgaste, antiespumante, detergente, dispersante, agente de reserva alcalina y depresor del punto de escurrimiento (LUBRAX, 2011) y aditivos hasta 14 % (FDSPQ, 2011);
- 2) la selección de un aditivo representativo para cada categoría: se pueden tomar para ello, los resultados de análisis físico – químicos;
- 3) la identificación de la correspondencia entre el aditivo seleccionado y el producto industrial disponible en la base de datos Ecoinvent Data V1.01 (2006).

En la figura 4 se muestra un resultado del análisis con espectrometría infrarroja FFT con ASTM E 2412 versión JOAP/Tribolab (Tribolab, 2012) y en la figura 5 se muestran los resultados de un análisis químico-físico al aceite, mediante espectrometría de emisión atómica ASTM D6525 mejorada por Tribolab, donde se determina el contenido de partículas de desgaste (Fe, Cr, Sn, Al, Ni, Cu, Pb, Mo), el contenido de aditivos (Ca, Mg, B, Zn, P, Ba) y contaminantes (Si, Na, Va), los últimos con poca variación pero de gran importancia en un diagnóstico y pueden aportar información en cuanto a la composición del aceite usado y lodos. La tabla 2 muestra los resultados de los análisis al agua tratada vertida al suelo, donde el valor más significativo es la concentración de aceites y combustibles.

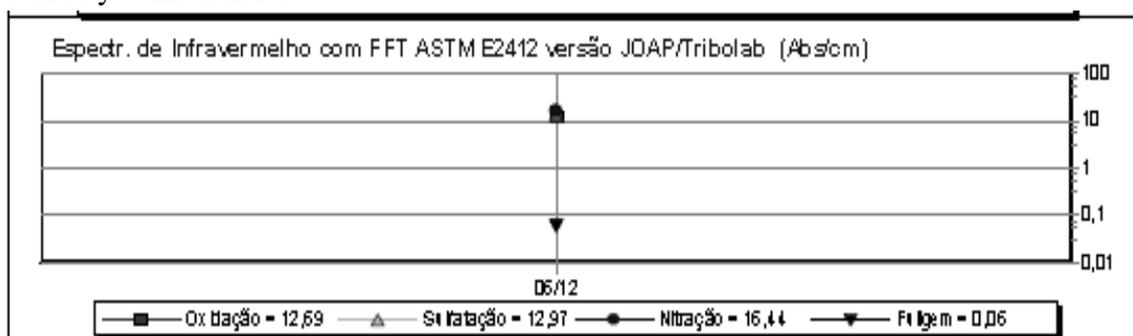
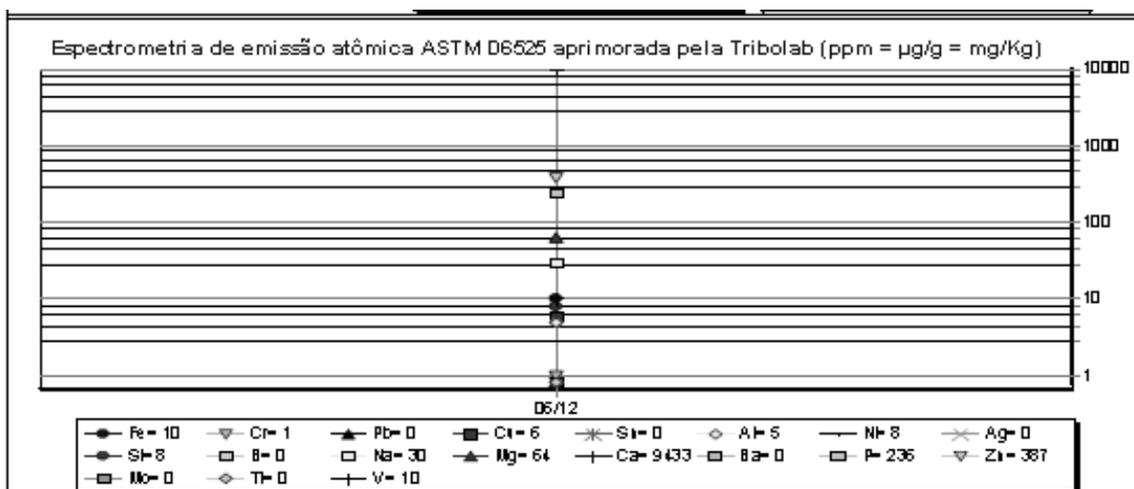


Figura 4. Espectrometría infrarroja al aceite lubricante Marbrax CCD 430



**Figura 5.** Espectrometría de emisión atómica al aceite lubricante Marbrax CCD 430

En correspondencia con las Figuras 4 y 5, la Tabla 1, la información aportada por FDSPQ (2011) y un reporte del análisis del lodo (HFO) de acuerdo con Intertek (2011), la Tabla 2 resume los principales datos y suposiciones para el ACV de la generación de electricidad, donde se muestran las concentraciones y cantidades de aditivos y contaminantes que mayor presencia tienen, según los análisis de Tribolab (2012); así como la concentración y cantidad de aceites y grasas en el agua residual que se vierte al medio ambiente. Se adopta un aditivo representativo para cada categoría de aditivo, que permite posteriormente identificar el compuesto químico en la base de datos del programa computacional.

**Tabla 2.** Principales suposiciones y datos para el ACV en la Planta Eléctrica

<i>Categoría</i>	<i>Por ciento</i>	<i>Concentración</i>	<i>Cantidad</i>
<i>ADITIVOS</i>	<i>(%)</i>	<i>(mg/kg)</i>	<i>(kg/1000/kWh)</i>
Aceite base	86		
Antioxidante (Dialquilditiofosfato de Zinc)		387	0,0195
Inhibidor de la corrosión (Dialquilditiofosfato de Zinc)			
Antidesgaste			
Agente antiespumante	14		
Detergente (Sulfonato de alquilbenceno de Calcio)		9433	0,475
Dispersante			
Agente de reserva alcalina			
Depresores del punto de escurrimiento			
<b>CONTAMINANTES</b>			
Silicio		8	0,0004
Sodio	-	30	0,015
Vanadio		10	0,005
<b>RESIDUOS</b>			

Aceites y grasas en agua residual	17	0,000028
Lodo:	-	-
Carbono residual Conradson	7,38 % peso	0,017
Asfaltenos	2,49 % peso	0,0060
<b>Metales:</b>	-	-
Vanadio	31,8	0,0000077
Aluminio	485,0	0,000117
Silicio	678,0	0,00016
Calcio	2487,0	0,00060
Aluminio + Silicio	1163,0	0,00028
Sodio	235,0	0,0000568
Níquel	41,70	0,00001
Hierro	28,80	0,0000069

En la Tabla 3 se reportan los resultados de los datos de entrada y salida de todas las etapas en correspondencia con las categorías de inventario.

**Tabla 3.** Inventario del ciclo de vida

<i>Salidas conocidas a la tecnosfera Productos y coproductos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Referencias</i>
Energía eléctrica	1512,00	MWh/d	Manual de la Compañía
<b>Salidas conocidas a la tecnosfera. Productos evitados</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	
Diesel	0,73	t/d	Reportes de operación
<b>Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	
Agua de proceso	1,652	t/d	Reportes de operación
Aire	1,2	m <sup>3</sup> /d	Reportes de operación
<b>Entradas conocidas desde la tecnosfera (materiales/combustibles)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	
Aceite lubricante	0,720	t/d	Reportes de operación
Gas a motores	300,00	t/d	Reportes de operación
HFO a motores	15,8	t/d	Reportes de operación
<b>Emisiones al Subcompartimi ento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	
Hidrocarburos, no especificados	0,000028	t/d	MICRO-LAB, 2012
Agua	1,552	t/d	Balance de materiales

### 3.2 Evaluación de los impactos del ciclo de vida

En esta sección se discuten los resultados de la evaluación para el inventario del ciclo de vida mostrado previamente.

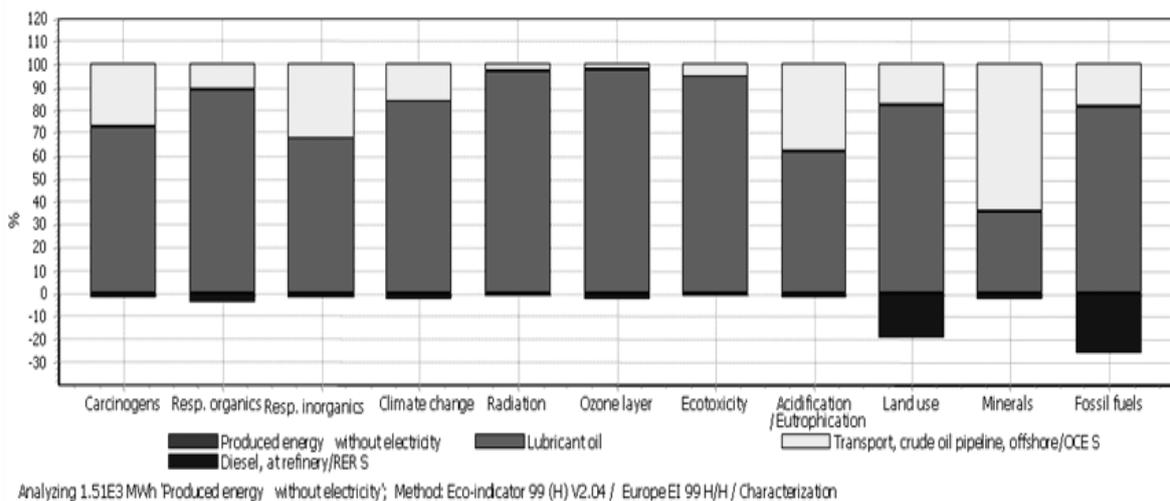
### 3.2.1 Resultados de la caracterización

En la Figura 6 se muestra la caracterización del sistema expresando el por ciento (%) que representa cada material para las categorías de impacto (carcinogénesis, respiración de compuestos orgánicos y de compuestos inorgánicos, cambio climático, radiación, capa de ozono, ecotoxicidad, acidificación / eutroficación, uso de la tierra, minerales y uso de combustibles fósiles), sin considerar la electricidad consumida en los separadores de aceite lubricante.

Esta revela que la mayoría de las categorías de impacto adquieren valores positivos (daños), excepto del Diesel. El uso del Diesel como producto evitado de los residuos aceitosos tiene impacto negativo (beneficioso) en la mayoría de las categorías de impacto.

La contribución del efecto del aceite lubricante es alta, considerándolo como una entrada en los límites del sistema establecidos para el ACV y la contribución del transporte es menor. En las categorías de radiación, capa de ozono, ecotoxicidad y respiración de productos orgánicos, el aceite lubricante contribuye en más del 90 % al impacto ambiental.

Es lógico que las categorías más impactadas son la capa de ozono, la radiación, la ecotoxicidad, la respiración de productos orgánicos y el uso de combustibles fósiles.



**Figura 6.** Impactos ambientales sin considerar el consumo eléctrico en los separadores

### 3.2.2 Resultados de la ponderación por categoría de impacto

En la Figura 7 se considera la ponderación de los materiales que intervienen en el ACV, sin considerar el consumo de electricidad en los separadores de aceite lubricante. Se ha analizado como cada categoría de impacto se afecta para todos los materiales que intervienen en el proceso en la generación de electricidad, visto desde el punto de vista del sistema de lubricación de los motores de combustión interna; se observa nuevamente que el mayor impacto está en el uso del aceite lubricante y en el transporte sobre la respiración de productos inorgánicos y el uso de combustibles fósiles.

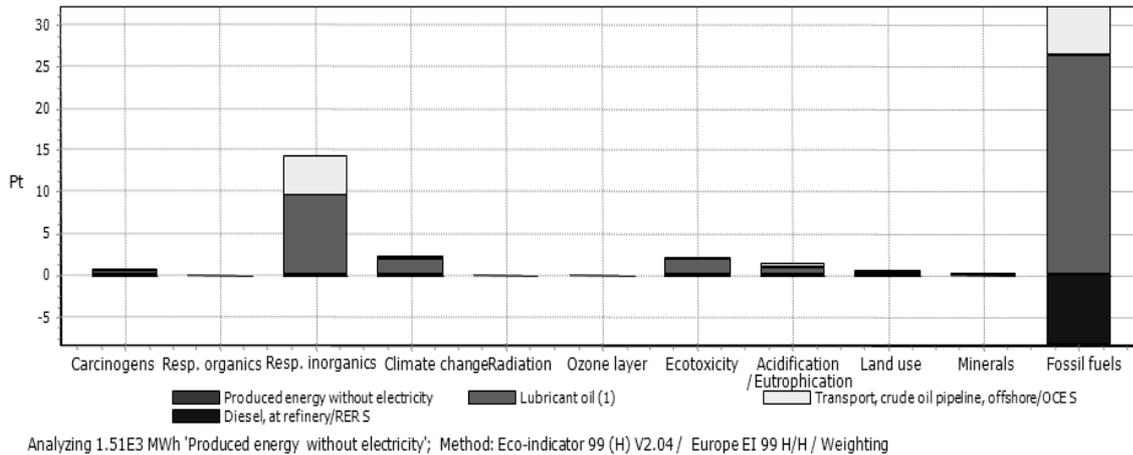


Figura 7. Efecto ponderado de los materiales sobre las categorías de impacto ambiental

### 3.2.3 Resultados de la puntuación única por categorías de impacto

En la Figura 8 se muestra el efecto en Pt (puntos de impacto) que tiene el aceite lubricante de los motores de combustión interna, el transporte y el daño evitado por el reuso de los residuos de HFO y lodos sobre las 11 categorías de impacto ambiental. Una mayor influencia se encuentra en el agotamiento de los combustibles fósiles y en la respiración de productos inorgánicos.

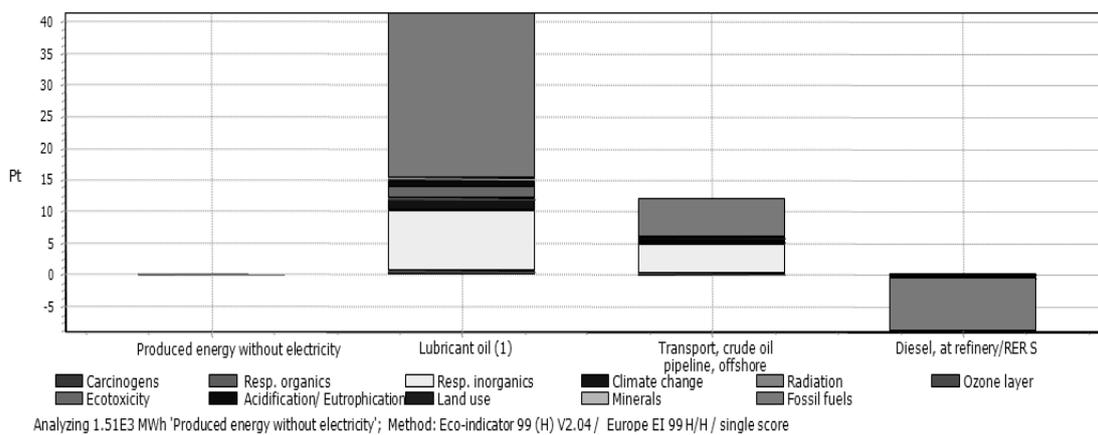


Figura 8. Efecto ponderado de los materiales sobre las categorías de impacto ambiental

## 4. CONCLUSIONES

Este estudio es una contribución en términos de los elementos que deben tenerse en cuenta en las etapas del objetivo y el alcance del estudio y en la etapa de inventario del

ciclo de vida del aceite lubricante, el cual aporta a la empresa las características fundamentales de ACV como una herramienta analítica para la toma de decisiones y para identificar oportunidades de mejora en la evaluación del impacto ambiental.

El proceso de generación de electricidad mediante motores de combustión interna tiene los mayores impactos ambientales en el aceite lubricante y el transporte, por concepto de uso de combustibles fósiles y respiración de productos inorgánicos.

La estación eléctrica no tiene impactos significativos en la calidad y cantidad de las aguas vertidas al suelo, cuyo efluente tratado se dispone dentro de los límites permisibles de las regulaciones en el sistema de drenaje de las aguas residuales.

La inclusión de los aditivos en el ACV es una tarea compleja, teniendo en cuenta las limitaciones en la información y puede contribuir significativamente en la identificación de los productos químicos en el aceite usado y en el lodo, que tienen un marcado efecto sobre el medio ambiente.

El estudio constituye una herramienta metodológica para la aplicación del ACV con múltiples propósitos en estudios posteriores.

Los resultados de la evaluación del impacto ambiental muestran que la planta de energía practica un buen mantenimiento y las prácticas operativas, incluyendo el control de inventario para reducir la cantidad de residuos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Instituto de Tecnología y Educación Galileo de Amazonas (ITEGAM) y Planta Termoeléctrica Manauara (UTE Manauara), por su apoyo en la información y en los recursos financieros para la investigación

## **REFERENCIAS**

- Boustead Model 5.0, 2005. Operating manual. Boustead Consulting Ltd., HORSHAM, West Sussex, UK3.
- Contreras, A. M., Rosa, E., Pérez, M., Van Langenhove, H., Dewulf, J., Comparative Life Cycle Assessment of four alternatives for using by-products of cane sugar production., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 17, 2009, pp. 772-779.
- Ecoinvent, 2007. Life cycle inventories of chemicals—Ecoinvent report no. 8. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zürich and Dübendorf
- Ekman, A., Börjesson, P., Life cycle assessment of mineral oil based and vegetable oil-based hydraulic fluids including comparison of biocatalytic and conventional production methods., *Int J Life Cycle Assess*, Vol. 16, N. 4, 2011, pp. 297–305.
- Ekvall, T., Tillman, A., Open-loop recycling: criteria for allocation procedures., *Int J Life Cycle Assess*, Vol. 2, No. 3, 1997, pp. 155–162.
- ELCD core database version II, 2010.
- EPEM, 2012. Innovative Collection System and Life Cycle Assessment for Waste Lube Oils. Task6: Life Cycle Assessment – Conclusions., *Innovative Collection System and Life Cycle Assessment for Waste Lube Oils LIFE02 ENV/GR/000360* [online], [http://www.epem.gr/icol/pdfs/task\\_6\\_a.pdf](http://www.epem.gr/icol/pdfs/task_6_a.pdf). [Accessed 2012 – 1 – 10].
- FDSPQ, 2011., Ficha de Datos de Seguridad de Producto Químico MARBRAX CCD.

- Fehrenbach, H., Ecological and Energetic assessment of re-refining used oils to Base oils: Substitution of primarily produced base oils including semi-synthetic and synthetic compounds, Institut für Energie- und -Umweltforschung GmbH (IFEU), a study commissioned by GEIR - Groupement Européen de l'Industrie, 2005.
- Pérez, M., Evaluación ambiental del proceso de cogeneración con bagazo en la Industria Azucarera Cubana mediante el Análisis del Ciclo de Vida, Tesis presentada en opción al Grado Científico de Máster, en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 2009, Régénération, [online]. [http://ec.europa.eu/environment/index\\_fr.htm](http://ec.europa.eu/environment/index_fr.htm), [Accessed 2011-11-19]
- Finnveden, G., Lindfors, L., Data quality of life cycle inventory data—rules of thumb., *Int J Life Cycle Assess*, Vol. 3, No. 2, 1998, pp. 65–66.
- Goedkoop, M., Spriensma, R. The eco-indicator'99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, In: Methodology Report. 3rd ed. Amersfoort: Pré Consultants, [www.pre.nl](http://www.pre.nl), 2001.
- Intertek, Relatório de análise óleo combustível 1A. GERA - Geradora de Energia. Candeias. BA, 2011.
- Kopeliovich, D., 2012. Additives in lubricating oils [online] <http://www.substech.com> [Accessed 2012-8-7]
- LUBRAX – PETROBRAS, 2011. Ficha técnica MARBRAX CCD.
- MICROLAB, 2012. Relatório analítico RA 173/12. <http://www.laboratoriomicrolab.com.br>
- NC ISO 14040, Gestión Ambiental, Análisis del ciclo de vida, Principios y marco de referencia., 2005.
- NC ISO 14041, Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida, Definición del objetivo y alcance y análisis del inventario, 2000.
- NC- ISO 14042, Gestión Ambiental, Análisis de ciclo de vida, Evaluación del impacto de ciclo de vida, 2001.
- NC- ISO 14043, Gestión Ambiental, Análisis de ciclo de vida, Interpretación de ciclo de vida, 2001.
- PRé Consultants, SimaPro end user license agreement (EULA) and service level agreement (SLA), [www.pre.nl](http://www.pre.nl), 2004.
- Raimondi, A, et al, 2012. LCA of petroleum – base lubricants: state of art and inclusion of additives. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 17, No. 8, 2012, pp. 987-996. <http://www.springerlink.com> [Accessed: 2012-8-16]
- Skrotsky, B., Vopat, W. Power Station Engineering and Economy., McGraw-Hill Companies, p. 751 1960.
- TRIBOLAB, Relatório de exame. Lub: MARBRAX CCD 430/440, 2012, <http://www.tribolab.com.br>
- UPC, ACV., Estado del conocimiento. [online]. 2012. pp. 29 - 41. <http://upcommons.upc.edu>, [Accessed 2012-2-3]
- Wardenaar, T., et al, Differences between LCA for analysis and LCA for policy: a case study on the consequences of allocation choices in bio-energy policies., *Int J Life Cycle Assess*, 2012, pp. 1059–1067, <http://www.springeropen.com/journals> [Accessed: 2012-8-12]