



República de Cuba
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Título: “Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos”.

TRABAJO DE DIPLOMA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: Frida García Bermúdez

Tutor(es): Msc. Berlan Rodríguez Pérez

Ing. María Magdalena Gómez Rodríguez.

Cienfuegos, 2011

DEDICATORIA

A mi esposo, por su gran amor, por estar siempre junto a mi en cada momento difícil de mi vida y darme las fuerzas y su apoyo para llegar hasta el final de mi carrera.

A mi hermana Maydel y mi cuñado, por su ayuda incondicional y amor sincero.

A mis maravillosos padres, por su dedicación y ternura, por sus consejos y por el amor y la paciencia que tienen conmigo a cada momento.

Y en especial a mi pequeñita Gaby, que me brinda su cariño, su dulzura y su amor y sobre todo porque me enseñó lo maravillosa que es la vida a su lado.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores, por brindarme sus conocimientos y prepararme para la vida.

A mis compañeros de trabajo, que me ayudaron y apoyaron en cada momento que los necesité y en especial a Juan Bravo, Héctor Zamora, Antonino Vega, Julio César, José Manuel, Yeranis Zurita y Francisco Berroa.

A mi tutor Berlan, por brindarme su experiencia profesional y por las molestias ocasionadas.

A mi tutora Magdalena, por su gran amistad y ayuda en todo momento que la necesité.

A mis compañeros de aula, por los momentos tan especiales que pase a su lado en estos seis años.

A Maydelín y Guillermo, por su dedicación y ayuda en la tesis en sus tiempos libres.

Y a todas aquellas personas, que de una forma u otra me ayudaron a salir adelante en esta etapa de mi vida.

RESUMEN

La presente investigación titulada “Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica en la Termoeléctrica Cienfuegos” tiene como objetivo analizar el proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, dentro del periodo 2008-2010, aplicando el procedimiento de Análisis del Ciclo de Vida, para la identificación de mejoras que sean factibles desde el punto de vista ambiental, económico y técnico.

Para el desarrollo del trabajo se aplican técnicas de recopilación y análisis de la información sirviendo estas de base para la aplicación de la metodología empleada en el estudio del ciclo de vida de la electricidad, la revisión bibliográfica, el trabajo en equipo y la entrevista son parte de las técnicas que complementan las herramientas esenciales de análisis e interpretación de procesos propios de la ingeniería Industrial como son: diagramas de flujo, mapas de procesos y planes de control.

Se aplican los pasos de la norma NC-ISO 14040:1999 para el desarrollo del trabajo tomándose esta como referencia para la definición del alcance y los objetivos, análisis de inventario, validación de los datos, evaluación del impacto ambiental y la valoración de las posibles mejoras encontradas, todo esto se complementa con los métodos de evaluación de categorías de impacto predeterminadas mediante el uso de la herramienta informática SimaPro 7.1.

El trabajo nos lleva a la obtención de conclusiones que dan cumplimiento a los objetivos propuestos al llegar a resultados concretos mediante la aplicación de los métodos de estudio de los ciclos de vida, en nuestro caso, al ciclo de la electricidad, se dan a su vez una serie de recomendaciones que deben ser aplicadas de inmediato para el ahorro de portadores energéticos en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y para la mitigación del impacto ambiental que esta produce en la actualidad.

ABSTRACT

This investigation named "Analysis of Life Cycle of Electric Power Generation in Cienfuegos Power Station" is aimed to analyze the process of electric power generation in this facility, within the period 2008-2010, applying the 'Analysis of Life Cycle' procedure, for the identification of feasible improvements from the environmental, economical and technical points of view.

For the development of the work, techniques of summary and analysis of the information are applied, serving as a base for the application of the methodology employed in the study of life cycle of the electricity; bibliographical revision, the team work and interview are parts of the techniques that supplement the essential tools of analysis and interpretation of processes belonging to Industrial Engineering, like flow diagrams, process maps and control plans.

Steps of NC-ISO 14040:1999 Standard are applied for the development of the work, taking those steps as references for the definition of the reach and the objectives, the inventory analysis, the data validation, the environmental impact evaluation and valuation of possible improvements. All above is supplemented with evaluation methods of impact categories predetermined by the use of SimaPro 7.1 software.

The work leads to the obtaining of conclusions that submit the proposed objectives, since it reaches concrete results by means of the application of study methods of life cycles; in our case, the cycle of the electricity. Conclusions give -at the same time- a series of recommendations that should be applied immediately for the saving of energy payees in Cienfuegos Power Station, and for the mitigation of environmental impact this facility produces at the present time.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. “MARCO TEÓRICO”.....	7
1.1 Sistema de Gestión Ambiental.....	7
1.1.1 Características del Sistema de Gestión Ambiental.	9
1.1.2 Herramientas del Sistema de Gestión Ambiental.	10
1.2 Herramienta Análisis del Ciclo de Vida.....	15
1.2.1 Origen y Evolución.....	18
1.2.2 Importancia del ACV.....	19
1.2.3 Aplicación del ACV.	21
1.3 Metodologías del Análisis del Ciclo de Vida.	22
1.3.1 Impact 2002+.	22
1.3.2 Eco-Indicador 99.	23
1.3.3 Eco-Speed.	24
1.4 Análisis del Ciclo de Vida en Cuba.....	25
1.5 Industria Eléctrica en Cuba.....	26
1.6 Herramientas de Valoración Económicas.	28
1.6.1 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	28
1.6.2 Valor Actual Neto (VAN).	30
CAPÍTULO II. “CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA A UTILIZAR”.....	32
2.1 Descripción del objeto de estudio.....	32
2.2 Caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.	34
2.3 Necesidades de Estudio.....	38
2.4- Procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).	41
2.4.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.....	42
2.4.2 Etapa 2: Análisis de Inventario.	45
2.4.3 Etapa 3: Evaluación del impacto.....	48
2.4.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.....	63

CAPÍTULO III: “APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO”	65
3.1 Etapa 1: Definición de objetivos y alcance.....	65
3.1.1 Objetivo General.....	65
3.1.2 Alcance del estudio.....	66
3.2 Etapa 2: Análisis del inventario.....	68
3.2.1 Recolectar los datos.....	68
3.2.2 Construcción de los diagramas de procesos.....	85
3.2.3 Procesamiento de la información y los datos obtenidos.....	85
3.3 Etapa 3: Evaluación del Impacto.....	86
3.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.....	93
3.4.1 Impacto Económico.....	94
CONCLUSIONES PARCIALES CAPÍTULO III	99
CONCLUSIONES GENERALES	101
RECOMENDACIONES	103
ANEXOS	106



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Dar a las futuras generaciones un medio ambiente sostenible para la continuidad de la civilización se ha convertido en la actualidad en una de las principales preocupaciones de la humanidad. En estos días, los consumidores son más exigentes, tanto en la conservación de los recursos naturales y en la protección del medio ambiente, como en la calidad de los productos y servicios que reciben. Por tal motivo, la industria enfrenta el reto de producir con alta calidad y satisfacer las expectativas de los consumidores y de otras partes interesadas en el tema de la protección del medio ambiente.

El Consejo Mundial de Energía, (WEC, por sus siglas en inglés) llevó a cabo una compilación de estudios de análisis de ciclo de vida de diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica desarrollados en los últimos 15 años a nivel internacional. Estos análisis consideraron la cadena completa de producción de energía, desde la exploración y la extracción hasta su uso final, pasando por almacenamiento, transporte, transformación en combustibles secundarios; es decir, la energía primaria desde su origen hasta su uso final. De esta forma, se determinó la accesibilidad, disponibilidad y aceptabilidad de la producción de energía eléctrica.

En lo que respecta a esta situación y fundamentándose conceptualmente en el análisis del ciclo de vida existen varias metodologías científicas que permiten apoyar la gestión medioambiental de procesos y/o servicios. Entre estas metodologías está el análisis del ciclo de vida, el cual demuestra una alta capacidad para valorar y evaluar los impactos potenciales al medio ambiente ocurridos durante el ciclo de vida completo de un producto o proceso. Para ello existen diferentes herramientas metodológicas como el Eco-Indicador 99, que consiste en la cuantificación numérica de cada impacto ambiental detectado y su ponderación sobre la base de coeficientes que permiten obtener un valor numérico adimensional denominado “Eco-indicador”. Cuánto más alto es el valor del ecoindicador mayor es el impacto ambiental.

Todas estas propuestas metodológicas exigen el levantamiento de información a fin de contar con un inventario de las emisiones en diversas fases del proceso productivo y valorar sus impactos en la salud y medio ambiente. Este es un proceso a largo plazo por lo que en los países en los que se ha avanzado en el mismo, se han invertido no menos de 4 años. El resultado de estos estudios ha impulsado a los gobiernos de los países a tomar acciones de política y/o mercado que han fomentado el uso de algunas tecnologías o combustibles sobre otros.

Sabemos que la generación de electricidad conlleva otro tipo de externalidades, por ejemplo, en la salud pública, en el impacto al medio ambiente y hasta en la seguridad energética. El uso de combustibles fósiles está amenazando con cambiar nuestra vida tal como la conocemos. Por consiguiente, el cambio climático se ha convertido en una prioridad para todos nosotros.

Temperaturas cada vez más altas están cambiando paisajes, amenazando la vida salvaje y alterando los patrones climáticos. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ha estimado que la temperatura media de la superficie terrestre se ha incrementado en 0,74 °C en el último siglo. Según las previsiones, si los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero continúan ascendiendo al mismo ritmo, la temperatura global habrá aumentado entre 1,8 °C y 4,0 °C en 2100.

Según el informe Stern de 2006, sobre la economía del cambio climático (Stern Review on the Economics of Climate Change), el sector energético representa un 65% de las emisiones de gases de efecto invernadero. La industria de generación eléctrica constituye un cuarto de todas esas emisiones.

Específicamente la industria energética en Cuba es una de las que provoca mayor impacto negativo sobre el medio ambiente. Alrededor del 90 % de la generación de electricidad en los últimos años se realizó con combustibles fósiles, lo que tiene un efecto determinante en las emisiones de este sector. Los principales contaminantes provenientes de la generación de electricidad en el país son el dióxido de carbono (CO₂), el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x).

Las emisiones de CO₂ representan más de 90% del total de gases de efecto invernadero provenientes de la generación de electricidad. Nuestro país presenta

una de las más altas tasas de emisión de CO₂ en la región, por la mayoritaria utilización de combustibles fósiles para la producción de electricidad. El índice de Cuba en 2003 fue de aproximadamente 750 t/GWh o 0,75 t/MWh (Fuente OLADE).

Cuando se aplica el Análisis de Ciclo de Vida a la energía se pueden obtener resultados sorprendentes o inesperados, esto brinda el soporte y la motivación para realizar este trabajo. La energía, en este caso eléctrica, produce un impacto ambiental tanto en origen (fósil o renovable), producción, uso y tratamiento de residuos, como cualquier otro producto de consumo. (Serrano, David and Dufour, Javier 2008)

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, se encuentra entre la mejores del país en cuanto a su eficiencia y estabilidad dentro del SEN (Sistema Electroenergético Nacional) desde su fundación en el año 1968, por lo tanto, resulta de gran interés la optimización de sus procesos en busca de mejorar su interrelación con el medio ambiente. La electricidad es indispensable en todos los procesos empresariales en la actualidad, de ahí la importancia de llevar los mismos a mejoras de eficiencia técnica y ambiental.

Situación problemática

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos es una entidad que se dedica a brindar el servicio de generación de electricidad al Sistema Electroenergético Nacional, se encuentra situada en el centro sur de la isla de Cuba, pudiendo transferir la totalidad de su capacidad instalada tanto a la zona oriental, zona central, como a la zona occidental del país.

Forma parte de la estructura de generación dentro del grupo de plantas térmicas, que conforman el 58 % de la generación total de la isla, y dentro de este grupo integrado por 9 termoeléctricas, representa el 12% de la generación eléctrica.

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos está enfrascada en desarrollar un serio trabajo en cuanto a la mitigación de sus impactos medioambientales, dentro de los cuales se encuentran:

- Consumo de 11 000 ton de más de combustible fósil (fuel oil) anuales.
- Emisión de 129 000 000 m³ de más de gases de efecto invernadero (CO₂).
- Emisión de 300 mg/Nm³ de más de partículas a la atmósfera.

La organización respeta lo establecido en la Legislación Ambiental vigente pero tiene como objetivo seguir realizando mejoras continuas para cuantificar el impacto, ya que no se ha realizado ningún estudio previo sobre la base de la evaluación de impacto medio ambiental, teniendo en cuenta los criterios ambientales, económicos y técnicos.

Según la situación problémica antes expuesta se plantea el problema científico de la investigación.

Problema científico.

La identificación de alternativas de mejora al proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, comprobando la factibilidad ambiental, económica y técnica.

Hipótesis.

Si se aplica el procedimiento para el Análisis de Ciclo de Vida de la energía, combinando con técnicas de análisis de procesos e inversiones, se podrán identificar mejoras al proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

Objetivo General.

Analizar el proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, dentro del periodo 2008-2010, aplicando el procedimiento de Análisis del Ciclo de Vida, para la identificación de mejoras que sean factibles desde el punto de vista ambiental, económico y técnico.

Objetivos Específicos.

- Elaborar un marco teórico sobre la metodología Análisis de Ciclo de Vida, que sirva como referencia y proporcione las bases conceptuales fundamentales para el desarrollo de la investigación.
- Determinar mediante una comparación el método más adecuado para el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la Energía Eléctrica.
- Realizar un análisis del proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos para identificar las posibles alternativas de mejora.
- Evaluar las mejoras encontradas en el proceso a través de un cálculo técnico, económico y un análisis medioambiental.

Al concluir, la investigación queda estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I: Marco teórico

En este capítulo se realiza una síntesis crítica del estado del conocimiento sobre el análisis del ciclo de vida (ACV) y su aplicación en el sector de la energía, específicamente en las termoeléctricas. En esta síntesis se analizan los elementos más relevantes de la metodología en lo referente a los aspectos conceptuales y su aplicación en el sector energético.

Capítulo II: Caracterización de la empresa objeto de estudio y metodología a utilizar.

Se desarrolla una caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y se plantea la metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la generación de energía eléctrica basada en la norma NC-ISO 14 040:1999.

Capítulo III: Aplicación del procedimiento.

En este capítulo se desarrolla la metodología propuesta para evaluar y analizar el impacto ambiental del ciclo de vida de la generación de energía eléctrica, en busca de potenciales mejoras o soluciones que respondan a los factores identificados como

causas de los impactos medioambientales del proceso; comprobándose la factibilidad ambiental, económica y técnica de las mismas.



CAPÍTULO I

CAPÍTULO I. “MARCO TEÓRICO”.

En este capítulo se realiza un análisis conceptual sobre gestión por procesos y gestión ambiental fundamentalmente de la que se abordan sus herramientas, encontrándose las más utilizadas a escala mundial, así como las principales semejanzas y diferencias existentes entre ellas. Luego se fundamenta en la importancia, aplicación, ventajas y desventajas del Análisis de Ciclo de Vida, debido a su potencialidad para gestionar los aspectos medioambientales de un producto o servicio.

1.1 Sistema de Gestión Ambiental.

Parte del sistema de gestión general que incluye la estructura organizativa, las actividades de planificación, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, implantar, realizar, revisar y mantener la política ambiental.

Un Sistema de Gestión Ambiental es un proceso cíclico de planificación, implantación, revisión y mejora de los procedimientos y acciones que lleva a cabo una organización para realizar su actividad garantizando el cumplimiento de sus objetivos ambientales (Martínez, Eduardo 2003).

La mayoría de los sistemas de gestión ambiental están contruidos bajo el modelo: "Planificar, Hacer, Comprobar y Actuar", lo que permite la mejora continua basada en:

- **Planificar**, incluyendo los aspectos ambientales y estableciendo los objetivos y las metas a conseguir.
- **Hacer**, implementando la formación y los controles operacionales necesarios.
- **Comprobar**, obteniendo los resultados del seguimiento y corrigiendo las desviaciones observadas.

- **Actuar**, revisando el progreso obtenido y efectuando los cambios necesarios para la mejora del sistema.

En la actualidad existen dos normas fundamentales en las que se basa el diseño de los Sistemas de Gestión Ambiental:

1. ISO-14001, promovida por ISO y aceptada en todo el mundo.
2. EMAS, promovida por la Unión Europea, siendo esta más estricta que la primera.

La Gestión Medioambiental hace referencia a todas las actuaciones que contribuyen a:

- Cumplir los requisitos de la legislación medioambiental vigente.
- Mejorar la protección ambiental.
- Reducir los impactos de la propia organización sobre el medio ambiente al controlar los procesos y actividades que los generan.

Todas estas actividades, de forma conjunta y planificada dentro de una organización, conformarán el Sistema de Gestión Medioambiental (también conocido por su abreviatura SGMA), que proporciona una metodología estructurada dirigida hacia la mejora continua.

Un SGMA es un sistema estructurado de gestión que incluye la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las prácticas, los procesos, los procedimientos y los recursos para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día los compromisos en materia de protección medioambiental que suscribe la organización, es decir, su política medioambiental.

El impacto ambiental de un producto inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente. Durante la fabricación, las empresas deben evaluar el impacto ambiental que tiene su proceso, además tienen la responsabilidad

sobre el impacto que ocasionan las partes involucradas en el proceso hasta que el producto llega al cliente consumidor.

1.1.1 Características del Sistema de Gestión Ambiental.

Un Sistema de Gestión Ambiental se estructura usualmente con base en los siguientes componentes: La definición de la política y los compromisos ambientales de la empresa, el análisis ambiental de la actividad por desarrollar, la identificación e implementación de las medidas de manejo ambiental, el seguimiento y monitoreo, y la evaluación de los resultados, como se indica de manera esquemática en la Figura. 1.1, y se explica en los párrafos siguientes.

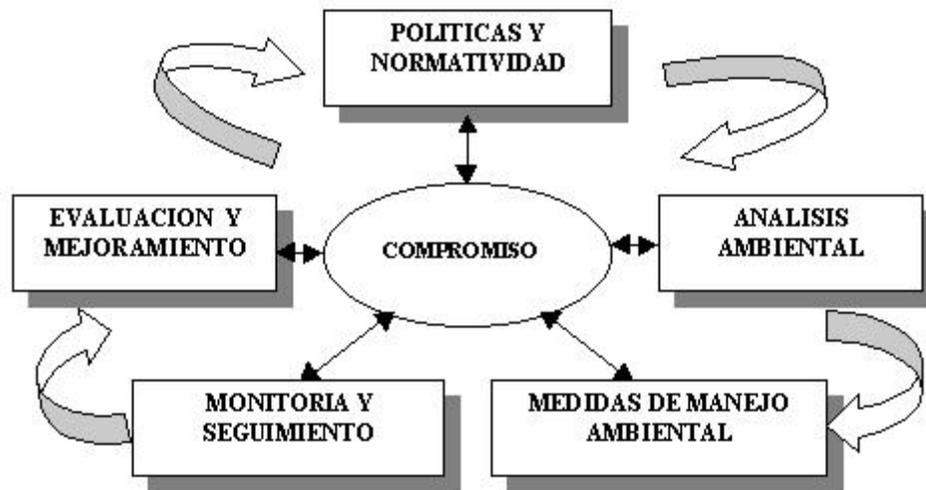


Figura 1.1: Estructura típica del sistema de gestión ambiental. Fuente:(Unión de Petróleos de México 1996)

El sistema de gestión ambiental consta, como se ve, de cinco componentes cuyo eje central es el compromiso de la empresa o entidad responsable del proyecto exploratorio. Sin un compromiso formal y claro de la empresa con respecto a su responsabilidad ambiental no podrá tener éxito ningún tipo de gestión que se pretenda adelantar para mejorar las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la actividad.

1.1.2 Herramientas del Sistema de Gestión Ambiental.

La necesidad de estudiar, desde el punto de vista medioambiental todas las interrelaciones que ocurren a lo largo del ciclo de vida, exige el empleo de métodos fiables que cuantifiquen o valoren todas estas acciones y sus efectos. Así, a la hora de tratar este tema es necesario proporcionar las respuestas adecuadas para atender a los objetivos esperados, entonces habrá que emplear herramientas que permitan medir los diversos tipos de parámetros, tanto aquellos clasificados de cuantificables como los de difícil cuantificación. Entre los parámetros cuantificables están incluidos los relacionados con el consumo de materias primas, consumo de agua y energía, emisiones de efluentes líquidos, emisiones de gases a la atmósfera, residuos sólidos, generación de coproductos, etc.

Estos parámetros, pueden ser tratados a través de modelos, como por ejemplo, los de la base conceptual del análisis del ciclo de vida. Mientras los de difícil cuantificación, por ejemplo, los riesgos potenciales, cambios geográficos, impactos visuales del entorno o escasez de recursos son tratados con otras herramientas desarrolladas para tal fin.

Cada una de estas herramientas ofrece diferentes formas de afrontar el problema y suministran diversas informaciones útiles a la hora de una toma de decisión, teniendo en cuenta que cada una de ellas recoge, estructura y valora informaciones según determinados aspectos, resultando, en algunos casos, hasta complementarios entre sí.

En la Tabla No. 1.1 se presentan algunas de las principales herramientas hoy disponibles para la Gestión Ambiental de sistemas de producción o producto.

<i>RA-Risk Assessment.</i>	<i>Análisis de riesgo ambientales.</i>
<i>EIA-Environmental Impact Assessment.</i>	<i>Estudio del impacto ambiental.</i>
<i>EAu-Environmental Auditing.</i>	<i>Auditoría ambiental.</i>
<i>EPE-Environmental Performance Evaluation.</i>	<i>Evaluación del comportamiento ambiental.</i>
<i>SFA-Substance Flow Analysis.</i>	<i>Análisis del flujo de sustancia.</i>
<i>EMA- Energy and Material Analysis.</i>	<i>Análisis de material y energía.</i>
<i>ISCM- Integrated Substance Chain Management.</i>	<i>Gestión integral de sustancia.</i>
<i>PLA-Product Line Analysis.</i>	<i>Análisis de línea de producto.</i>
<i>LCA-Life Cycle Assessment.</i>	<i>Análisis del ciclo de vida.</i>

Tabla No. 1.1: Herramientas conceptualmente similares usadas en los sistemas de gestión ambiental. Fuente:(Cordero hernández, Arahít and Pérez Noa, Carlos 2010)

a) Análisis de riesgos ambientales.

El análisis de riesgos ambientales abarca una amplia gama de aplicaciones. Por ejemplo, con esta herramienta se pueden evaluar los riesgos ecológicos ocasionados por fuentes puntuales o difusas de emisiones, emisiones frecuentes o accidentales. También permite evaluar riesgos para la salud humana en el ámbito laboral, así como para ambientes exteriores con un cierto foco contaminante y la selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales. En general, esta herramienta se utiliza con enfoque analítico (cualitativo) y con criterios de probabilidad para estimar los riesgos que pueden resultar en situaciones adversas. Habitualmente se consideran los niveles de concentración y/o períodos de exposición de una determinada sustancia peligrosa en el ambiente, para luego estimar comparativamente con los criterios establecidos para definir si están ante niveles aceptables de riesgo.

La principal ventaja de análisis de riesgo es permitir pronosticar posibles impactos reales. Sin embargo, los datos para realizar estos pronósticos, dictan ciertas limitaciones a esta herramienta con respecto al consumo de tiempo y recursos y,

consecuentemente, justificando su empleo para actividades de alto riesgo. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

b) Estudio del impacto ambiental.

Antes de empezar determinadas obras públicas o proyectos o actividades que pueden producir impactos importantes en el ambiente, la legislación obliga a emplear esta herramienta y hacer una Evaluación del Impacto Ambiental que producirán si se llevan a cabo. La finalidad de la EIA es identificar, predecir e interpretar dichos impactos a fin de conocer si la obra debe ser aceptada, modificada o rechazada por la Administración Pública. Considera los efectos ambientales durante el período de construcción así, como también los que ocurren durante la operación de la planta, siendo comúnmente requerido para conseguir una licencia de construcción o de operación en una planta. En general, los datos ambientales de la EIA son detallados con respecto a un impacto específico y, frecuentemente, pueden tener en cuenta la duración y concentración de los contaminantes emitidos mediante la evaluación de su incidencia sobre el ambiente.

c) Auditoria ambiental

Es la identificación, evaluación y control de los procesos industriales que pudiesen estar operando bajo condiciones de riesgo o provocando contaminación al ambiente, y consiste en la revisión sistemática y exhaustiva de una empresa de bienes o servicios en sus procedimientos y prácticas con la finalidad de comprobar el grado de cumplimiento de los aspectos tanto normados como los no normados en materia ambiental y poder en consecuencia, detectar posibles situaciones de riesgo a fin de emitir las recomendaciones preventivas y correctivas a que haya lugar. (Programa Nacional de Auditoría Ambiental, 2008)

En este contexto, auditar es propio de la gestión para conseguir la “calidad total”. Aquí se incluyen chequeos de los sistemas instalados para verificar si operan como deberían, permitiendo así una constante evaluación de mantenimiento de objetivos del conjunto operante. Sin embargo, el foco de la Auditoría ambiental se centra en la actividad que está siendo revisada y no sobre datos retrospectivos o prospectivos del proceso.

d) Evaluación del comportamiento ambiental.

Es una herramienta interna que suministra al sistema de gestión ambiental informaciones fiables, objetivas y verificables, de este modo se ayuda a la organización a determinar los logros en sus objetivos ambientales. Es, por lo tanto, un sistema de auditoría interna, que se basa en indicadores para medir, evaluar y verificar el comportamiento ambiental de una organización con respecto a determinados criterios preestablecido en su sistema de gestión (intenciones y objetivos ambientales). Permite enfocar tendencias de comportamiento medioambiental para una gama de actividades de una organización, es decir, los recursos consumidos, el proceso utilizado, productos y servicios resultantes.

e) Análisis del flujo de sustancia.

El análisis del flujo de sustancia es una herramienta que permite hacer un balance del flujo de una determinada sustancia, a lo largo de todo el ciclo de vida de un sistema, incluyendo la producción y el uso de cierto producto a través de la contabilización de todas sus entradas y salidas. Con esta herramienta se puede mejorar la calidad medioambiental de un determinado producto a través de la aplicación de medidas de control o de reducción de una sustancia específica. Sin embargo, presenta el inconveniente de que al hacer referencia a una sola sustancia no es un método holístico y, por lo tanto, si ocurrieran cambios en el sistema como resultado del aumento del flujo de otras sustancias, éstas no podrían ser identificadas con el análisis de flujo de sustancia.

f) Análisis de material y energía.

Se considera como el precursor del análisis del ciclo de vida, de hecho, las dos herramientas se confunden, ya que conceptualmente pueden compartir la misma base de datos. Utilizan como referencia la unidad funcional del sistema y su interpretación también está basada en el impacto potencial al medio ambiente causado por ciertas emisiones. La herramienta igualmente utiliza algoritmos para cuantificar todos los materiales y energías que entran y salen de un determinado sistema bajo estudio, admitiendo evaluar cierta etapa o fase del ciclo de vida de un producto.

g) Gestión integral de sustancia.

La gestión integral de sustancia sirve tanto como apoyo a la toma de decisiones, como para comparar diferentes opciones con respecto a ciertas mejoras ambientales o económicas de un sistema. Se formula un plano práctico de acción más amplio que un simple análisis de aspectos medioambientales. Esencialmente, se hace un atajo en el de ciclo de vida completo de un determinado producto, puesto que con el análisis de sólo 20% de elementos, podría conocerse un 80% de impactos totales en el sistema. Es conocido como el precursor del análisis del ciclo de vida simplificado.

h) Análisis de línea de producto.

Muy similar al análisis del ciclo de vida, utiliza como base de comparación la unidad funcional del sistema. Presenta un espectro más amplio de análisis, ya que incorpora como foco de investigación, además del análisis medioambiental, otros aspectos de tipo económico y social. Es considerada una herramienta conceptualmente correcta, aunque en la práctica se utiliza poco.

i) Análisis del ciclo de vida .

El ACV es una herramienta de gestión ambiental que identifica tanto a los recursos usados como a los residuos que se generan y se emiten a los vectores ambientales (aire, agua y suelo) a lo largo de todo el ciclo de vida de un bien o un servicio específico. Permitiendo tener una visión general del proceso y eliminando la suboptimización en caso de solo enfocarnos en procesos o unidades específicas. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001). Diseñada para describir en qué manera los sistemas tecnológicos afectan al medio esta herramienta vale de soporte para tomar decisiones que mejoren los sistemas en cuanto a diseño, desarrollo de productos, compras y políticas de instrumentación, además de técnica exploratoria y de conocimiento acerca del estado de los sistemas de producción, los indicadores de desempeño ambiental, etc.

Por supuesto, diferentes tipos de decisiones requieren diferentes herramientas de decisión. Por ejemplo, seleccionar un lugar idóneo para construir una determinada planta industrial es una decisión que se basa en los estudios de evaluación del impacto ambiental (EIA), mientras que para el diseño de ecoproductos se utiliza el ACV. Así pues, para ejecutar el primero, el objeto de estudio es un proyecto; para el

ACV, se trata de un producto o servicio y para la auditoría ambiental (AA), generalmente es una empresa o planta industrial.

A la hora de decidir por la selección de la herramienta más adecuada para valorar los aspectos medioambientales es necesario un análisis detallado que tenga en cuenta todos los puntos fuertes y débiles, como por ejemplo la potencialidad necesaria para alcanzar los objetivos pretendidos y así escoger la que mejor se adecue a las necesidades del usuario o promotor del estudio (SETAC, 1999).

A pesar de que en algunos casos no sea posible realizar el análisis del ciclo de vida completo de un producto, asimismo el ACV aún resulta útil como herramienta para la gestión medioambiental de sistemas de producción, pues posibilita identificar el foco del problema, optimizar el uso de los recursos materiales o energéticos y gestionar los residuos producidos. Además, el ACV se presta para comparar dos o más productos alternativos que cumplan una misma función, y también para valorar materiales alternativos contribuyendo así al desarrollo de materiales más respetuosos con el medio ambiente.

1.2 Herramienta Análisis del Ciclo de Vida.

El análisis de ciclo de vida es una herramienta esencial en la evaluación del impacto ambiental de las nuevas tecnologías energéticas, principalmente a la hora de establecer la reducción neta de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Serrano, David and Dufour, Javier 2008)

De acuerdo al punto de vista del medio ambiente el ciclo de vida nos permite medir el impacto ambiental de un producto desde que sus materias primas son extraídas de la naturaleza hasta que regresa a ella como un desecho. 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 desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final o su reutilización. En la Figura 1.2, se muestran las etapas del ciclo de vida de un producto.

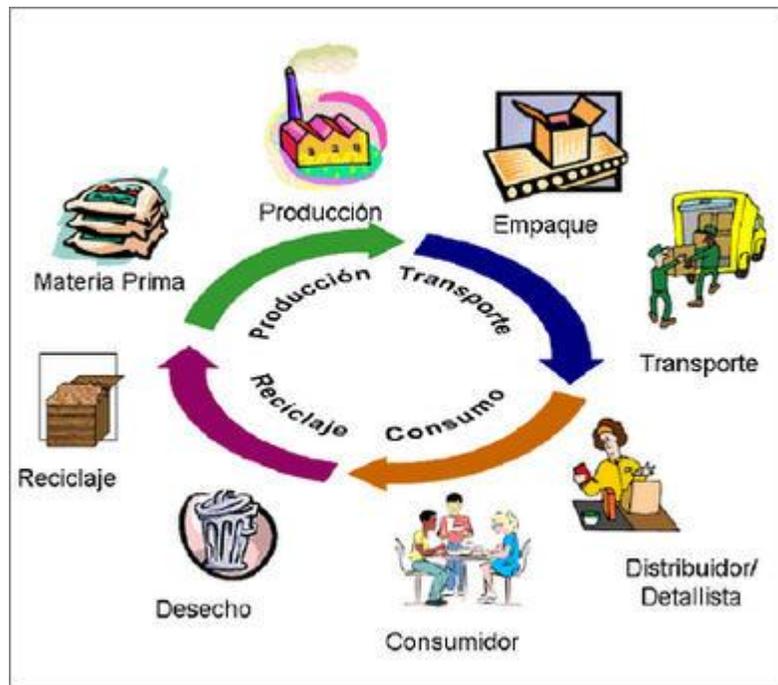


Figura 1.2: El concepto de Ciclo de Vida para un producto.

Fuente:(Ecodiseño Centroamérica 2008)

Dentro de las diferentes fases del ciclo de vida, los impactos en la fase de extracción de materia prima están relacionados con el origen del material. Materiales no-renovables tienen un impacto mayor a materiales renovables. Además la energía necesaria en el proceso de extracción, es un factor determinante en esta fase.

En la fase de producción, la efectividad y la cantidad de los insumos en el proceso de producción como la energía y el agua, al igual que los residuos de producción y emisiones son factores determinantes importantes en el impacto ambiental.

El medio de transporte, la distancia y los tipos de empaques son determinantes del impacto ambiental durante la fase de distribución.

Especialmente para productos que requieren energía y/o necesitan agua u otros aditivos para su funcionamiento la fase del uso puede resultar como una de las fases prioritarias en el impacto ambiental.

El tratamiento en la última fase del ciclo de vida, la disposición final juega un papel importante respecto al impacto ambiental para los casos en los que la vida útil del

producto es muy corta. Especialmente para los envases y los empaques esta fase determina gran parte del impacto total durante el ciclo de vida.

Esta cadena, que va “desde el nacimiento hasta la tumba” es lo que se denomina ciclo de vida de un producto (Romero Rodríguez, Blanca Iris 2003).

En la ISO 14 040 se describen las cuatro fases del ACV:

1. Definición de los objetivos y el alcance.
2. Análisis del inventario.
3. Evaluación del impacto.
4. Interpretación de resultados.

Definición y alcance de los objetivos: Esta etapa del proceso/servicio/actividad se inicia definiendo los objetivos globales del estudio, donde se establecen la finalidad del estudio, el producto implicado, la audiencia a la que se dirige, el alcance o magnitud del estudio (límites del sistema), la unidad funcional, los datos necesarios y el tipo de revisión crítica que se debe realizar.

Análisis del inventario (Life Cycle Inventory LCI): El análisis del inventario es una lista cuantificada de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de sus componentes, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas.

La evaluación de impactos (Life Cycle Impact Assessment- LCIA): Según la lista del análisis de Inventario, se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, y se relacionan sus resultados con efectos ambientales observables.

La interpretación de resultados: Los resultados de las fases precedentes son evaluados juntos, en un modo congruente con los objetivos definidos para el estudio, a fin de establecer las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.

Otra manera de acercarse a la definición de lo que significa el Ciclo de Vida de un producto consiste en referir el concepto contenido en la norma internacional NC-ISO 14040, que lo define como el conjunto de “etapas consecutivas e interrelacionadas

del sistema del producto desde la adquisición de las materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final”.

Otros autores plantean que es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final. (Iglesias, 2005).

El Análisis de Ciclo de Vida es un proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los materiales y la energía utilizada y los residuos liberados al ambiente; para evaluar el impacto del uso de esos materiales y energía y de las descargas al ambiente; y para identificar y evaluar oportunidades para efectuar mejoras ambientales. (Sánchez, 2007).

El Análisis del Ciclo de Vida, en teoría, es un método analítico que contempla y hace una interpretación de los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida.

1.2.1 Origen y Evolución.

Los primeros estudios enfocados sobre algunas etapas del ciclo de vida de ciertos productos se remontan hacia fines de la década de los años 60 y principios de los 70. Esos estudios pusieron el énfasis en el análisis de la eficiencia, en el consumo de la energía y sus fuentes, el consumo de materias primas y, en menor medida, en la disposición final de los residuos generados.

En 1969 la Coca Cola estadounidense financió un estudio destinado a relacionar y comparar el consumo de recursos para fabricar los envases para sus bebidas con las emisiones asociadas a los procesos productivos correspondientes. Por la misma época, también en Europa se estaba estudiando una especie de inventario que más tarde se conoció como «Ecobalance». En 1972, en el Reino Unido, LAN BOUSTEAD se dedicó a calcular la energía total que se requería para la fabricación de diversos tipos de envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) para bebidas. Sus conclusiones

pueden consultarse en su artículo «LCA-How it came about-The beginning in the UK», publicado en *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1 (3), 1996.

Al principio, se consideró que el consumo de energía tenía mayor prioridad respecto de la generación de residuos, las descargas y emisiones hacia el medio ambiente, entre otras cosas quizás porque todavía no había tantas demandas por parte de la opinión pública para que las empresas tuvieran en cuenta la prevención del deterioro ambiental, y porque el precio de los combustibles energéticos había subido tan abruptamente como para justificar darle esa prioridad.

Recuérdese además, que por esa época se produjo la crisis del petróleo, la que afectó principalmente a los países no productores, y que se manifestó por restricciones en la provisión de energía eléctrica, entre otras limitaciones al consumo de energía procedente de combustibles fósiles. Luego de superada esa crisis hubo un decaimiento en la importancia asignada al problema energético.

No ha sido fácil hallar referentes para rastrear las actividades que dieron inicio al ACV en algunos países de Latinoamérica y los trabajos que actualmente desarrollan en esa materia; sin embargo, varios autores e instituciones ofrecen algunos elementos de juicio para contar, quizás de manera fragmentada, lo que pasó y está pasando en la arena del ACV, principalmente en países como México, Chile, Colombia, Argentina y Brasil, pioneros en la región en aplicar esta herramienta (Suppen, 2005; Suppen, 2006; Peña, 2008; Peña, 2009; Arena, 2001; InterfacEHS, 2009; Botero et al., 2008; Van Hoof, 1999; Colciencias, 2007; Cilca, 2009; Botero et al., 2008; Naranjo, 2009).

Finalmente, hay que destacar también la creación de la Red Latinoamericana de Ciclo de Vida, la cual nació en el año 2003 y que produjo en el 2004 la publicación titulada *El Análisis de Ciclo de Vida ISO 14040 en Latinoamérica*.

1.2.2 Importancia del ACV.

El ACV es una poderosa herramienta de gestión ambiental que puede ser de suma utilidad para ayudar en la toma de decisiones por parte de quienes tienen a su cargo los destinos de las empresas, ya sea que se emplee sola o conjuntamente con otras herramientas tales como la evaluación del riesgo y la evaluación del impacto ambiental. Ciertamente, la legislación internacional en materia ambiental es una

presión creciente para las empresas. Pero la presión no vendrá sólo de la legislación de cumplimiento obligatorio, también vendrá de la competencia ejercida por las empresas ambientalmente más proactivas, que tratan de aprovechar las oportunidades emergentes en la evolución del escenario ambiental.

Este permite una comparación total de todos los impactos ambientales del sistema de diferentes alternativas de productos que entregan una función o desempeño equivalente, de aquí se derivan las siguientes oportunidades del uso del ACV:

- Los consumidores pueden seleccionar productos que son más “verdes” (productos que son menos dañinos al ambiente).
- Los diseñadores pueden diseñar productos o servicios de menor impacto ambiental.

La metodología del ACV, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares. En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser útil para disminuir los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promueve una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía. Conforme los especialistas, el ACV es una herramienta importante en la obtención de informaciones detalladas para el proceso de toma de decisiones en ingeniería. Así, si existe la oportunidad de escoger entre una gama de materiales y procesos de obtención y manufactura, las decisiones solamente pueden ser consideradas coherentes si fuesen tomadas con base en el análisis crítico, en particular al histórico de los materiales a ser empleados en la producción industrial (Cardim, 2001).

Una gran importancia de la metodología es que permite detectar situaciones en las que un determinado sistema parece “más limpio” que otro, simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin un mejoramiento real desde el punto de vista global (fenómeno conocido como “problema shifting”). (Iglesias 2005)

1.2.3 Aplicación del ACV.

Existen diferentes usos y aplicaciones del ACV, como primer enfoque se pueden clasificar sus usos como generales y particulares (Sonnemann, 2003).

Las aplicaciones generales incluyen:

- Comparación de diferentes alternativas.
- Identificar puntos de mejora ambiental.
- Tener una perspectiva global de problemas ambientales y evitar generar nuevos problemas.
- Contribuir al entendimiento de las consecuencias ambientales de las actividades humanas.
- Conocer las interacciones entre un producto o actividad y el medio ambiente lo más pronto posible.
- Dar información que apoye a los tomadores de decisiones a identificar oportunidades para mejoras ambientales.

Las aplicaciones particulares incluyen:

- Definir el desempeño ambiental de un producto en su ciclo de vida.
- Identificar los pasos más relevantes en un proceso de manufactura relacionados a un impacto ambiental.
- Comparar el desempeño ambiental de un producto con otros que den un servicio similar.

Dentro de este marco general de aplicaciones, tomando en cuenta el ciclo de mejora en la planeación de actividades empresariales (ver la Figura 1.3), las aplicaciones del ACV permiten tener direcciones concretas y prioridades de **cómo** implementar acciones y alternativas de mejoramiento.

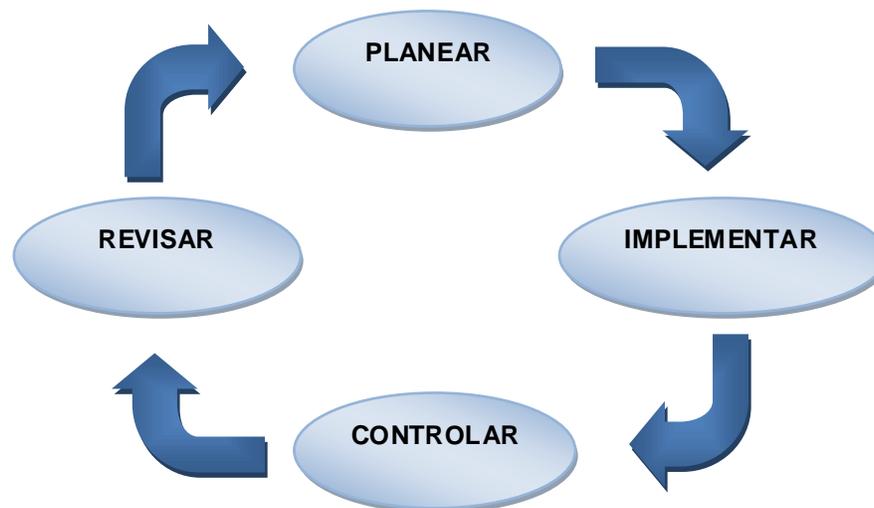


Figura 1.3: El ciclo de mejora empresarial y las aplicaciones de planeación de la metodología de ACV. Fuente: Elaboración propia.

El ACV es un método que comprende un conjunto de factores, incluyendo los flujos de contaminantes a través de todos los tipos de medios, de todos los procesos en las etapas del ciclo de vida de un sistema producto, y las consecuencias de estos flujos en todas las categorías de impacto ambiental relevantes. La ventaja del ACV es que al usarlo, los tomadores de decisiones pueden evitar generar nuevos problemas ambientales al corregir otros, o crear problemas ambientales en otras etapas del ciclo de vida.

1.3 Metodologías del Análisis del Ciclo de Vida.

Existen diferentes metodologías que permiten el análisis del ciclo de vida, entre las que se encuentran el Impact 2002+, Eco-Indicador 99 y Eco-Speed.

1.3.1 Impact 2002+.

La metodología para la valoración del impacto del ciclo de vida LCIA (por sus siglas del inglés) Impact 2002+ propone una implementación factible de la combinación de los puntos medios/aproximación de daños, uniendo todos los tipos de resultados de los recuentos (flujos elementales y otras intervenciones) a través de 14 categorías de puntos medios hasta 4 categorías de daños.

Para Impact 2002+ los nuevos conceptos y métodos han sido desarrollados, especialmente, por la valoración comparativa de la toxicidad humana y la ecotoxicidad. Los Factores de Daños Humanos son calculados para cancerígenos y no cancerígenos, empleando fracciones de entrada, los mejores estimados de factores de inclinación de respuesta ante dosis, así como también severidades.

La transferencia de contaminantes dentro del alimento humano no está basada ya más en la exploración de las fuentes de consumo pero cuenta para la agricultura y los niveles de producción de ganado. La emisión interior y exterior de aire puede ser comparado y se considera el carácter intermitente de las lluvias. Ambos, la toxicidad humana y los factores del efecto de la ecotoxicidad se basan preferiblemente en dar respuestas a conjeturas conservativas.

Otras categorías de puntos medios son adaptadas por la caracterización de métodos existentes (Eco-Indicador 99 y CML 2002). Todos los resultados de los puntos medios son expresados en unidades substanciales de referencia y relacionadas a 4 categorías de daños a la salud humana, calidad del ecosistema, cambios climáticos y recursos. La normalización puede ser desarrollada por ambas categorías los puntos medios o los niveles de daños. El método Impact 2002+ posee factores de caracterización para más de 1500 resultados de impactos de ciclo de vida diferentes.

1.3.2 Eco-Indicador 99.

El Eco-indicador de un material o proceso consiste en un número que indica el impacto ambiental de dicho material o proceso, a partir de los datos obtenidos del ACV. Cuando mayor es el indicador, mayor es el impacto ambiental.

El Eco-indicador 99 es un método ACV especialmente destinado al diseño de productos, y ha demostrado ser una poderosa herramienta para los diseñadores a la hora de interpretar los resultados de los ACV mediante sencillos números o unidades, los llamados Eco-Indicadores. Este se desarrolla con una metodología específica para ello.

Para calcular los Eco-Indicadores es necesario dar tres pasos:

1. Inventario de las emisiones relevantes, la extracción de recursos y el uso del suelo de todos los procesos incluidos en el Ciclo de Vida de un producto. Es un procedimiento estándar de los ACV.

2. Cálculo de los daños a la salud humana, a la calidad del ecosistema y a los recursos.

3. Ponderación de las tres categorías de daño.

En la Figura 1.4 se muestran estos tres pasos.

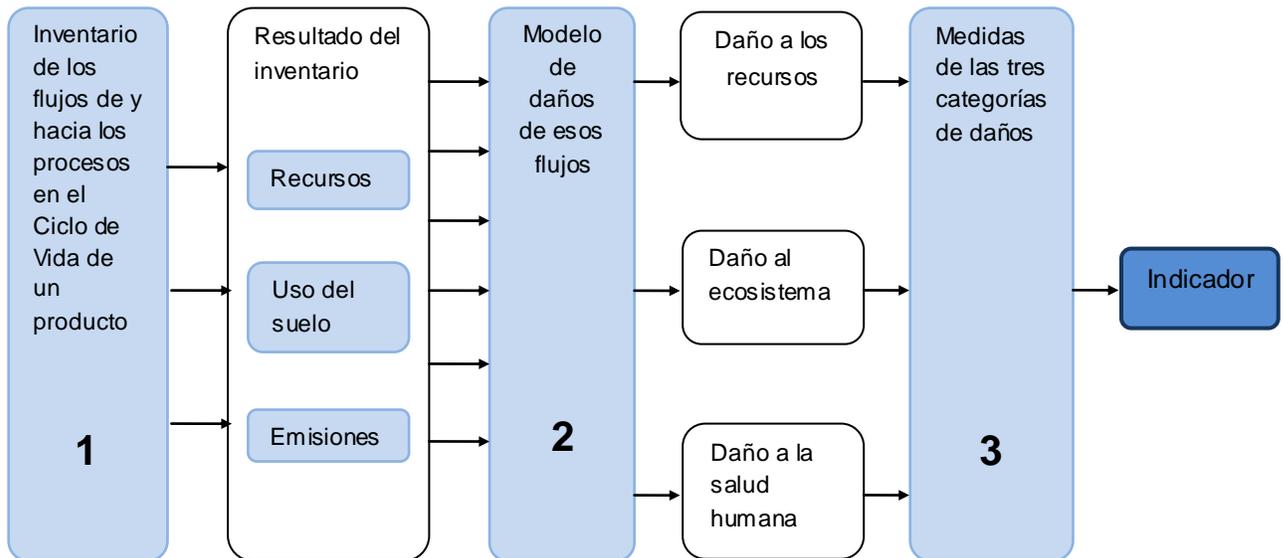


Fig. 1.4: Procedimiento general del cálculo de los indicadores

1.3.3 Eco-Speed.

Este método presentado por MSc. Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Latinoamericana de Análisis de Ciclo de Vida utiliza funciones de velocidad de agotamiento en la mayoría de sus categorías de impacto, de ahí el nombre de Eco-velocidad. Otra de las características distintivas del método resulta la aplicación de técnicas de estimación para el completamiento de las categorías de impacto, incluyendo en ellas la mayor cantidad posible de sustancias identificadas como que afectan el mecanismo ambiental.

Eco-Speed cuenta con 3 categorías de daño, las que son afectadas por 13 categorías de impacto. En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, utilizando una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán

entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado, como se presentan a continuación para cada una de las categorías de daño y de impacto.

1.4 Análisis del Ciclo de Vida en Cuba.

En Latinoamérica Cuba, al igual que Brasil y México, se encuentra en el nivel más alto en el uso de la metodología para el Análisis del Ciclo de Vida con el fin de determinar los impactos ambientales en la industria según la doctora Elena Rosa Domínguez, directora del Centro de Estudios de Química Aplicada, de la Universidad Central de Las Villas.

La institución que dirige en nuestro país el ACV cuenta con un programa computarizado que permite realizar investigaciones específicas como es por ejemplo el estudio sobre el café. Este incluye su impacto en la fase de cosecha, la transportación, el proceso a que es sometido en la industria, sus efectos en las personas que lo consumen y el destino final de sus envases.

En el Seminario Latinoamericano de Análisis de Ciclo de Vida efectuado en Chile, se presentaron trabajos que trataron sobre el impacto en el medio ambiente, entre los que estuvo la generación de electricidad.

Consecuentemente, o una parte del mundo consume más de lo que pudiéramos definir como necesidades o la tecnología actual no permite sostener el paradigma actual de consumo sin poner en riesgo las posibilidades de las generaciones futuras. Sobre esta base se definen los ecologistas como los que creen que inevitablemente hay que disminuir drásticamente el consumo de bienes y servicios por parte de la humanidad para permitirle a la naturaleza recuperarse y los que creen que el desarrollo tecnológico permitirá mantener los niveles de consumo actual a partir de la aparición de tecnologías nuevas económicamente viables con un consecuente aumento de la eficacia y el uso de nuevas fuentes de recursos energéticos y no energéticos.

Es un hecho que la satisfacción creciente de necesidades de consumo, materiales y no materiales, luego de una revolución industrial se debe en gran medida a las bondades energéticas y económicas de los combustibles fósiles, fundamentalmente el petróleo. La producción de energía tiene claro los impactos ambientales y sobre la

salud. A este respecto, existen variaciones significativas entre las diferentes formas de producción de energía. Por lo tanto es importante aplicar la metodología de ACV para cuantificar los impactos ambientales y sobre la salud que la misma ocasiona. La profundidad y amplitud del ACV es considerablemente diferente, dependiendo del objetivo del estudio en particular.

1.5 Industria Eléctrica en Cuba.

En el Complejo Energía-Combustible la forma de energía más versátil es, indudablemente, **la energía eléctrica**, lo que está dado por la facilidad de su uso en cualquier proporción, su accesibilidad y posibilidad de conversión, de manera relativamente sencilla, a otros tipos de energía. A ello es preciso agregar la facilidad de su transportación económica a grandes distancias y en grandes bloques, todo lo que le ha dado, desde la época de su primera implementación práctica, una preferencia indiscutible y un lugar sin competencia en la vida que llamamos moderna.

En nuestro país la energía eléctrica se genera empleando mayoritariamente tecnologías que funcionan a partir de la quema de combustibles fósiles, ya sean centrales térmicas o grupos electrógenos agrupados en baterías para la generación distribuida. En mucha menor medida también se emplean para la satisfacción de la demanda eléctrica nacional, tecnologías que permiten el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Pero para que la electricidad llegue hasta los usuarios finales, es necesario «transportarla» a veces largas distancias mediante los tendidos eléctricos de las redes de transmisión y distribución del Sistema Electroenergético Nacional.

De las distintas formas de generación de energía eléctrica utilizadas en Cuba, más del 90% se realiza a partir de combustibles fósiles, ya sea fuel oil, gas oil o gas, utilizando para ello diversas tecnologías como el ciclo combinado, grupos electrógenos o plantas térmicas, como se puede apreciar en la Figura 1.5 que a continuación se muestra, donde se aprecia además la pequeña generación realizada con energías renovables y utilizando la biomasa sobre todo en centrales azucareros.

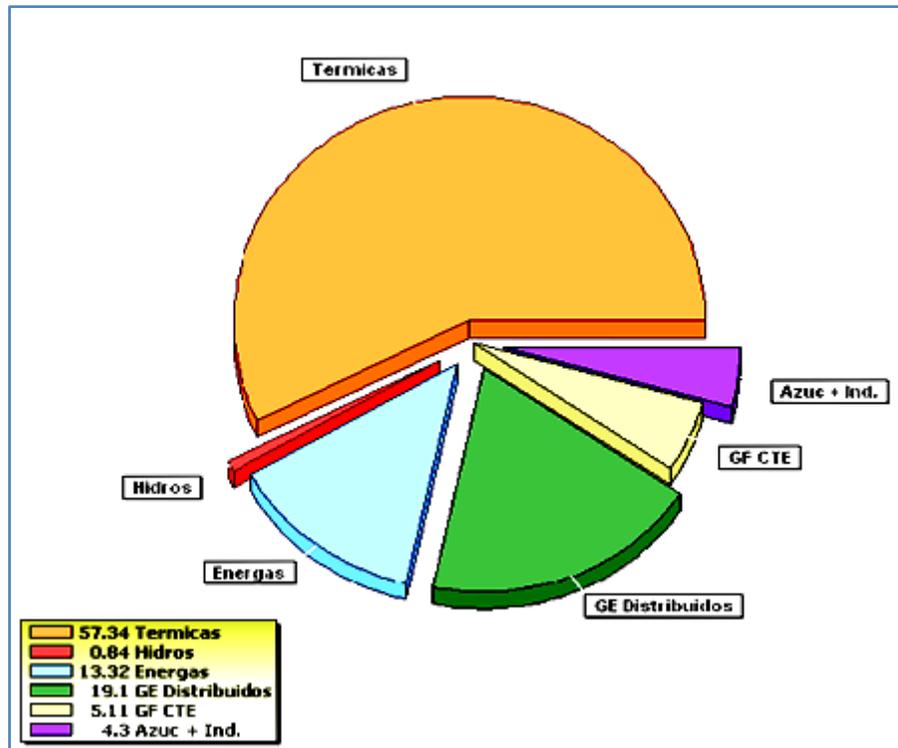


Figura 1.5: Estructura de Generación del Sistema Electroenergético Nacional.
 Fuente: Memoria Anual 2010, Despacho Nacional de Carga.

Mostramos en este otro gráfico dentro de la generación en plantas térmicas, qué volumen corresponde a la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, lo que es directamente proporcional al aporte de contaminantes al medio, o sea, como se inserta esta planta al entorno del país.

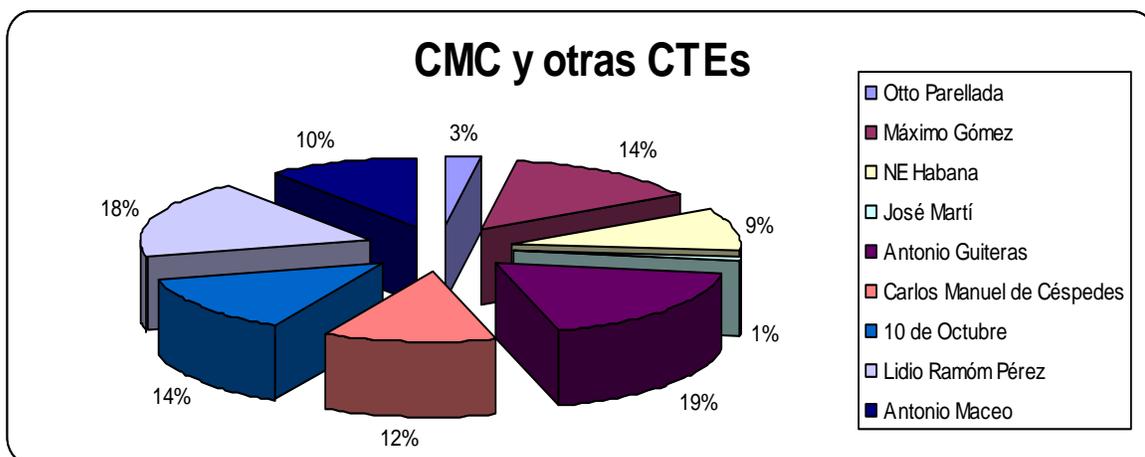


Figura 1.6: Estructura de Generación de las Centrales Termoeléctricas. Fuente: Elaboración propia.

1.6 Herramientas de Valoración Económicas.

La evaluación de proyectos por medio de métodos Matemáticos- Financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas en el largo plazo. Las técnicas de evaluación económica son herramientas de uso general. Lo mismo pueden aplicarse a inversiones industriales, de hotelería, de servicios, que a inversiones en informática. El valor presente neto y la tasa interna de rendimiento se mencionan juntos porque en realidad es el mismo método, sólo que sus resultados se expresan de manera distinta. Recuérdese que la tasa interna de rendimiento es el interés que hace el valor presente igual a cero, lo cual confirma la idea anterior.

1.6.1 Tasa Interna de Retorno (TIR).

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión, está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión (si la inversión no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo). Si la tasa de rendimiento del proyecto - expresada por la TIR- supera la tasa de corte, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

Uso general de la TIR

Como ya se ha comentado anteriormente, la **TIR** o tasa de rendimiento interno, es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión.

El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

- Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad).
- Si $TIR < r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

Dificultades en el uso de la TIR

- **Criterio de aceptación o rechazo.** El criterio general sólo es cierto si el proyecto es del tipo "*prestar*", es decir, si los primeros flujos de caja son negativos y los siguientes positivos. Si el proyecto es del tipo "*pedir prestado*" (con flujos de caja positivos al principio y negativos después), la decisión de aceptar o rechazar un proyecto se toma justo al revés:
 - Si $TIR > r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La rentabilidad que nos está requiriendo este préstamo es mayor que nuestro coste de oportunidad.
 - Si $TIR \leq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto.
- **Comparación de proyectos excluyentes.** Dos proyectos son excluyentes si solo se puede llevar a cabo uno de ellos. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida, siempre que los proyectos tengan el mismo riesgo, la misma duración y la misma inversión inicial. Si no, será necesario aplicar el criterio de la TIR de los flujos incrementales.
- **Proyectos especiales.** También llamado el problema de la *inconsistencia de la TIR*. Son proyectos especiales aquellos que en su serie de flujos de caja hay

más de un cambio de signo. Estos pueden tener más de una TIR, tantas como cambios de signo. Esto complica el uso del criterio de la TIR para saber si aceptar o rechazar la inversión. Para solucionar este problema, se suele utilizar la TIR Corregida.

1.6.2 Valor Actual Neto (VAN).

Valor actual neto procede de la expresión inglesa *Net present value*. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los *flujos de caja* futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

El valor actual neto es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

Una empresa suele comparar diferentes alternativas para comprobar si un proyecto le conviene o no. Normalmente la alternativa con el VAN más alto suele ser la mejor para la entidad; pero no siempre tiene que ser así. Hay ocasiones en las que una empresa elige un proyecto con un VAN más bajo debido a diversas razones como podrían ser la imagen que le aportará a la empresa, por motivos estratégicos u otros motivos que en ese momento interesen a dicha entidad.

Puede considerarse también la interpretación del VAN, en función de la Creación de Valor para la Empresa:

- Si el VAN de un proyecto es Positivo, el proyecto Crea Valor.
- Si el VAN de un proyecto es Negativo, el proyecto Destruye Valor.
- Si el VAN de un proyecto es Cero, el Proyecto No Crea ni Destruye Valor.

Ventajas

- Es muy **sencillo de aplicar**, ya que para calcularlo se realizan operaciones simples.
- Tiene en cuenta el **valor** de dinero en el **tiempo**.

Inconvenientes

- Dificultad para establecer el valor de K. A veces se usan los siguientes criterios:
 - Coste del dinero a largo plazo.
 - Tasa de rentabilidad a largo plazo de la empresa.
 - Coste de capital de la empresa.
 - Como un valor subjetivo.
 - Como un coste de oportunidad.

El VAN supone que los flujos que salen del proyecto se reinvierten en el proyecto al mismo valor K que el exigido al proyecto, lo cual puede no ser cierto.



CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. “CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA A UTILIZAR”.

2.1 Descripción del objeto de estudio.

En el año 1968 comienza el incipiente desarrollo termoeléctrico de nuestra región de Cienfuegos. Tres unidades de 30 MW cada una fueron importadas desde el centro de Europa, desde Checoslovaquia, unas para construir en Cienfuegos y otra en principio en un lugar llamado Punta de Martillo cerca de la Bahía de Manzanillo.

Posteriormente al montaje, sincronización y operación de las unidades procedentes de Checoslovaquia en los años 1968 y 1971, y debido al impetuoso incremento de nuevas industrias en la Zona Industrial de Cienfuegos y el país, se adquirieron y montaron a partir del año 1978 dos nuevas unidades termoeléctricas de tecnología HITACHI procedentes de Japón, marcado por la competitividad comercial y acuñados por la calidad de sus productos. Estas unidades fueron adquiridas en principio para explotar a una generación de 169 000 kW y posteriormente por características técnicas se explotan a 158 000 kW.

Unidad CMC3.

- Sincronizó por primera vez el 18 de noviembre de 1978.
- Se entregó al Despacho Nacional de Carga en junio de 1979.

Datos hasta diciembre del año 2010:

- Generación producida	--	29 994 279 MWh
- Horas de operación	--	238 981.23 h
- Carga promedio	--	119.51 MW
- Consumo Específico Bruto	--	240.17 g/kWh
- Factor de insumo	--	5.61
- No. De arranques	--	348
- Factor de potencia disponible	--	81.49 %
- Factor de mantenimiento	--	11.14 %
- Índice de deficiencia	--	7.77 %
- Averías o vías libres desde 1994	--	147
- Combustible consumido	--	7 203 585 ton física

Unidad CMC4.

- Sincronizó por primera vez el 27 de junio de 1979.
- Se entregó al Despacho Nacional de Carga en enero de 1980.

Datos hasta diciembre del año 2010:

- Generación producida	--	30 312 384 MWh
- Horas de operación	--	230 728.39 h
- Carga promedio	--	120.38 MW
- Consumo Específico Bruto	--	239.10 g/kWh
- Factor de insumo	--	5.48
- No. De arranques	--	410
- Factor de potencia disponible	--	81.65 %
- Factor de mantenimiento	--	12.90 %
- Índice de deficiencia	--	5.68 %
- Averías o vías libres desde 1994	--	141
- Combustible consumido	--	7 247 598 ton físicas

Modernización de la Unidad No. 4.

Indicador	Diseño original	Antes de modernización	A alcanzar con este proyecto	Alcanzados en el proyecto
Carga activa, MW	158	Limitada a 120	158	158
Carga reactiva, MVAR	92	92	92	92
CEB, g/kWh	232.50	254.00	235.20	233.0
Insumo eléctrico, %	5.15	5.80	5.25	4.91
Consumo de agua, m ³ /h	5.00	15.00	5.50	6.00
Disponibilidad, %	90	70	90-95	90-95
Tipo de combustible	Fuel Oil Ligerero	Fuel Oil y Crudo 650 cSt	Fuel Oil y Crudo 1400 cSt	Fuel Oil 612 cSt
Mínimo técnico, MW	40	100 con Crudo	40 con Crudo	40 con Crudo
Regulación de frecuencia	Base	Rango (100-120)	Rangos (40-70 y 100-158)	Rangos (40-70 y 100-158)

2.2 Caracterización de la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos.

La Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos, perteneciente a la Unión Nacional Eléctrica del Ministerio de la Industria Básica fue creada por la Resolución No. 78 del Ministro de la Industria Básica. La Empresa está compuesta por dos unidades generadoras (CMC3 y CMC4) de tecnología japonesas de 158 MWh cada una.

La Central Termoeléctrica Cienfuegos tiene como OBJETO EMPRESARIAL aprobado la Generación de la Energía Eléctrica, el cual entró en vigor mediante la Resolución N° 233 de fecha 27 de abril de 2006 del Ministerio Economía y Planificación. Actualmente cuenta con recursos humanos, medios e instalaciones que permiten cumplimentar éste objeto y con las potencialidades necesarias para ampliar el alcance de nuestras acciones a nuevas actividades por lo que el Objeto Empresarial es el siguiente:

- Generar y suministrar energía eléctrica al sistema eléctrico nacional, en pesos cubanos.
- Prestar servicios de consultoría en dirección y planificación de mantenimiento industrial, en pesos cubanos.
- Realizar estudios de diagnóstico industrial, calderas y equipos rotatorios, en pesos cubanos.
- Brindar servicios técnicos, de reparación y mantenimiento a equipos estáticos y rotatorios, así como electrónicos, de comunicaciones y de automática, en pesos cubanos.
- Realizar la comercialización mayorista del excedente de agua desmineralizada, vapor e hidrógeno, así como escoria residual de las calderas y residuales de la producción de agua desmineralizada, en pesos cubanos.
- Prestar servicios de calibración de equipos de medición, en pesos cubanos y pesos convertibles, al costo.
- Prestar servicios técnicos especializados de mecánica, eléctrica y automática, en pesos cubanos.
- Prestar servicios técnicos químicos especializados, en pesos cubanos.

- Comercializar de forma mayorista productos ociosos o de lento movimiento, en pesos cubanos.
- Comercializar de forma mayorista chatarra al Sistema de la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas, en pesos cubanos y pesos convertibles.
- Prestar servicios de transportación de carga por vía automotor, en pesos cubanos.
- Brindar servicios de alimentación a sus trabajadores y de otras entidades que participen en la Modernización, Reparación y Mantenimiento a las Unidades Generadoras en pesos cubanos.

El domicilio social radica en Carretera a O'Bourke # 914, Zona Industrial No. 1, municipio y provincia de Cienfuegos.

Los servicios que brinda la ETE Cienfuegos son los siguientes:

1. Generación de energía eléctrica.
2. Mantenimiento de equipos primarios, secundarios y en la Subestación.

El volumen anual de ventas alcanza valores de alrededor de 21,0 MMP.

La capacidad de generación instalada alcanza un total de 316 MW, los cuales son generados con Petróleo Combustible Pesado BV.

La distribución de la capacidad instalada es como sigue:

ETE Cienfuegos	CMC 3 [MW]	CMC 4 [MW]
Unidades Japonesas	158	158

Otros equipos de producción, instrumentos y sistemas de control:

El proceso de generación de energía eléctrica en la Unidad # 3 dispone de un moderno software de supervisión de procesos, conocido por TITAN (Sistema Tipo SCADA), que permite de manera ininterrumpida salvar en un servidor datos en soporte digital.

En la Unidad # 4, después de la modernización está instalado un Sistema Experto de Control Distribuido de la firma alemana ABB denominado Procontrol P14.

Características tecnológicas, como pueden ser laboratorios, oficina técnica o sistemas informáticos:

La ETE Cienfuegos dispone de un laboratorio químico para la realización de pruebas y ensayos para comprobar la calidad del agua, combustibles y aceites que se utilizan en la generación de energía eléctrica. Está equipado con los medios técnicos y materiales adecuados como son los reactivos químicos que garantizan una alta confiabilidad en los análisis que se realizan.

Entre su equipamiento más novedoso podemos mencionar un espectrofotómetro, modelo Cary 50, para el análisis del combustible (detección de vanadio), del agua (detección de hierro y fósforo); un potenciómetro con microprocesador incorporado para la determinación del número total base de aceite (TBN) y una bomba calorimétrica para determinar el valor calórico del combustible.

Existen seis (6) servidores profesionales encargados de lograr las conexiones entre las máquinas computadoras, tener acceso a Internet y a Intranet, así como la entrada y salida de correos ya sean nacionales o internacionales, en ellos también se guarda información de interés de los usuarios de la Empresa y las instalaciones de programas, las cuales son de uso general.

Misión:

La Central Termoeléctrica Cienfuegos, forma parte del Sistema Eléctrico Nacional, dedicada básicamente a generar y suministrar energía eléctrica para satisfacer los requerimientos y necesidades crecientes de nuestros clientes, con un alto nivel de profesionalidad, garantizando el necesario equilibrio con el entorno y el Medio Ambiente.

Visión:

Trabajar por colocarse como entidad de referencia dentro del sistema UNE-MINBAS, siendo la Central Termoeléctrica más rentable y eficaz en el ámbito nacional con sólidos valores y una alta profesionalidad y profundo sentido de pertenencia, caracterizándonos además por una elevada optimización y desarrollo de los Recursos Humanos, y gestionando la protección al Medio Ambiente.

Descripción de la Estructura Organizacional.

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos está compuesta por la Dirección General, 3 direcciones funcionales y 6 Unidades Empresariales de Base presupuestadas, el organigrama correspondiente se muestra en la figura No 2.1. Esta estructura se puede clasificar como lineal funcional, en la misma se aprecian las relaciones de mando y control que se establecen. La plantilla general de la empresa es de 471 trabajadores de los cuales 32 son militantes de la juventud (UJC) y 95 son militantes del partido (PCC).

Los jefes se subordinan al Director y las autoridades y responsabilidades de esas áreas se establecen en las respectivas Descripciones Organizativas de la empresa.

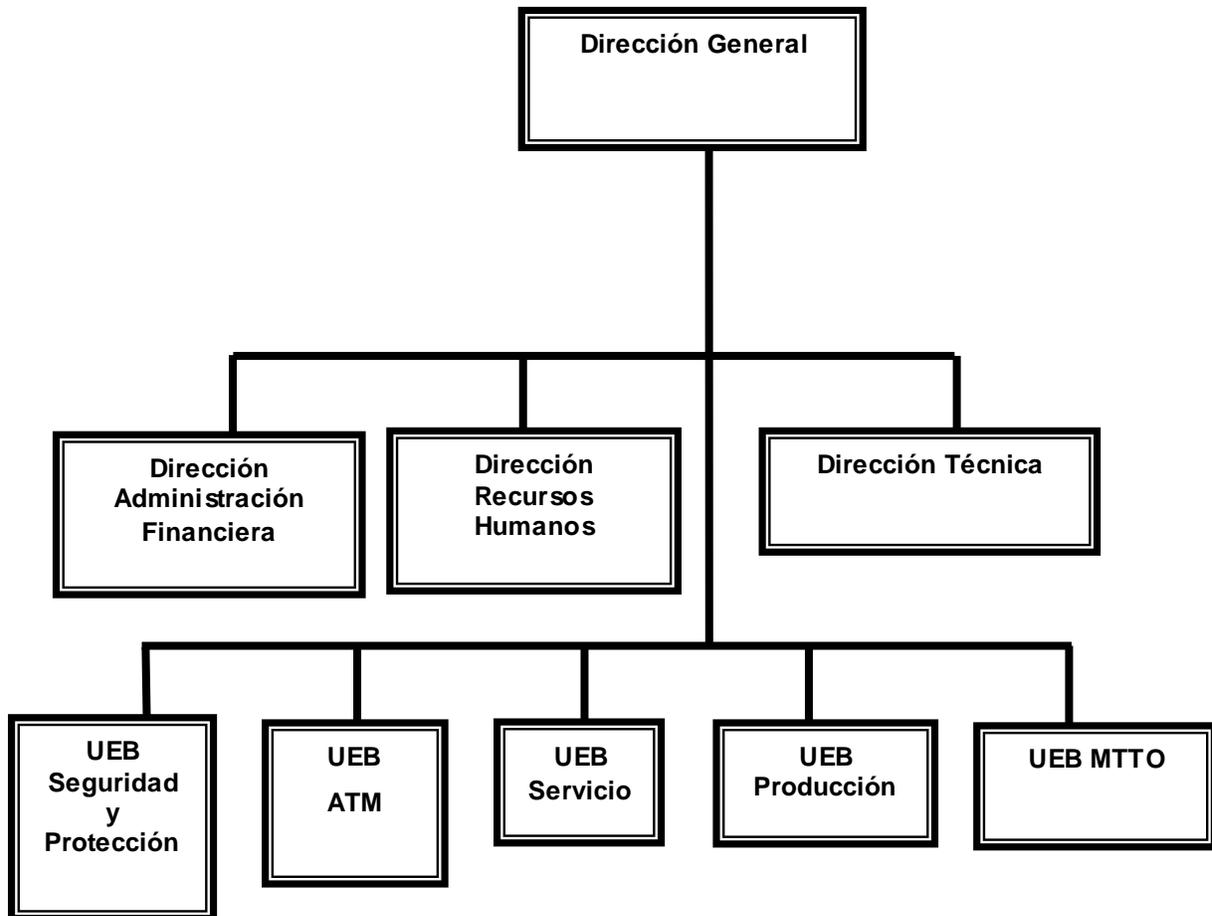


Figura 2.1: Organigrama de la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Necesidades de Estudio.

La Empresa Termoeléctrica Cienfuegos es de vital importancia, debido a su situación estratégica en el centro de la isla, para el desarrollo económico del país y de la provincia de Cienfuegos, la misma debe garantizar la producción constante y estable de energía eléctrica al futuro Polo Petrolero en vías de creación y expansión y mantener la producción cementera, de alimentos, el desarrollo del puerto pesquero, entre tantas otras, bases económicas y fuentes empleadoras de la provincia.

Las Unidades generadoras situadas muy cerca de la ciudad de Cienfuegos, en franca expansión poblacional y a orillas de la bahía del mismo nombre, una de las más limpias y de mayor cantidad de ecosistemas en el país, producen anualmente un promedio de 1497728 MW de energía eléctrica utilizando para su producción un

promedio de 209494,715 ton de combustible fuel y 515 ton de diesel ligero, la Figura 2.2 muestra los consumos de combustible fuel por unidades en el período comprendido entre los años 2008 al 2010.

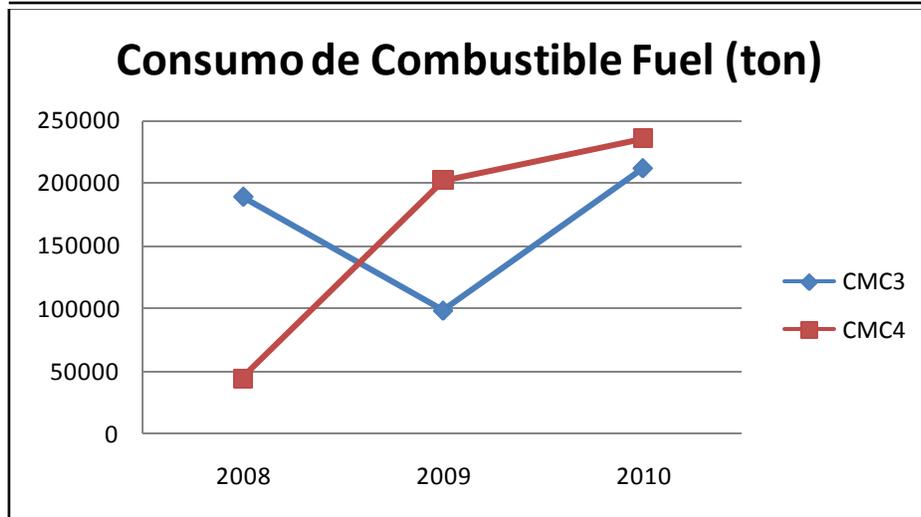


Figura 2.2: Consumo de combustible fuel por Unidades Generadoras (2008-2010). Fuente: Elaboración Propia.

También se utiliza, como sustancia del proceso fundamental, un promedio de 150622 m³ de agua tratada, la Figura 2.3 muestra el consumo de agua tratada por unidades en el período comprendido entre los años 2008 al 2010.

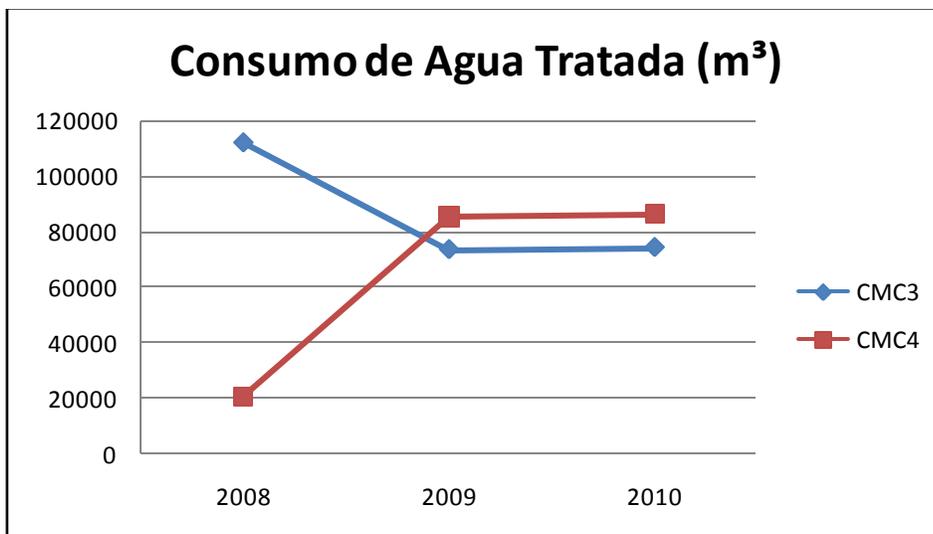


Figura 2.3: Consumo de agua tratada por Unidades Generadoras (2008-2010). Fuente: Elaboración Propia.

Como residuos de la producción de energía eléctrica se generan como promedio al medio ambiente 1002318 g de CO₂ por MW generados, 1514 g de NO_x por MW generados y 600 mg/Nm³ de partículas sólidas totales (PST), los valores de las emisiones de CO₂ y NO_x por unidades comprendidas entre los años 2008 al 2010 se muestran en las Figuras 2.4 y 2.5, respectivamente.

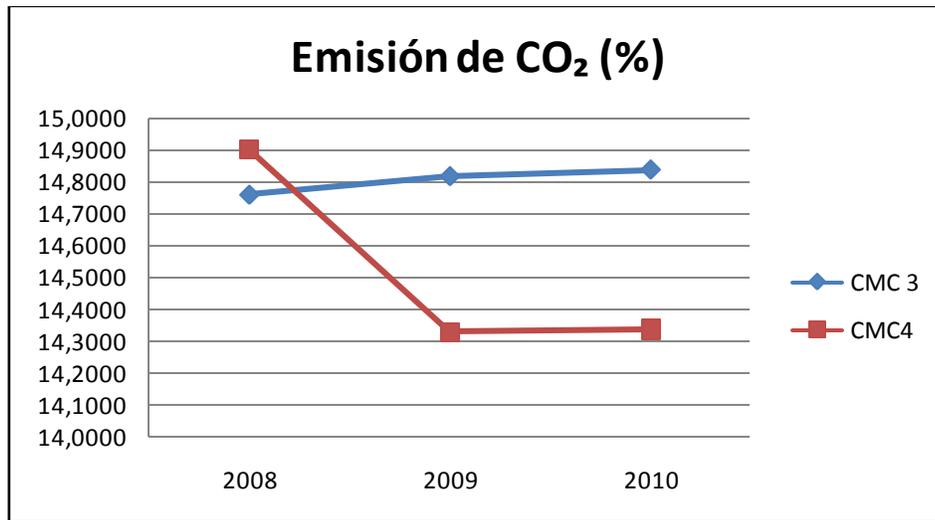


Figura 2.4: Comportamiento de la emisión de CO₂ por Unidades Generadoras (2008-2010).

Fuente: Elaboración Propia.

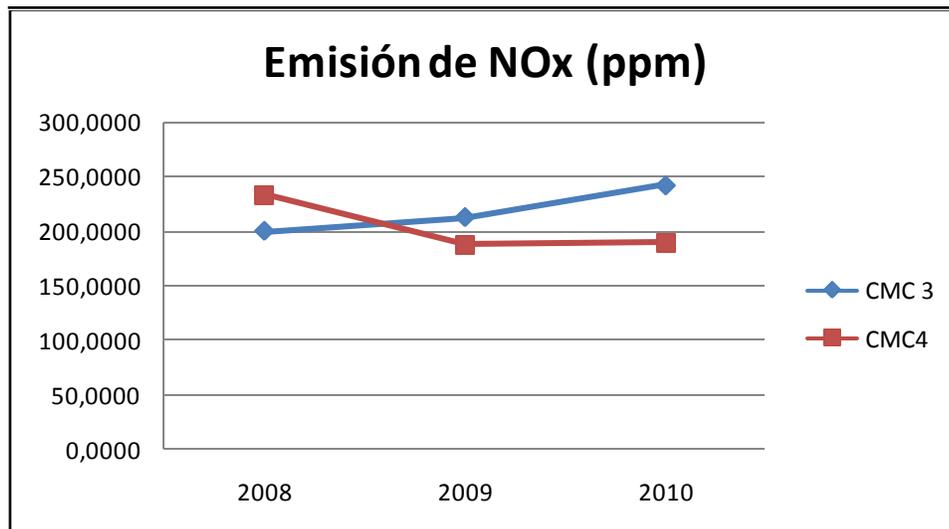


Figura 2.5: Comportamiento de la emisión de NO_x por Unidades Generadoras (2008-2010).

Fuente: Elaboración Propia.

En los años 2009 y 2010 la Unidad CMC3 consumió aproximadamente 11 000 ton de más de combustible por año si la comparamos con la Unidad CMC4, ambas unidades consumieron 70 m³ diarios de más de agua tratada y generaron 129 000 000 m³ de más de gases de efecto invernadero (CO₂).

Se produjeron además 40 ppm de más de óxidos nitrosos (NO_x) y 300 mg/Nm³ de más de partículas sólidas totales (PST).

A causa de esto es de vital importancia el estudio del impacto que tiene sobre el medio ambiente la producción de energía eléctrica considerando todos los factores involucrados en el Análisis del Ciclo de Vida de la producción de electricidad desde los recursos primarios hasta los contaminantes ya que este estudio nunca se había realizado en una planta termoeléctrica en el país, además, el estudio provee una fuente de mejoras para mitigar los impactos, disminuir los consumos de combustibles fósiles no renovables y del agua así como de las posibles enfermedades carcinogénicas.

2.4- Procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El ACV es un proceso que puede dividirse en 4 etapas, definición del objetivo y alcance, análisis del inventario del ciclo de vida, evaluación del impacto del ciclo de vida y análisis de mejoras tal y como se muestra en la Figura 2.6.

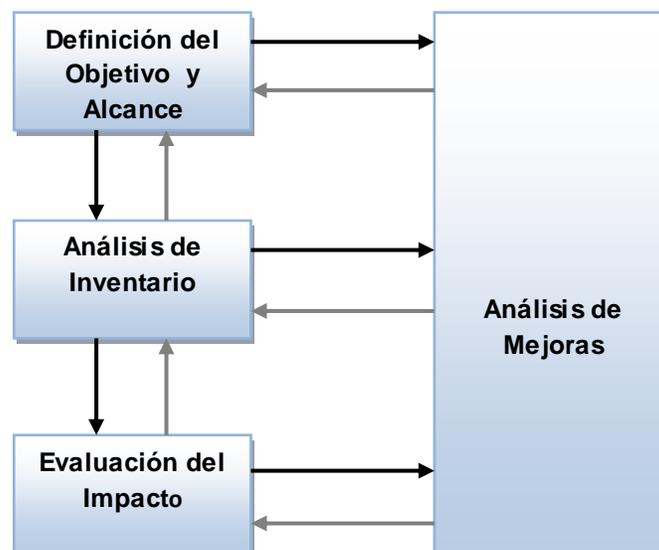


Figura 2.6: Las Etapas del un ACV de acuerdo a la NC ISO 14040

A continuación se describe cada una de las etapas básicas para el desarrollo de la herramienta de ACV según se muestra en las normas NC-ISO 14 040, NC-ISO 14 041, NC-ISO 14 043.

2.4.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.

Como primer paso del ACV el objetivo y alcance deben definirse claramente y ser consistentes con la aplicación que se persigue por lo que deben tenerse presente los siguientes aspectos descritos por la Norma NC-ISO 14 040:1999.

- Definir el objetivo del estudio:

El objetivo de un estudio de ACV debe indicar sin imprecisión la aplicación que se persigue, las razones para realizar el estudio y el destinatario a quien se le comunican los resultados del estudio.

- Definir el alcance del estudio:

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente de lo que se ha considerado como sistema (producto), a su vez, pueden ser comparados sistemas que se relacionan entre sí considerando la unidad funcional que se va a analizar como base para este análisis, el alcance en un estudio de ACV debe ser capaz de abarcar, en función de su definición, la profundidad, los detalles y la compatibilidad para lograr los objetivos previstos en el mismo.

Cuando se define el alcance de un estudio de ACV deben ser considerados y descritos claramente los límites del sistema, los procedimientos de asignación, los impactos, teniendo en cuenta la metodología que se utiliza para su evaluación, y la interpretación de esta, los datos con los que se va a trabajar y los requisitos con que debe contar para que el estudio tenga una base informativa con la menor incertidumbre, la hipótesis planteada para la ejecución del estudio, las limitaciones con que se cuenta para que este se lleve a cabo, el tipo y formato del informe a realizar tratando que este sea lo más detallado y que tenga la compatibilidad y profundidad requerida para alcanzar los objetivos propuestos.

Es además muy importante entender que un estudio de ACV es, en primer lugar, una técnica iterativa por lo que debe ser modificado durante la ejecución del mismo siempre que se vaya obteniendo información adicional.

Definir función y unidad funcional.

La unidad funcional define como se cuantifican las funciones que han sido identificadas, es muy importante que estas funciones sean consistentes con el alcance propuesto en el estudio y que sean capaces de alcanzar los objetivos propuestos.

Una unidad funcional nos da una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema (producto), su propósito principal es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizadas todas las entradas y salidas, con esto se logra la comparabilidad de los resultados asegurando de esta forma que al analizar distintos sistemas las comparaciones se hagan sobre una base común.

La unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos: La identificación de las funciones del producto, la selección de una función y la determinación de la unidad funcional, así como la identificación del desarrollo del producto y la determinación del flujo de referencia como medida de las salidas necesarias de los procesos en un sistema (producto) dado para el cumplimiento de la función expresada por la unidad funcional.(Cordero hernández, Arahít and Pérez Noa, Carlos 2010).

Para definir la unidad funcional se deben tomar en cuenta aspectos como, la eficiencia del producto, la durabilidad del producto, y el estándar de calidad de desempeño.

El carácter descriptivo de las respuestas a estas cuestiones representa un importante paso documental. En el informe se definen compromisos y responsabilidades para garantizar el empleo ético de los resultados, como también los niveles de accesibilidad de estos resultados.

Definir los límites del sistema.

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios se deberán incluir dentro del ACV. Existen varios factores que determinan los límites del sistema como son:

- La aplicación prevista del estudio que se va a realizar.
- Las hipótesis planteadas.
- Los criterios que se han tomado para la exclusión de determinados factores y condiciones fuera de los límites de análisis.
- Los datos que serán validados y procesados.
- Las limitaciones económicas para la ejecución del estudio.
- El destinatario final que ha sido previsto para recibir el estudio.

La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y la modelación del sistema deberán ser consistentes con el objetivo del estudio. El sistema debería modelarse de modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. En muchos casos no existirá tiempo suficiente, datos o recursos para efectuar un estudio tan completo. Deben tomarse decisiones respecto a qué proceso unitario será modelado y el nivel de detalle con que estos procesos unitarios serán estudiados, Los criterios usados para establecer los límites del sistema deberán identificarse y justificarse en la fase de alcance del estudio. Si esto no se realiza adecuadamente pueden ser tomados para el análisis flujos secundarios y datos relacionados con ellos, esto solo retrasa el estudio y eleva el nivel de incertidumbre en la modelación del sistema.

Requisitos de calidad de los datos.

Los requisitos de calidad de los datos especifican en términos generales las características de los datos necesarios para el estudio, si los datos no son tomados de fuentes comprobadas y validadas obligatoriamente nos llevaran a errores y resultados que van a diferir de lo que verdaderamente se requiere como objetivo a alcanzar en el estudio de ACV.

Los requisitos de calidad de los datos deben cubrir la cobertura temporal de los mismos, es decir, durante que límite de tiempo van a ser tomados estos datos y la

duración mínima para su compilación, la cobertura geográfica, esta enmarca el área geográfica donde se van a tomar los datos para el estudio, la cobertura tecnológica, mezcla de tecnología a estudiar dándonos esta la situación ponderada de los procesos a estudiar como una comparación media ponderada de las mejores tecnologías y de las peores unidades de operación enmarcadas en el proceso de estudio.

Es necesario también tener en cuenta otros descriptores que definan la naturaleza de los datos, tales como datos compilados en sitios específicos con relación a los datos de fuentes publicadas, y si es conveniente medir, calcular o evaluar los datos.

Es importante, a su vez, que los datos sean representativos, amplios y precisos, que la fuente de los datos este validada y con la menor incertidumbre posible y que los métodos usados para el estudio de ACV tengan consistencia y reproducibilidad.

2.4.2 Etapa 2: Análisis de Inventario.

El análisis del inventario comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema producto. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema. Las interpretaciones pueden obtenerse de esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV.

Los datos cualitativos y cuantitativos para su consideración en el inventario deben obtenerse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema. El análisis del inventario dentro de un estudio de ACV es iterativo, por tanto, a medida que se profundiza en el estudio se van incorporando nuevos datos y funciones relacionadas con esto y se van obteniendo nuevas limitaciones y nuevos requisitos a tal punto que en muchas ocasiones se deben cambiar los procedimientos que se utilizan para la obtención de los mismos y de esta forma poder cumplir el objetivo previsto, en muchas ocasiones este objetivo debe ser redefinido al cambiar los alcances por la inclusión de nuevos datos que fueron apareciendo durante el desarrollo del estudio.

Recolectar los datos.

La compilación de los datos exige un conocimiento completo de cada proceso unitario. Para evitar los conteos dobles o los olvidos, la descripción de cada proceso unitario debe ser registrada. Esto implica una descripción cuantitativa y cualitativa de las entradas y de las salidas necesarias para determinar el inicio o el fin del proceso unitario, así como la función del proceso unitario. Cuando el proceso unitario tiene entradas múltiples (por ejemplo, entradas múltiples de efluentes hacia una instalación de tratamiento de agua) o salidas múltiples, los datos que conciernen a los procedimientos de asignación deben ser documentadas y comunicadas. Las entradas y salidas de energía deben ser cuantificadas en unidades de energía. En su caso, la masa o el volumen de combustible deben igualmente ser cuantificados en la medida de lo posible.

Para los datos compilados de documentos publicados que son significativos para las conclusiones del estudio, es necesario hacer referencia a los documentos publicados que dan precisiones sobre el procedimiento de compilación de los datos. (Cordero Hernández, Arahít and Pérez Noa, Carlos 2010).

Construir los diagramas de procesos:

La construcción de los diagramas de proceso es un paso vital para la comprensión y el análisis detallado de un ACV, un diagrama de procesos muestra las entradas, salidas y la concatenación de estas en un proceso determinado, a su vez pueden ser apreciados los datos que están siendo evaluados y el entorno en que se enmarcan estos datos, si el diagrama está bien realizado muestra a su vez los límites del sistema (producto).

Se recomienda describir inicialmente cada proceso unitario para definir, el comienzo del proceso al conocerse las entradas en forma de materias primas y de los productos intermedios que intervienen en el mismo, pueden describirse a su vez, las operaciones y transformaciones que ocurren dentro de cada proceso unitario y en función de las salidas que genera cada uno donde es que este termina y cuáles son los productos intermedios y finales.

Es importante describir la interrelación entre los determinados sistemas producto y las asignaciones de cada una de ellas, el sistema debe ser descrito de una forma que pueda ser entendido por cualquier otra persona que vaya a realizar un análisis del mismo.

Las principales categorías de entradas y de salidas cuantificadas por la norma son:

- Entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas, el cálculo del flujo de energía debería considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía.
- Productos, en el caso que se trabaje con varios de ellos se deben realizar procedimientos de asignación.
- Emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo, otros aspectos ambientales, estas deben ser asignadas a los diferentes productos de acuerdo a procedimientos claramente establecidos.

Estas categorías enmarcan una calificación para satisfacer el objetivo del estudio por lo tanto las diversas categorías de datos deben ser ampliamente detalladas.

Las entradas y salidas de energía deben ser tratadas como cualquier otra entrada o salida de un ACV.

Las entradas y salidas de energía comprenden varios tipos: las entradas y salidas vinculadas a la producción y a la entrega de combustibles, energía de alimentación y energía de procesos utilizada dentro del sistema modelado.

Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones. Esta categoría debe comprender, cuando son significativas, las emisiones fugitivas. Pueden también ser utilizados parámetros indicadores, por ejemplo, emisión de dióxido de carbono (CO₂).

Procesar los datos.

Cuando se concluye la compilación de los datos, son necesarios procedimientos de cálculo con el fin de producir los resultados del inventario del modelo definido para cada proceso unitario y para la unidad funcional del sistema producto a modelar. Durante la determinación de los flujos elementales asociados con la producción de electricidad, debe considerarse la producción mixta y las eficiencias de combustión, conversión, transmisión y distribución.

Las hipótesis deben ser claramente establecidas y justificadas.

En la medida de lo posible, es conveniente que la producción mixta real sea utilizada, con el fin de reflejar los diferentes tipos de combustibles utilizados. Las entradas y salidas relativas a un material combustible, por ejemplo petróleo, gas o carbón, pueden ser transformadas en entradas y salidas de energía multiplicándolas por el valor calórico de combustión apropiado. Si es utilizado el poder calórico superior o inferior, es conveniente aplicar el mismo modo de cálculo sin excepción a todo lo largo del estudio.

Si no se conocen todos los datos del proceso se recomienda realizar balances de masa en cada etapa del proceso hasta contar con toda la información necesaria para el posterior desarrollo de la investigación.

Todos los procedimientos de cálculo deben ser documentados explícitamente.

2.4.3 Etapa 3: Evaluación del impacto.

La Evaluación del Impacto de un Ciclo de Vida (EICV) tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, y de esta forma cuantificar posibles impactos medioambientales.

La EICV, como parte del ACV global puede, por ejemplo, ser usada según la NC ISO 14042:2001 para:

- Identificar las oportunidades de mejora de un sistema producto y ayudar en la priorización de ellas.

- Caracterizar o comparar un sistema producto y sus procesos unitarios a lo largo del tiempo.
- Hacer comparaciones relativas entre sistemas producto basadas en indicadores de categoría seleccionados.
- Indicar cuestiones ambientales donde otras técnicas pueden proveer datos ambientales complementarios e información útiles para quienes tienen que tomar decisiones.

El marco general de la fase EICV está compuesto de varios elementos obligatorios que convierten los resultados del ICV en resultados del indicador. Además, hay elementos opcionales para la normalización, la agrupación o la ponderación de los resultados del indicador y las técnicas de análisis de la calidad de los datos. La fase de EICV es solamente una parte del estudio completo del ACV y debe ser coordinada con las otras fases.

La EICV consta con elementos obligatorios que son descritos por la norma NC-ISO 14042:2001 estos elementos obligatorios incluyen la selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización, asignación de los resultados del análisis del inventario (Clasificación) y los cálculo de los indicadores de categoría (Caracterización), como se puede observar en la Figura 2.7 existen elementos de análisis opcionales como son el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría en relación con la información de referencia (Normalización), agrupación, ponderación y análisis de calidad de los datos.

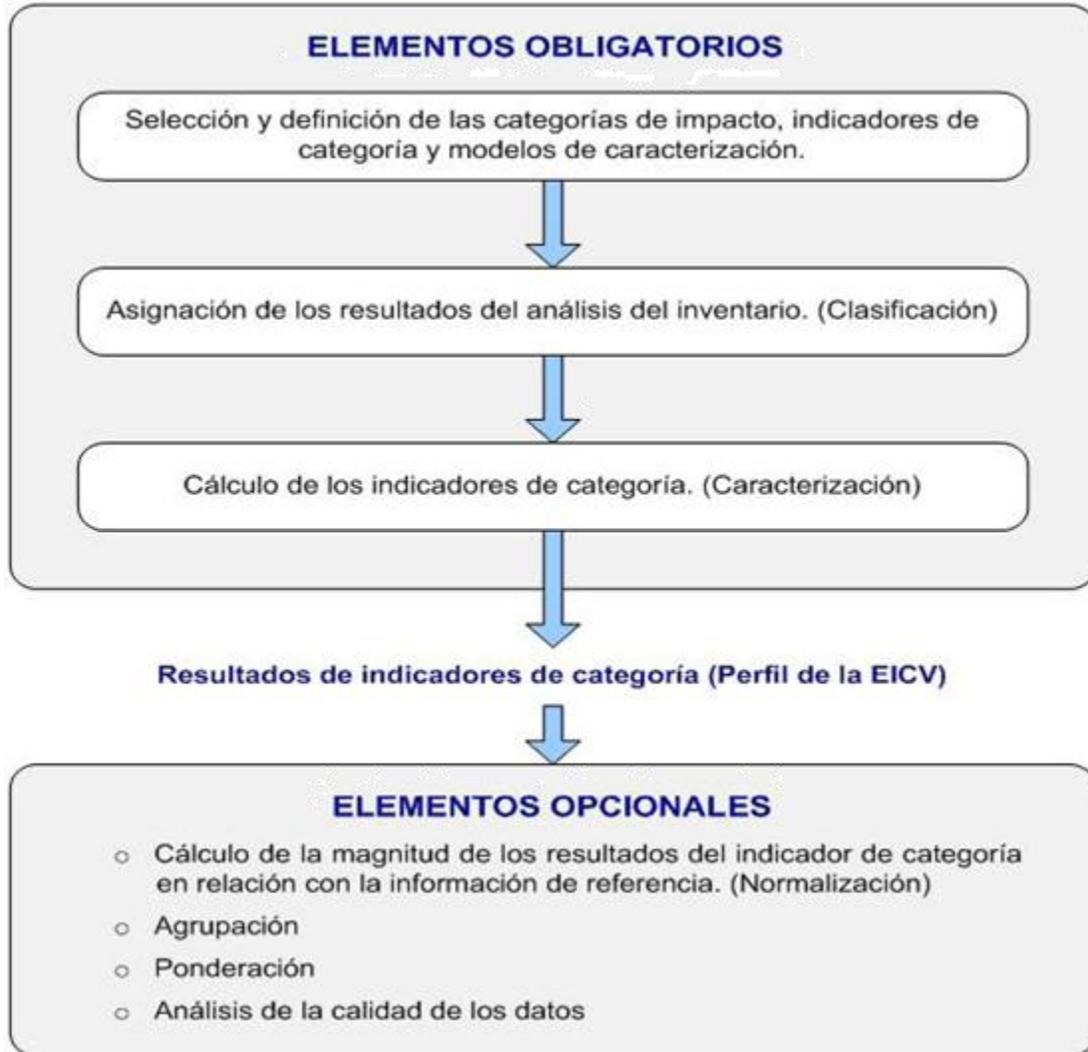


Figura No. 2.7: Elementos que componen la valoración del impacto del ACV. Fuente: (NC ISO 14 042: 2001).

Descripción de los Elementos de una EICV.

- **Definir las categorías de impacto.**

Las categorías de impactos son los efectos producidos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema producto analizado y serán seleccionados en función del potencial de impacto que pueden ser generados por el sistema producto siendo estos los objetivos y el alcance por los cual se está realizando el estudio.

Las categorías de impactos medioambientales son agrupados en función de parámetros asociados a los flujos de entrada y salida, la selección de dichas categorías de impacto, los indicadores de categoría y los modelos de caracterización de las mismas deberán ser coherente con la meta y el alcance del estudio del ACV, Estas categorías, a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: global, regional o local, la selección de las categorías de impacto deberá ser el reflejo de un amplio conjunto de cuestiones ambientales relacionadas con el sistema producto que se está estudiando, teniendo en cuenta la meta y el alcance esperado.

- **Clasificar resultados del análisis del inventario.**

El procedimiento consiste en asignar los estudios del ICV a las distintas categorías y así poder resaltar las cuestiones ambientales asociadas con los resultados del ICV, de esta forma son vistas y asignadas la totalidad de las cargas ambientales del sistema tratado.

La fase puede incluir, entre otros, elementos como:

- La asignación de los resultados del ICV que sean exclusivos de una categoría de impacto.
- La identificación de los resultados del ICV que se relacionen con más de una categoría de impacto.
- La distinción entre mecanismos paralelos, por ejemplo, el SO₂ es asignado entre las categorías de impacto salud humana y acidificación.
- La asignación entre mecanismos seriados, por ejemplo, los NO_x pueden ser asignados a la formación de ozono a nivel de superficie terrestre y a la acidificación.

- **Calcular los indicadores de categoría.**

Para calcular los resultados de los indicadores de categoría conocidos comúnmente como Caracterización, se aplican los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medioambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, seleccionadas según los objetivos del estudio, será necesario realizar la cuantificación de la referida categoría. Así, asignados (fase de clasificación

del ACV) las sustancias contaminantes a un determinado modelo de categoría de impacto, todas las sustancias que contribuyen a esta categoría serán reducidas a una única sustancia de referencia y que servirá de base de agregación de todos los resultados en esta categoría de impacto. El cálculo implica la conversión de los resultados del ICV a unidades comunes y la agregación de los resultados convertidos dentro de la categoría de impacto. En esta conversión se usan factores de caracterización. El resultado final del cálculo es un resultado indicador numérico.

En consecuencia, el resultado de la caracterización es la expresión de contribución a determinada categoría de impacto que, basándose en la cantidad de emisiones de sustancias equivalentes para cada categoría de impacto, mide la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en aquella categoría de impacto que se desea o fue escogida para evaluar.

2.4.3.1 – Métodos para evaluar el impacto ambiental.

En la investigación se procederá a comparar tres métodos distintos para evaluar el impacto ambiental, con los cuales se realizará cada paso descrito anteriormente. Estas metodologías son: Ecoindicador 99, IMPACT 2002+ y Eco-Speed; estas metodologías están enfocadas a categorías de daño o puntos finales.

A continuación se describen las metodologías a utilizar:

2.4.3.1.1 Eco-indicador.

Objetivo principal: comparar las diferencias relativas entre sistemas y sus componentes.

Se enfoca a categorías finales o de daños. Determina un solo valor que indica el impacto ambiental total basado en los efectos calculados (ICV). Cumple con los requisitos de las normas ISO 14 040 – 14 044. Los valores de los Eco-Indicadores son cifras sin dimensión. Como base se utiliza el punto Ecoindicador (Pt). El valor de

1Pt representa una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio europeo.

El método de evaluación para calcular el Eco-Indicador se enfoca en los efectos de emisiones en el ecosistema. Los objetivos se basan en datos científicos sobre daños medioambientales y no en declaraciones políticas. El valor de los objetivos son relacionados a tres tipos de daños medioambientales: deterioro de ecosistemas, deterioro de la salud humana, daño a recursos minerales y fósiles; y 11 categorías de impacto que son: carcinógenos, respiración de orgánicos, respiración de inorgánicos, cambio climático, radiación, agotamiento de la capa de Ozono, ecotoxicidad, acidificación, eutroficación, uso de la tierra, minerales y combustibles fósiles.

Caracterización.

Multipliación del factor de caracterización por el tamaño de la intervención (emisión, extracción, uso de suelo).

$$S_j = \sum Q_{ji} m_i$$

Donde:

- S_j : Resultado del indicador.
- j : Categoría de impacto.
- m_i : Tamaño de la intervención de tipo i (masa de una sustancia emitida).
- Q_{ji} : Factor de caracterización que relaciona la intervención i con la categoría j .

Normalización.

Consiste en 2 pasos:

1. Encontrar las emisiones totales y consumo de recursos de un sistema durante un periodo de referencia (usualmente un año).
2. Calcular las categorías de impacto utilizando los factores normalizados.

La fórmula se muestra en la ecuación 2.1:

$$N = RI_{cat} / VR_{cat} \quad (2.1)$$

Donde:

- RI cat: Resultado obtenido de cada categoría de año
- VR cat: Valor de referencia

2.4.3.1.2 Impact 2002+

Es una metodología originalmente desarrollada en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, esta metodología propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños, vincula todos los tipos de resultados del inventario de ciclo de vida con cuatro daños de categorías (salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos) a través de 14 puntos intermedios: efectos respiratorios, toxicidad humana, oxidación fotoquímica, deterioro de la capa de Ozono, ecotoxicidad acuática y terrestre, acidificación, eutroficación, uso de la tierra, calentamiento global, extracción de minerales, energías no renovables y radiaciones ionizantes.

Caracterización.

Los factores de caracterización de daños pueden ser obtenidos al multiplicar el punto intermedio potencial de caracterización con los factores de caracterización de daño de las sustancias referenciadas.

Normalización.

La idea de normalización es analizar la parte respectiva de cada impacto al daño total por aplicar factores de normalización a puntos intermedios o clases de impactos de daños para facilitar la interpretación. El factor normalizado es determinado por el radio de impacto por unidad de emisiones dividido por el total de impactos de todas las sustancias de la categoría específica para la cual existen factores de caracterización, por persona por año. La unidad de todos los factores de punto intermedio o daño normalizado es por lo tanto el número de personas equivalentes afectadas durante un año por unidad de emisión.(Jolliet, Olivier, Margni, Manuele, and Colectivo de Autores 2003)

En la ecuación 2.2 se muestra un ejemplo del uso de este método para el cálculo que tienen los impactos toxicológicos no cancerígenos sobre la salud humana.

$$\beta_{human} = \frac{0.1}{ED_{10}} \times \frac{1}{BW \times LT_h \times N_{365}} \quad (2.2)$$

Donde:

- B_{human} : Factor de efecto sobre la salud humana (Riesgo de un incidente por kg de ingestión acumulativa).
- ED_{10} : Dosis de referencia resultante en un 10% de efecto sobre el ambiente (mg/kg/día).
- BW : Promedio del peso corporal en determinada población (kg/personas).
- LT_h : Promedio de vida humana en determinada población en años (años).
- N_{365} : Número de días por año (días/años).

2.4.3.1.3 Eco-Speed.

Este método presentado por MSc. Ing. Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Latinoamericana de Análisis de Ciclo de Vida. Utiliza funciones de velocidad de agotamiento en la mayoría de sus categorías de impacto, de ahí el nombre de Eco-velocidad.

Otra de las características distintivas del método resulta la aplicación de técnicas de estimación para el completamiento de las categorías de impacto, incluyendo en ellas la mayor cantidad posible de sustancias identificadas por otros métodos como que afectan el mecanismo ambiental medido por la misma.

Caracterización.

Eco-Speed cuenta con 3 categorías de daño, las que son afectadas por 13 categorías de impacto, la forma en que se relacionan se representa en la Figura 2.8. En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, utilizando una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la

cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado, como se presentan a continuación para cada una de las categorías de daño y de impacto.

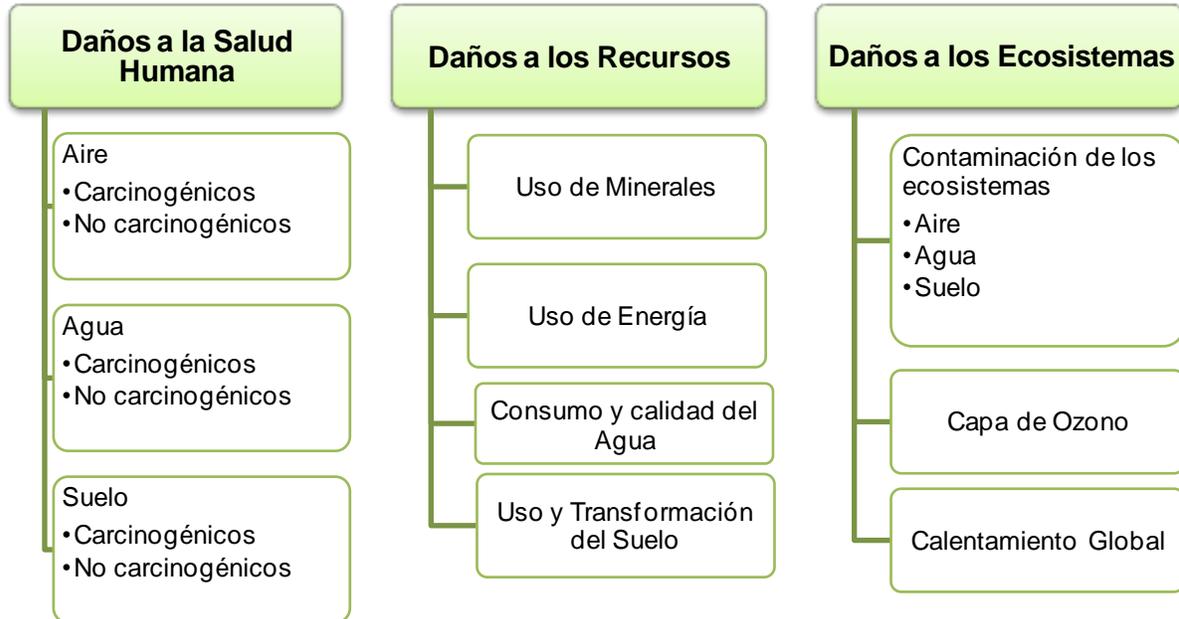


Figura No 2.8: Relaciones entre las categorías de Impacto y de daño en el método Eco-Speed.

Fuente: (Rodríguez, 2010)

1.- Categoría de daño: Daños a la Salud Humana (Damages to Human Health).

Esta categoría de daño representa la cantidad de casos de problemas de salud, que probablemente se presenten en el horizonte de tiempo definido. Está determinado por la suma de los impactos potenciales que se generan por la emisión de sustancias carcinogénicas y no carcinogénicas al aire, agua o suelo. Su forma de cálculo se representa en la ecuación 2.3

$$HE = CA + NCA + CW + NCW + CS + NCS \quad (2.3)$$

Donde:

- HE: Indicador de daños a las personas en función del agotamiento
- CA: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el aire.

- NCA: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el aire.
- CW: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el agua.
- NCW: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el agua.
- CS: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el suelo.
- NCS: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el suelo.

A continuación se describen las categorías de impacto incluidas en esta categoría de daño.

- **Categoría de impacto:** Carcinogénicos en el aire, el suelo y el agua y No Carcinogénicos en el aire, el suelo y el agua.
- Cada categoría incluye los impactos potenciales de las emisiones de sustancias carcinogénicas y no carcinogénicas al aire, al suelo y al agua. Los factores utilizados se componen inicialmente de los calculados por el modelo USETox para las sustancias incluidas en (Rosenbaum, y otros 2008), a las que se adicionaron las demás sustancias contenidas en categorías similares de los métodos: Eco-Indicador 99 (en sus tres versiones), Impact 2002+, TRACI y EDIP, de las cuales se pudieron establecer estimaciones de sus factores de caracterización para el modelo USETox. El trabajo de la estimación posibilita la utilización de la mayor cantidad de sustancias para cada una de estas categorías.

Los factores de caracterización para cada sustancia representan los casos potenciales de problemas de salud que provocan por cada kg de las sustancias emitidas al aire, al suelo y al agua, su unidad de medida está dada por Casos/kg y estos factores son unidades comparativas que permiten relacionar la importancia de una sustancia con otra.

La forma de cálculo del indicador para cada categoría se representa a continuación en la ecuación 2.4.

$$\left. \begin{array}{l} \text{NCA} \\ \text{CA} \\ \text{NCW} \\ \text{CW} \\ \text{NCS} \\ \text{CS} \end{array} \right\} = \sum_{i=1}^n (CF_i * m_i) \quad (2.4)$$

Donde:

- CA: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el aire.
- NCA: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el aire.
- CW: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el agua.
- NCW: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el agua.
- CS: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el suelo.
- NCS: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el suelo.
- CF_i : Factor de Caracterización para la sustancia “i” para cada categoría.
- M_i : Masa emitida de la sustancia “i” para cada categoría.
- n: cantidad de sustancias incluidas en cada categoría.

2.- Categoría de daño: Consumo de los recursos (Resources Consumption).

Para el desarrollo de esta categoría se utilizaron las informaciones provistas por varios organismos internacionales, dedicados a la manipulación de datos estadísticos relacionados, entre ellos los más importantes consultados son: (United Nations

2010), (DOE/EIA 2009), (Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba 2009) y (EUROSTAT, European comision 2008).

➤ **Categoría de impacto:**

- Para el cálculo de impacto en el uso del agua, se tienen en cuenta las entradas y salidas al sistema de producto analizado, a partir de cada uno de los posibles orígenes, o fuentes de abasto, ya que el cálculo de la categoría se basa en dividir este volumen de agua por la cantidad total disponible de ese mismo tipo de recurso, como se muestra en la ecuación 2.5.

Cantidad usada

$$WU = \sum_{i=1}^n k_i \frac{v_i}{V_i}$$

Contaminación del agua por eutrofización

$$WC = \sum_{i=1}^n m_i \times F_i$$

Factor de caracterización

$$WA = \sum_{i=1}^n k_i \frac{v_{i+(WC)}}{V_i}$$

$$k_i = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\text{volumen de la reserva } i}{\text{volumen total disponible}} \quad (2.5)$$

Donde:

- v_i : representa el volumen de agua proveniente de la fuente "i" utilizado por el proceso.
- V_i : representa el volumen total disponible el 95 % del tiempo que existe de la fuente "i".
- k_i : porciento que representa V_i del total pero restado de 1.
- m_i : masa vertida.
- F_i : factor calculado de agua requerida.

Es decir, que solo se tienen en cuenta para este cálculo las fuentes de agua más estables.

- Para el impacto del uso del suelo se ha considerado proponer una ponderación en dependencia del cambio de uso que se realice al utilizar el suelo. Se basa en las clasificaciones de su productividad, donde se utilizan 4 clasificaciones, muy productivo, productivo, poco productivo y muy poco productivo; estas clasificaciones son las utilizadas por las agencias que proveen los datos utilizados para el cálculo del indicador de la categoría (Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba 2009)(EUROSTAT, European Commission 2008), por eso se mantienen como tal. Su fórmula de cálculo está definida en la ecuación 2.6.

$$SU = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) + \left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) * k_{ij} \right) \quad (2.6)$$

Donde:

- a_{ij} : Área utilizada por el tipo de suelo “i” para el uso “j”.
 - A_i : Área disponible del tipo de suelo “i”.
 - k_{ij} : Factor de ponderación correspondiente al tipo de uso de la tierra.
- El uso de la energía se basa en la división de la masa de los recursos energéticos utilizados, dividiéndolos por la masa de los recursos disponibles, según la ecuación 2.7, la cual representará la velocidad de agotamiento del recurso analizado.

$$EU = \sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{E_i} \right) \quad (2.7)$$

Donde:

- e_i : Representa la masa del recurso energético “i” que se utiliza en el sistema analizado.
 - E_i : Es la masa disponible en reservas probadas del recurso energético “i”.
- El uso de los minerales se basa en la división de la masa de los recursos minerales utilizados, dividiéndolos por la masa de los recursos disponibles, según la ecuación 2.8, la cual representará la velocidad de agotamiento del recurso analizado.

$$MU = \sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i}{M_i} \right) \quad (2.8)$$

Donde:

- m_i : Representa la masa del recurso “i” que se utiliza en el sistema analizado.
- M_i : Es la masa disponible en reservas probadas del recurso “i”.

3.- Categoría de daño: Daños a los ecosistemas (Damages to ecosystems).

Esta categoría de daño se compone de la contaminación emitida a la tierra por los mecanismos ambientales de calentamiento global, capa de Ozono y emisiones al suelo, agua y aire. Su evaluación está dada en los casos de la toxicidad, en funciones de afectación potencial y en los casos de capa de ozono y calentamiento global, están dados en unidades de las sustancias de referencia, CFC-11 y CO₂ equivalentes.

➤ **Categoría de impacto:** Ecotoxicidad del Aire, el Suelo y el Agua.

- Esta categoría incluye los impactos potenciales de las sustancias incluidas en el modelo USETox (Rosenbaum, y otros 2008), a las que se adicionaron las demás sustancias contenidas en categorías similares de los métodos: Eco-Indicador 99 (en sus tres versiones), Impact 2002+, TRACI y EDIP, de las cuales se pudieron establecer estimaciones de sus factores de caracterización para el modelo USETox.

Los factores de caracterización para cada sustancia representan la fracción potencialmente afectada que provocada por cada kg de las sustancias emitidas al aire, al suelo y al agua, su unidad de medida está dada por PAF/kg y estos factores son unidades comparativas que permiten relacionar la importancia de una sustancia con otra.

La forma de cálculo del indicador de la categoría se representa a continuación en la ecuación 2.9.

$$\left. \begin{array}{l} EA \\ EW \\ ES \end{array} \right\} = \sum_{i=1}^n (CF_i * m_i) \quad (2.9)$$

Donde:

- EA: Indicador de daños potenciales por la presencia de sustancias peligrosas en el aire.
 - EW: Indicador de daños potenciales por la presencia sustancias peligrosas en el agua.
 - ES: Indicador de daños potenciales por la presencia de sustancias peligrosas en el suelo.
 - CF_i: Factor de Caracterización para la sustancia “i” para cada categoría.
 - M_i: Masa emitida de la sustancia “i”.
 - n: cantidad de sustancias incluidas en cada categoría.
- En la categoría de impacto al calentamiento global el cálculo de los efectos potenciales que producen las sustancias conocidas como contribuyentes al efecto invernadero, resulta de la multiplicación de la masa emitida con su correspondiente factor de potencial de calentamiento global, estos factores son dados a conocer por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Resultando la fórmula de cálculo como la ecuación 2.10.

$$CC = \sum_{i=1}^n (GWP_i * m_i) \quad (2.10)$$

Donde:

- CC: Representa el indicador de daños potenciales de las sustancias analizadas.
 - m_i : representa la masa emitida de la sustancia “i”.
 - GWP_i : Representa el Potencial de Calentamiento Global de la sustancia “i”.
- En la Capa de Ozono se calculan los impactos potenciales de las sustancias probadas como agotadoras de la capa de Ozono, para este cálculo se utilizan los factores de potencial de agotamiento del Ozono brindados por la organización meteorológica mundial. La ecuación para el cálculo resulta la siguiente:

$$OZ = \sum_{i=1}^n (ODP_i * m_i) \quad (2.11)$$

Donde:

- ODP_i : representa el factor de potencial de agotamiento del Ozono de la sustancia “i”
- m_i : representa la masa de la sustancia “i” emitida.

2.4.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.

El ACV se finaliza con el análisis de todos los datos finales con respecto a sus significados, incertidumbres y sensibilidad sobre los resultados parciales.

En esta última fase los resultados anteriores deben ser reunidos, estructurados y analizados. Aquí debe confeccionarse una estructura de análisis de los resultados, con un análisis de sensibilidad e incertidumbres, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, o en el caso de estudios de análisis del inventario del ciclo de vida, los resultados del análisis del inventario solamente, de acuerdo con el objetivo y alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance del estudio.

La fase de interpretación puede abarcar el proceso iterativo de examen y revisión del alcance del ACV, así como la naturaleza y calidad de los datos obtenidos de acuerdo con el objetivo definido.

Aunque las acciones y decisiones subsecuentes pueden incorporar implicaciones ambientales identificadas en los resultados de la interpretación, se mantienen fuera del alcance del estudio de ACV, en tanto que otros factores, como la realización técnica y los aspectos económicos y sociales también se consideran.

I) Reporte y análisis de mejoras.

En el reporte de la investigación deben definirse:

- Principales emisiones y desechos producidos durante el proceso productivo.
- Posibles problemas ambientales potenciales.
- Soluciones dadas para la minimización o tratamiento de estos residuos y desechos.
- Verificación de la disminución del impacto.
- Análisis de la factibilidad técnica y económica de la propuesta de mejora, si es posible.



CAPÍTULO III

CAPÍTULO III: “APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO”.

En este Capítulo se realiza la evaluación del impacto ambiental en la producción de energía eléctrica en la Termoeléctrica Cienfuegos teniendo como base lo descrito en el Capítulo anterior y sustentados en la norma cubana NC-ISO 14040: 1999, se comparan los resultados obtenidos por los diferentes métodos de análisis propuestos, se proponen mejoras que pueden ser aplicadas de inmediato para la mitigación de dichos impactos y se realiza la valoración económica de dichas mejoras.

3.1 Etapa 1: Definición de objetivos y alcance.

3.1.1 Objetivo General.

Analizar el proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos, dentro del periodo 2008-2010, aplicando el procedimiento de Análisis del Ciclo de Vida, para la identificación de mejoras que sean factibles desde el punto de vista ambiental, económico y técnico.

Objetivos Específicos.

- Elaborar un marco teórico sobre la metodología Análisis de Ciclo de Vida, que sirva como referencia y proporcione las bases conceptuales fundamentales para el desarrollo de la investigación.
- Determinar mediante una comparación el método más adecuado para el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la Energía Eléctrica.
- Realizar un análisis del proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos para identificar las posibles alternativas de mejora.
- Evaluar las mejoras encontradas en el proceso a través de un cálculo técnico, económico y un análisis medioambiental.

3.1.2 Alcance del estudio.

El alcance del estudio contempla los aspectos relacionados con las funciones del sistema estudiado y con el destino final del producto, en este caso, los consumidores nacionales ya sean estatales ó públicos de la energía eléctrica generada.

- Unidad funcional

Como unidad funcional de nuestro sistema tenemos la producción de 1 MWh de energía eléctrica.

Para cada proceso unitario se define una unidad funcional específica que en el caso de la producción de energía eléctrica tiene su basamento, en primer lugar, en la etapa de preparación de los siguientes sistemas:

- Preparación del combustible a quemar: (g) de combustible fuel.
- Preparación del agua cruda para su conversión en agua tratada donde se utilizan productos químicos específicos: (m³) de agua cruda.
- Preparación de los sistemas auxiliares eléctricos del ciclo: Insumo eléctrico (MWh).

En la etapa productiva:

- Producción de energía eléctrica: (MWh) de energía.

- Definición de los límites del sistema.

Los límites del sistema están bien enmarcados “de la cuna a la tumba” ya que comienza con los productos iniciales para la producción de energía eléctrica, combustible, agua y energía eléctrica insumida y termina con la producción de los megavatios puesto en las barras del SEN (Sistema Electroenergético Nacional) y el análisis de los residuos derivados de esta producción. En los límites no se incluye la incorporación de los aditivos al combustible.

Límites geográficos

El Análisis de Ciclo de Vida se limita a la generación de energía eléctrica en la empresa Termoeléctrica Cienfuegos ubicada en la provincia de Cienfuegos.

Límites temporales

El tiempo de análisis incluye los años 2008, 2009 y 2010.

- Calidad de los datos.

Los datos para este análisis han sido seleccionados de una manera exhaustiva del área de indicadores técnico-económicos perteneciente al Grupo de Régimen de la UEB (Unidad Empresarial de Base) de Producción de la Termoeléctrica Cienfuegos, del área Química perteneciente a la misma UEB y del área de Gestión Ambiental perteneciente a la Dirección Técnica, a partir de estos datos se calculan los índices de trabajo de la central formando parte de los sistemas de pagos implantados para cada trabajador de la misma de ahí su estado de validación, cada dato introducido se chequeo contra el enviado en igual período a la UNE (Unión Nacional Eléctrica) para el control y medición del desenvolvimiento productivo y medioambiental de la central termoeléctrica, cabe señalar que cada proceso de la planta está certificada por las normas NC ISO 9001:2008 siendo este otro punto a tener en cuenta para medir la calidad de los datos analizados.

Para realizar el estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se utilizó la herramienta informática desarrollada por PRé Consultants denominada SimaPro 7.1, esta herramienta compara los aspectos medioambientales teniendo en cuenta lo descrito en la norma NC-ISO serie 14040, para ello el SimaPro se basa en las bases de datos que contiene y han sido publicadas para el análisis de ciclos de vida característicos de un producto o sistema en específico, en nuestro caso en particular, se utiliza Ecoinvent Unit Processes como base comparativa ya que la misma reúne características específicas que relacionan combustibles, productos químicos y energías en forma de calor ó electricidad, generando esta explotación de recursos primarios residuos como parte de su ciclo de vida que producen definitivamente impactos negativos sobre el medio ambiente y la sociedad.

3.2 Etapa 2: Análisis del inventario.

3.2.1 Recolectar los datos.

Para la recolección de los datos involucrados en la producción de energía eléctrica se deben describir los sistemas interrelacionados entre sí que hacen posible la generación estable y confiable de la electricidad, cada sistema forma parte del ciclo de vida de la producción de energía eléctrica.

3.2.1.1 Descripción del proceso de preparación y quema del combustible (fuel).

El sistema de combustible está formado por:

Dos tanques de combustible. Los tanques son verticales, cilíndricos de una capacidad de 10000 m³ cada uno, poseen dos calentadores para el calentamiento del combustible, uno para fuel oil, encargado de dar la temperatura previa al combustible que permita su trasiego hasta los calentadores de petróleo, así como un calentador para crudos cuya regulación de temperatura se realizará por medio de autómatas que controlarán la posición de las válvulas reguladoras.

Un tanque con la misma capacidad de los dos anteriores, con la particularidad que posee un solo calentador de combustible, la temperatura y el nivel se controlarán por autómatas que enviarán las señales de control a la válvula reguladora. Los tres tanques poseen además la tubería de llenado, la tubería de salida, el drenaje del cieno, la tubería de recirculación y las tuberías del sistema de espuma contra incendios, a lo que se añade un anillo de enfriamiento en su parte superior. Otra particularidad para los tanques que almacenan crudos teniendo en cuenta su bajo punto de inflamación es que deben evitar el contacto con el medio exterior, y por tanto no poseen válvulas de venteo, en su lugar se coloca una válvula de presión y vacío. Esta válvula está encargada de mantener un exceso de presión en el interior del tanque.

Cuatro bombas de fabricación japonesa, horizontales helicoidales de succión simple, accionadas por un motor de 380 V desde el panel de caldera y son las encargadas de suministrar el fuel oil para los arranques y paradas a través del sistema hasta los

quemadores de la caldera. Para evitar el paso de partículas mecánicas que puedan dañar la bomba, esta posee dos filtros mecánicos en la succión. La bomba posee un husillo central y dos husillos laterales libres entre los cuales se logra la presión de descarga; para evitar sobrepresiones internas la bomba posee una válvula de alivio, además tiene un sistema de calentamiento para garantizar el calentamiento uniforme de las partes fijas y móviles. Las bombas están provistas de instrumentos de medición para controlar las presiones de succión y descarga, así como termómetros locales y transmisores de presión y temperatura.

Cuatro bombas de fabricación francesa y destinada a mover líquidos viscosos hasta 1500 cSt. a 50°C aunque no se descarta la posibilidad de manejar otros líquidos. Las bombas son horizontales de doble cuerpo, con precalentamiento a vapor, accionadas por un motor trifásico de 380 V. Posee dos husillos motrices entre los cuales se crea la presión. Las bombas están provistas de instrumentos de medición para controlar las presiones de succión y descarga, así como termómetros locales y transmisores de presión y temperatura.

Para garantizar una presión estable en el sistema a la entrada de las válvulas reguladoras (30 kgf/cm²), las bombas están provistas de una estación reguladora formada por un lazo de regulación electroneumático de fuel oil. El Anexo No. 1 muestra el sistema de petróleo (fuel) en la zona de los tanques y los cabezales.

Los calentadores de petróleo (4) dos por cada unidad, son horizontales, de dos pasos por la parte de vapor y cuatro por la parte de combustible y tienen la función de dar el calentamiento final al combustible que garantice su total combustión en la caldera. El vapor proviene del cabezal auxiliar de vapor y debe garantizar temperaturas del fuel entre 80 °C y 120 °C.

El lazo de control de flujo lo forman el filtro (dos en la unidad 4), el flujómetro local, el transmisor de flujo al Control de Unidad, las dos ramas reguladoras de flujo, la válvula principal de disparo y la válvula para el control de fugas.

Existe un lazo de recirculación formado por un filtro, un flujómetro, el transmisor de flujo de recirculación, la válvula de control de recirculación y la válvula de aguja que garantiza el flujo adecuado de recirculación.

Sistema de Quemadores de la Caldera.

La caldera japonesa posee tres pisos de servicio de quemadores donde se encuentran instalados nueve quemadores. En el primer piso de arriba hacia abajo existe la posibilidad de utilizar además de los quemadores de Fuel-oil, los de arranque con gas oil. Los nueve quemadores pueden ser operados localmente o mediante el ABS (Sistema Automático de Quemadores) en la Unidad # 3 ó a través del Sistema de Control Distribuido (DCS), por sus siglas en inglés, Procontrol P14 en la Unidad # 4.

Los quemadores de la Unidad # 3 son del tipo de boquilla Y de la firma japonesa Babcock-Hitachi diseño del año 1978 conocidos por su alta producción de NO_x por las altas temperaturas y las longitudes de llamas que alcanzan en el horno. Por su parte los quemadores de la Unidad # 4 son del tipo HT-PS (Hitachi Primary Swirl) modernizados en la rehabilitación de la Unidad en el año 2008, los mismos son parte de una gran gama de quemadores desarrollados por Babcock-Hitachi K.K. y la empresa Sueca Emprima como puede ser observado en el Anexo No. 4.

Estos quemadores se caracterizan por el uso de tres tipos de aire en la combustión, aire primario que va directamente a la zona de combustión, aire secundario que produce un vórtice en la llama buscando acortar esta y estabilizar la combustión y un aire terciario que puede ser suministrado a la zona de combustión en caso de que esta no tenga la cantidad de oxígeno requerida, estos tres tipos de aire son regulados logrando un balance de los mismos, los quemadores llegan a operar con valores de NO_x por debajo de 175 ppm como se puede observar en el esquema comparativo que se muestra en el Anexo No. 5.

Por su parte el Anexo No. 6 muestra la fotografía del quemador HT-PS donde se puede observar la disposición de los 3 tipos de aire que intervienen en la combustión y que hacen posible el acortamiento de la llama y la disminución de la temperatura de esta, base fundamental del diseño para la reducción del NO_x , una segunda fotografía muestra la forma de remolino de la llama en el horno.

3.2.1.2 Descripción del proceso de preparación del agua cruda para su conversión en agua tratada (PTQA).

A la central termoeléctrica llega el agua cruda procedente del acueducto municipal el cual tiene dos fuentes de abasto principales, la presa “Paso Bonito” o la presa “Damují” las cuales difieren en su calidad, siendo el agua del sistema “Damují” un agua mucho más dura que la del sistema “Paso Bonito”. En la Tabla 3.1 se muestran las características del agua de las fuentes de abasto, el Anexo No. 9 muestra la norma de calidad del agua para los Generadores de Vapor de las Unidades CMC3 y CMC4.

	DAMUJI		PASO BONITO	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
ALCALINIDAD M	216	4.32	125	2.5
ALCALINIDAD P	0	0	0	0
DUREZA TOTAL	250	5	140	2.8
DUREZA Ca	145	2.9	120	2.4
DUREZA Mg	105	2.1	20	0.4
SULFATO	27	0.56	19	0.4
CLORURO	45	1.27	14	0.4
CO₂	14	0.32	7.0	0.16
SILICE	18	0.6	7.5	0.25
MATERIA ORGANICA	4	4	2.0	2.0
TURBIEDAD	6	6	2.0	2.0
Ph	7.8	7.8	7.8	7.8
CONDUCTIVIDAD	650	650	280	280
SALINIDAD TOTAL		5.7		3.7

Tabla 3.1 Características del agua de las fuentes de abasto. Fuente: Norma de operación de PTQA de la Termoeléctrica de Cienfuegos.

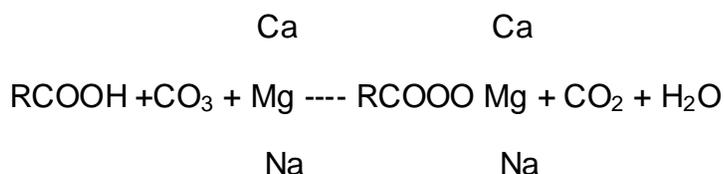
Al llegar a la planta el agua es almacenada en un tanque de concreto el cual está dividido en dos secciones, A y B cada una con una capacidad de almacenaje de 4500m³. En estos tanques el agua permanece el tiempo suficiente para que sedimenten parte de los sólidos en suspensión que trae la misma. En la operación normal un tanque esta en servicio y el otro en floculación.

Desde los tanques el agua es bombeada hacia la planta por dos bombas centrifugas de las cuales una está en servicio y la otra en reserva.

Para el proceso de desmineralización el agua sigue el siguiente recorrido, de los tanques de agua cruda esta es bombeada hacia el filtro mecánico o de arena donde son eliminadas las impurezas mecánicas presentes en la misma. El filtro mecánico es un recipiente vertical, cilíndrico de 3 m de diámetro que contiene en su interior como medio filtrante un volumen de 13 m³ de arena sílice muy pura.

Debido a su trabajo el filtro se va ensuciando por lo que es necesario lavarlo, como norma, cada 7 días o antes si se notara una caída de presión de 1 atm a través del mismo. Después del filtro mecánico el agua pasa a la unidad de intercambio iónico llamada Cation Débil la cual está compuesta por dos tanques cilíndricos de 2 m de diámetro cada uno, con un recubrimiento interior de goma, de ellos uno está en servicio y el otro en reserva. Estos equipos tienen en su interior resina sintética intercambiadora de iones de constitución carboxílica débilmente ácida.

Entre las sales de ácidos débiles disueltos en el agua (carbonatos y bicarbonatos) y la resina tiene lugar un intercambio iónico basado en la siguiente reacción.



Debido a esta reacción se produce una gran cantidad de CO₂ que permanece

disuelto en el agua, para eliminar el mismo se utiliza una torre descarbonatadora que es una columna cilíndrica de 1,5 m de diámetro recubierto de goma interiormente y empacada con pequeños anillos de porcelana, huecos, conocidos como anillos Rasching cuya función es aumentar la superficie de contacto entre la parte líquida y la fase gaseosa la cual está compuesta por el aire que se suministra por la parte inferior con dos sopladores y el agua que entra por la parte superior, mediante un proceso de transferencia de masa el CO₂ es absorbido por el aire y expulsado a la atmósfera junto con este.

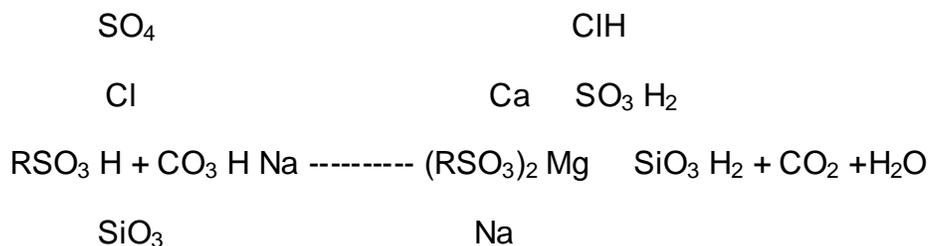
El agua sale por la parte inferior y cae en el tanque de agua descarbonatada situado directamente debajo del descarbonatador y que tiene una capacidad de 75 m³.

Situadas encima del tanque de agua descarbonatada se encuentra tres bombas verticales las cuales son las encargadas de suministrar el agua para la continuación del proceso de desmineralización, en dependencia del flujo de producción de la planta pueden estar en servicio una o dos bombas.

El flujo máximo de producción de la planta es de 48 m³/h. el cual se regula mediante una válvula de retorno instalada en la descarga de las bombas de agua descarbonatadas y en dependencia del consumo de las unidades.

El agua pasa a los cationes fuertes de la primera etapa que está compuesta por dos tanques cilíndricos recubiertos interiormente con goma con un diámetro de 3 m y que posee en su interior resina catiónica fuerte realizándose entonces las reacciones de intercambio con las sales neutras de ácidos fuertes (cloruros y sulfatos) y el resto de los bicarbonatos que no reaccionaron en el catión débil.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



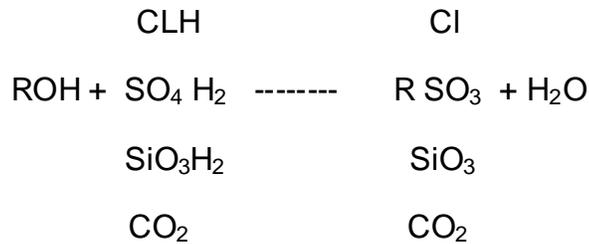
Una vez que el catión fuerte de la primera etapa alcanza el parámetro de agotamiento, el cual es fijado por el técnico de PTQA y de acuerdo con el tipo de resina que se esté utilizando es necesario regenerarlo para devolver a la resina sus condiciones de trabajo. La regeneración se realiza con ácido sulfúrico en cuatro pasos y a la concentración fijada en la carta tecnológica aprobada.

La segunda etapa catiónica fuerte está compuesta por dos unidades de intercambio pero son más pequeños tienen un diámetro de 1,2 m y su utilización es en dependencia de la calidad del agua que se esté recibiendo en la planta, el proceso de regeneración es igualmente con ácido sulfúrico pero con parámetros diferentes.

De la etapa catiónica el agua pasa a la etapa aniónica la cual consta de dos etapas, la etapa aniónica débil y la etapa aniónica fuerte. La etapa aniónica débil está compuesta por dos recipientes cilíndricos de 3 m de diámetro recubiertos interiormente con goma. En estos equipos se encuentra la resina aniónica débilmente básica y se realiza el intercambio iónico entre esta y los ácidos que se encuentran en el agua que entra.

La resina aniónica débil solo es capaz de retener los cloruros y sulfatos por lo que se hace necesario tener la etapa aniónica fuerte donde son eliminados los compuestos de sílice y los remanentes de los cloruros. Cuando la resina de la unidad aniónica débil que está en servicio alcanza el parámetro de agotamiento establecido en la carta tecnológica es necesario regenerarlo para devolverle su capacidad de intercambio iónico, para su regeneración se utiliza hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración entre 4-5%.

La etapa aniónica fuerte está compuesta por dos unidades de intercambio, las cuales son dos tanques cilíndricos de 1,5 m de diámetro recubiertos interiormente de goma, en caso de estar en servicio dos líneas de producción ambas unidades se encuentran en operación. La reacción que ocurre es la siguiente:



Como se puede observar en la reacción anterior después que el agua pasa por el anión fuerte queda totalmente purificada pues se han eliminado todas sus sales disueltas y sólidos en suspensión. Sin embargo como todo proceso industrial no se alcanza una eficiencia del 100% ya que se producen algunas fugas a lo largo del proceso de desmineralización.

Como el efluente del anión fuerte es prácticamente agua pura, su conductividad será de un valor muy pequeño y esto se toma como índice de las condiciones en que se encuentra el anión. Cuando se comienza a notar trazas de sílice en el efluente y un ligero aumento en la conductividad debe de sacarse de servicio el anión y regenerarse.

La regeneración del anión fuerte se realiza con sosa cáustica (NaOH) al 4-5%. Como sabemos en el proceso se producen fugas y es necesario reducirlas al mínimo y para esto se ha situado a la salida de la etapa aniónica fuerte una etapa de lechos mezclados que como su nombre lo indica es un equipo que tiene las resinas catiónica y aniónica mezcladas.

El agua de los aniones fuertes se hace pasar a través de los lechos mezclados y a la salida de estos se obtiene el agua de la calidad requerida para alimentar las calderas. La regeneración del lecho mezclado es más compleja que la regeneración de los otros equipos, debido a que contiene juntas las dos resinas.

El agua desmineralizada que sale de los lechos mezclados es almacenada en tres tanques de 100 m³ cada uno, y en un tanque de 1000M³ destinado para la alimentación de las unidades CMC3 y CMC4. En la Tabla 3.2 se muestran las normas de consumo para cada sustancia en PTQA (Planta de Tratamiento Químico

del Agua). El Anexo No. 10 muestra un esquema general del proceso de la planta de tratamiento químico del agua.

PRODUCTOS QUIMICOS	U.M.	PASO BONITO	DAMUJI
Ácido sulfúrico	g/meq	0.16	0.22
Ácido Sulfúrico	Kg/m ³	0.65	1.3
Sosa cáustica liq.	g/meq	0.20	0.20
Sosa cáustica liq.	Kg/m ³	0.64	1.00
Sulfato de Aluminio	Kg/m ³	0.050	0.035
Insumo Agua Cruda	%	20	35
Salinidad	Meq/L	3.5	6.0
Agua Cruda	M ³ / MW.	0.25	0.45
Agua Desm.	M ³ / MW.	0.22	0.30

Tabla 3.2 NORMAS DE CONSUMO PARA PTQA. Fuente: Norma de operación de PTQA de la Termoeléctrica de Cienfuegos.

En la Tabla 3.3 se muestra la cantidad de agua tratada que consumen las unidades CMC3 y CMC4 para 1 MW, así como el consumo de productos químicos para la elaboración de dicha agua en el período comprendido entre los años 2008 al 2010.

	CMC 3 (1 MW)			CMC 4 (1 MW)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Cantidad de Agua Tratada (m ³)	0,15608556	0,19699888	0,08836372	0,11854657	0,10382136	0,08973133
Cantidad de Alúmina (Al ₂ (SO ₄) ₃) (g)	13,4422552	10,0252242	6,65339168	13,3952217	10,0354084	6,66224458
Cantidad de Sosa Caustica (NaOH) (g)	194,562082	157,329186	107,1002	193,881322	157,489009	107,242706
Cantidad de Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) (g)	274,387794	188,209383	101,168147	273,42773	188,400575	101,30276

Tabla 3.3 Consumo de agua tratada para 1 MW y consumo de productos químicos para la elaboración del agua tratada. Fuente: Elaboración propia.

Régimen Químico.

En el caso de que ocurran desviaciones en los parámetros químicos en el ciclo agua-vapor se deben inyectar sustancias químicas a las calderas para que este régimen sea restablecido de inmediato y así eliminar daños que podrían afectar permanentemente el funcionamiento de estas. Para lograr las normas de los parámetros químicos en caldera se dosifican productos químicos que tienen diferentes funciones como:

Fosfato de sodio: Las soluciones de fosfatos de sodio se dosifican con dos objetivos fundamentales:

- Reaccionar con la dureza que haya entrado en el agua de alimentar, para precipitarla y poder eliminarla a través de las extracciones.
- Aumento de la alcalinidad al agua de caldera.

Hidracina: Se dosifica a la caldera con los siguientes objetivos:

- Captador de oxígeno disuelto en el agua.
- Inhibidor de la corrosión.
- Como agente alcalinizador.

Sulfato Ferroso: Se dosifica en el agua de mar para:

- Conservación de los tubos de Cupro-Nickel del Condensador.
- Eliminación de escaramujos que pueden tupid los tubos del Condensador.

Para la preparación y dosificación de los productos químicos existen esquemas de dosificación integrados por tanques de preparación y bombas dosificadoras. La Tabla que se muestra a continuación muestra el consumo de estas sustancias para 1MW en las unidades CMC3 y CMC 4 para el período comprendido entre el 2008 al 2010.

Sustancias Químicas	CMC 3 (1 MW)			CMC 4 (1 MW)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Cantidad de Fosfato Trisódico (Na ₃ PO ₄)	0,50968551	0,5505519	0,23397761	0,50790216	0,55111118	0,23428893
Cantidad de Hidracina (H ₄ N ₂)	0,54329115	0,31579456	0,3609465	0,54139021	0,31611536	0,36142677
Cantidad de Sulfato Ferroso (FeSO ₄)	3,48750914	6,71571827	2,98091025	14,2381183	3,03882278	2,5991903

Tabla 3.4 Consumo de sustancias químicas en las unidades CMC3 y CMC4 en el período comprendido entre los años 2008 al 2010. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3 Insumo

El análisis del insumo eléctrico (energía eléctrica consumida por la central para la producción de electricidad) es otro de los sistemas incluidos dentro del inventario por la importancia que tiene como indicador de consumo, ya que la producción de energía depende directamente del consumo de portadores energéticos no renovables. La siguiente Tabla 3.5 muestra el insumo total y el insumo para 1 MW de las unidades de la Termoeléctrica de Cienfuegos en el período comprendido entre los años 2008 al 2010.

INSUMO Total por años de las Unidades 3 y 4 (MWh)		
Años	CMC3	CMC4
2008	51078,7	11770,88
2009	28320,13	47856,05
2010	53067,97	55981,93
INSUMO para 1 MWh		
Años	CMC3	CMC4
2008	0,071254973	0,067038073
2009	0,076076006	0,058170422
2010	0,063276342	0,058203076

Tabla 3.5 Insumo de las Unidades 3 y 4 en el período comprendido entre 2008 al 2010. Fuente: Elaboración propia.

En el generador de vapor y los equipos auxiliares del ciclo se consume la mayor parte del insumo de la central, en el generador de vapor los equipos de mayor

consumo están ligados a altos voltajes de barra (6,3 kV) y consumos de corriente, los VTF (Ventiladores de Tiro Forzados) y el VRG (Ventilador Recirculador de Gases) consumen el 29 % como se aprecia en el Anexo No. 11.

En los equipos auxiliares del ciclo las BAA (Bombas de Agua de Alimentar), dos (2) en operación y una (1) en reserva utilizadas para bombear el agua de alimentación al Domo de vapor consumen alrededor del 45% del insumo de toda la central, es bueno señalar que los VTF y las BAA consumen el 70% de todo el insumo eléctrico de la planta, otros equipos altamente consumidores son las Bombas de Condensado y las Bombas de Circulación del agua de mar, la otra energía consumida, como se aprecia en el Anexo No. 11, se reparte en los equipos de los Centros de Motores de 380 V y la excitación estática.

3.2.1.4 Descripción del Calentador de Aire Regenerativo. (CAR)

El CAR es un intercambiador de calor donde una masa de gases procedentes del eje convectivo luego de entregar el calor en los agregados de la caldera entrega el calor a una masa metálica que se encuentra girando, calentándola; este metal al hacer contacto con la masa de aire frío la calienta hasta una temperatura adecuada. Este tipo de intercambiador presenta ventajas con respecto a los de tipo tubular ya que es más eficiente, las temperaturas del metal son uniformes y se eliminan los focos de calor, un esquema del CAR puede ser observado en el Anexo No. 8.

En su conjunto cada CAR cuenta con tres grupos de cestos que se colocan en forma horizontal en forma de cuña. Los grupos se colocan verticalmente formando los cestos calientes, tibios y los fríos. La fuente para el giro del CAR la constituye un motor que se alimenta de 380 V a través de un reductor con una rueda dentada.

El CAR se apoya en dos chumaceras, superior e inferior las cuales son enfriadas con agua procedente del circuito de enfriamiento, y cuenta además con compuertas de cierre tanto por la parte de aire como por la parte de gases así como con tuberías para el lavado de estos en explotación y registros para el acceso al interior de este, posee además un motor de aire que permite el giro de este en caso que no pueda usarse el motor eléctrico. Para la limpieza de las superficies de intercambio el CAR

está equipado con un soplete tipo oscilante movido por un motor de 380 V. y un sistema de lavado estático con agua de incendio a través de boquillas distribuidas uniformemente a lo largo de 2 tubos, uno situado por encima de los cestos calientes y otro por debajo de los cestos fríos.

Datos Técnicos Del CAR.

➤ Cantidad	2 x caldera
➤ Tipo:	regenerativo vertical
➤ Flujo de gases a (MCR)	568t/h
➤ Flujo de aire a (MCR)	524t/h
➤ Temperatura de los gases a la entrada	337°C
➤ Temperatura de los gases a la salida	144°C
➤ Temperatura del aire a la salida del CAR	304°C
➤ Superficie de calentamiento	12000m ²
➤ Material de la placa extremo caliente	acero al carbono
➤ Material de la placa intermedia	acero al carbono
➤ Material de la placa extremo frío	(Acero CORTEN)

Lavado del CAR.

El Lavado del CAR se realiza para disminuir el diferencial de presión creado por la deposición en los cestos de material particulado y hollín producto de la combustión, en estos cestos se deposita gran parte de este material, para su limpieza en operación se usan 60 ton/h de agua cruda a temperatura ambiente por CAR y cada calentador debe ser lavado por un tiempo de 5 horas como mínimo. El hollín proveniente de cada lavado está compuesto por un sinnúmero de sustancias las que pueden observar en las Tablas 3.6 y 3.7 que se muestran a continuación. Estas sustancias son altamente contaminantes de los suelos y del agua de mar de la bahía.

	Nitrógeno (mg/l)	DQO (mg/l)	Fósforo Total (mg/l)			Sólidos Suspendidos (mg/l)			DBO5 (mg/l)	Sólidos Sedimentables (ml/l)			Grasas y Aceites (mg/l)		
			1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3
1 comienzo	18,52	3120	5,11			1075,75			100	26			< LD		
1 medio	< LC	260	0,92			2460,43			100	7,5			30,14		
1 final	< LC	< LC	0,73			56,57			10	2			79,35		
2 comienzo	< LC	720	0,91			1673,69			125	6,5			10,99		
2 medio	< LC	< LC	0,05			14,3			10	< LC			< LD		
2 final	< LC	< LC	0,03			19			5	< LC			< LD		
3 comienzo	< LC		0,1	0,12	0,09	13,9	15,9	11,5		0,2	0,2	0,2	4,96	4,1	3,8
3 medio	< LC		0,09	0,09	0,09	23,4	49	24,6		< LC	0,4	0,3	4,3	4,2	5,4
3 final	< LC		0,11	0,15	0,09	94,2	103,6	90,4		0,2	0,2	0,2	4,8	4,9	4,2
muestra compuesta 1		< LC							3,3						
muestra compuesta 2		< LC							0,6						
muestra compuesta 3		64							7						
norma 521:2007	5 mg/l	75 mg/l	5 mg/l			30 mg/l			30 mg/l	5 ml/l			15 mg/l		

Tabla 3.6 Caracterización de Lavado de CAR. Fuente: Elaboración propia.

	Cu (mg/l)			Pb (mg/l)			Ni (mg/l)			Zn (mg/l)			Cd (mg/l)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 comienzo	1,47			< 0.5			138			1,08			< 0.05		
1 medio	1,23			< 0.5			87,3			0,73			< 0.05		
1 final	< 0.03			< 0.5			10			< 0.12			< 0.05		
2 comienzo	< 0.03			< 0.5			10,2			< 0.12			< 0.05		
2 medio	< 0.03			< 0.5			< 0.02			< 0.12			< 0.05		
2 final	< 0.03			< 0.5			< 0.02			< 0.12			< 0.05		
3 comienzo	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0,45	0,472	0,481	< 0.12	< 0.12	< 0.12	< 0.05	< 0.05	< 0.05
3 medio	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0,988	1,41	1,08	< 0.12	< 0.12	< 0.12	< 0.05	< 0.05	< 0.05
3 final	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.5	< 0.5	< 0.5	1,17	1,11	1,11	< 0.12	< 0.12	< 0.12	< 0.05	< 0.05	< 0.05
norma 521:2007	1.0 mg/l			0.1 mg/l			2.0 mg/l			4.0 mg/l			0.05 mg/l		

Tabla 3.7 Caracterización del Lavado del CAR (continuación). Fuente: Elaboración propia.

Aguas oleosas.

Los sistemas de lubricación de los diferentes equipos y de la turbina de vapor a menudo presentan fugas de aceite las cuales pueden contaminar el manto y las aguas de la bahía si no se detectan y se eliminan a tiempo, para el control de este tipo de fugas el departamento de operaciones y el taller químico tienen dentro de sus responsabilidades velar y eliminar con la mayor premura cualquier tipo de escape de este tipo, la planta cuenta, a su vez, con un sistema de tuberías de recolección por donde se mueven las aguas albañales las cuales son controladas y pasivadas en una fosa séptica, la limpieza de la misma es responsabilidad del área química y del grupo de Medio Ambiente.

La Tabla 3.8 muestra los mg/l de agua de los residuales oleosos y de las aguas albañales para 1 MW en el período comprendido entre los años 2008 al 2010 en la Termoeléctrica de Cienfuegos.

	CMC 3 (1 MW)			CMC 4 (1 MW)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Agua (Residuales Oleosos) mg/l Aceites y grasas	0,01358004	0,00630171	0,00638626	0,01353252	0,00630812	0,00639476
Aguas Albañales mg/l						
DBO5	0,01819162	0,0121428	0,02027869	0,0044403	0,02686253	0,02328779
DQO	0,88314893	0,21027284	0,15446661	0,21556312	0,4651695	0,17738746

Tabla 3.8 Comportamiento de los residuales oleosos y las aguas albañales en las unidades CMC3 y CMC4. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5 Gases de Combustión.

Los residuos de una Central Termoeléctrica impactan directamente sobre el medio ambiente de ahí que uno de los inventarios propuestos para el análisis sean los gases producto de combustión del fuel, para las mediciones de estos gases se controlan tres puntos de muestreo en el conducto que va hacia la chimenea a la salida de los CAR (Calentadores de Aire Regenerativos) en una zona de poca

turbulencia y luego se promedian los valores de cada medición, los gases medidos son los siguientes:

- O₂ %
- CO₂ % (valor calculado).
- NO ppm.
- NO_x ppm
- CO ppm.

Las mediciones se realizan con un equipo manual de medición de gases de la firma alemana TESTO serie 300 M en la zona que se muestra en el Anexo No. 7.

La emisión en gramos por MWh generado de los principales contaminantes que se producen en los gases de combustión y que son medidos en planta pueden ser observados en la siguiente Tabla 3.9.

GASES	CMC 3 (1 MW)			CMC 4 (1 MW)		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Dióxido de Carbono CO ₂ (g)	1158095,32	1225360,31	797312,657	1108513,55	893465,304	831162,591
CO (g)	448,072314	401,198971	47,0085968	347,106565	426,032221	53,0184557
NO (g)	991,803521	1224,73737	918,041265	963,558808	925,676553	853,070245
NOX (g)	1637,31457	1836,18974	1358,81325	1814,81512	1225,43482	1151,50817

Tabla 3.9 Emisiones de gases en gramos para 1 MW en las unidades CMC3 y CMC4 en el período comprendido entre los años 2008 al 2010. Elaboración propia.

Estos gases, son los responsables del aumento de temperatura terrestre conocido comúnmente como efecto invernadero y también de las llamadas lluvias ácidas.

El efecto invernadero es el efecto que producen algunos gases en la atmósfera de permitir la entrada de la radiación solar y evitar que se pierda el calor de la superficie terrestre especialmente durante la noche. Esto es un proceso natural y el principal causante del mismo es el CO₂. Las emisiones de estos gases (vapor de agua, ozono, metano, óxido nitroso NO₂) por las actividades humanas modifican sensiblemente este equilibrio y provocan un efecto invernadero adicional o incrementado que da origen a un sobrecalentamiento de la superficie terrestre y con este calentamiento

ocurren cambios en el clima con su secuela de impactos en prácticamente todos los componentes del medio ambiente.

Las lluvias ácidas son producidas por contaminantes relacionadas con los óxidos de nitrógeno y azufre, la reacción de estos óxidos en la atmósfera terrestre con el vapor de agua presente en la misma produce los ácidos sulfúricos y nítricos que luego se precipitan en forma de lluvia dañando los suelos, cultivos, construcciones, el agua y los alimentos.

3.2.2 Construcción de los diagramas de procesos.

Con la información vista anteriormente se está en condiciones de elaborar el inventario del proceso de producción de la energía eléctrica y emisión de contaminantes principales de esta industria, en el Anexo No.3 se muestran las materias primas esenciales para la producción de la electricidad, el uso de los combustibles y del agua, siendo esta última la sustancia del proceso, por lo que debe poseer condiciones especiales para su transformación, se observa además el uso de la energía empleada en forma de electricidad y calor que se consume para generar electricidad y son mostrados además los contaminantes esenciales que produce esta transformación energética, todas estas entradas y salidas complementan el análisis del ciclo de vida (ACV) que se analiza y estudia.

La descripción de las operaciones que se llevan a cabo en cada proceso estudiado sirve de base para crear el diagrama de proceso mostrado en el Anexo No.2, la representación gráfica de los sistemas estudiados, sistema que fueron la base de los datos obtenidos para el análisis del ciclo de vida de la electricidad, ayuda a comprender, enmarcar, delimitar e interrelacionar cada proceso dándonos una visión más clara y una mayor organización a la hora de enfrentar el análisis.

3.2.3 Procesamiento de la información y los datos obtenidos.

Con todos los datos obtenidos de los diferentes sistemas de análisis y para dar cumplimiento a los objetivos propuestos son incluidos estos en la herramienta de procesamiento de la información SimaPro 7.1, del análisis de los mismos podrán ser obtenidas las posibles mejoras a aplicar en el ciclo de vida de la generación de electricidad en las unidades CMC3 y CMC4 de la Termoeléctrica de Cienfuegos.

3.3 Etapa 3: Evaluación del Impacto.

Para la evaluación del ciclo de vida de la producción de energía eléctrica se realiza un análisis comparativo entre las diferentes bases de datos que se encuentran en el SimaPro 7.1: Impact 2002+, Ecoindicador 99 y Eco-Speed, de esta información se obtienen las categorías más afectadas, resultando ser estas en orden descendente, el uso de energías no renovables, el daño a la capa de Ozono, el calentamiento global, el vertimiento de sustancias no carcinógenas y carcinógenas en el agua y la emisión de sustancias no carcinógenas en el aire.

Los métodos europeos de análisis Impact 2002 + y Ecoindicador 99 desarrollados por Instituto Suizo Federal de Tecnología y equipos de expertos de Holanda, Suiza y Alemania, respectivamente, están basados en condiciones particulares de explotación de los recursos, emisión de contaminantes y daños a la salud humana específicos de ese continente, las bases de datos evalúan estas condiciones y dan un resultado que puede ser utilizado para tener una cierta aproximación en los cálculos de los ciclos de vida de procesos (productos) en nuestras condiciones geográficas, un ejemplo de ello puede ser observado en la Figura 3.1.

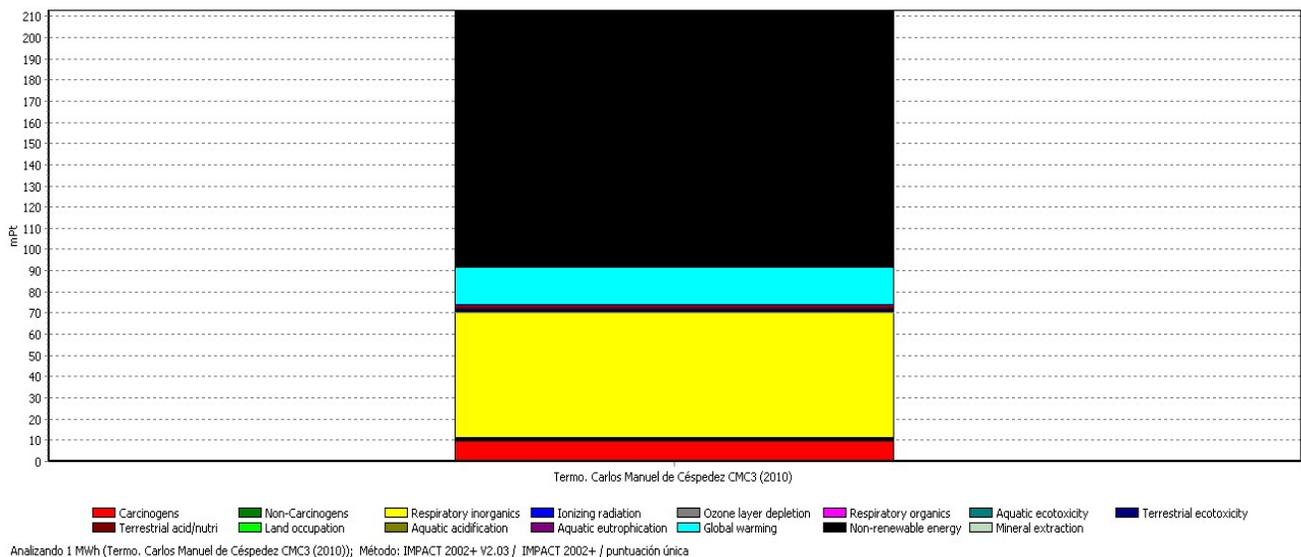


Figura 3.1 Análisis de impacto en la producción de energía eléctrica. Método IMPACT 2002+.

Fuente: SimaPro 7.1.

En la misma se muestran los resultados que se logran al aplicar la metodología Impact 2002+ a los datos obtenidos en el año 2010 en la Unidad #3 de la Central Termoeléctrica de Cienfuegos, es importante señalar que aunque este método fue desarrollado en el año 2002, como su nombre lo indica, y como se dijo con anterioridad está elaborado para las condiciones europeas muestra un resultado totalmente lógico, se puede observar que el consumo de combustible no renovable, la respiración de inorgánicos por los seres humanos principalmente producido por las emisiones en chimenea y el calentamiento global por los volúmenes de gases de efecto invernadero que son producidos en la quema de combustibles fósiles son los impactos preponderantes que el método da a relucir de forma clara.

Por su parte, algo muy parecido muestra el Eco-Indicador99 usando los mismos datos de la Figura 3.1, la aplicación de este método pone, al igual que el anterior, el uso de los combustibles fósiles como la categoría de mayor impacto, en segundo lugar muestra la respiración de inorgánicos y en tercer lugar, algo que difiere del anterior, la acidificación y el daño a los suelos, en cuarto lugar aparece, ya como un menor impacto, el cambio climático. El método como se puede apreciar tiene en comparación con los demás sobrevalorada la categoría de combustible fósil, dándole mucha importancia si la comparamos con las otras categorías analizadas, esto ocurre por las condiciones geográficas donde este ha sido desarrollado.

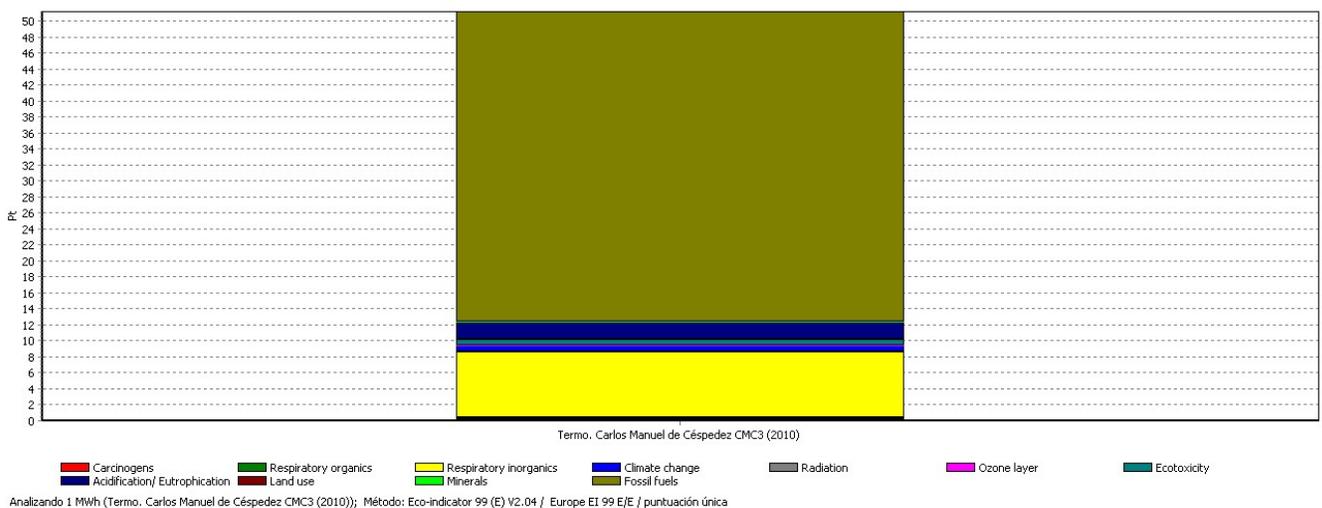


Figura 3.2 Análisis de impacto en la producción de energía eléctrica. Método Eco-Indicador 99.
Fuente: SimaPro 7.1.

La metodología Eco-Speed desarrollada para nuestras condiciones ambientales, usando categorías de análisis de datos de alto impacto sobre la salud humana, el agua, los minerales y los recursos energéticos propios del país y tomando como productos en su base de datos las sustancias, aditivos, compuestos químicos, emisiones y vertimientos más notorios evaluados y validados para Cuba, dando además, prioridades de evaluación en función de llevar al país hacia un desarrollo sostenible, es capaz de brindar un análisis de mayor actualidad y más cercano a nuestras condiciones de explotación de los recursos naturales y los productos así como llevarnos a poder evaluar los principales impactos que el país produce sobre los ecosistemas, de ahí que las categorías de impacto mostrados por él se toman como significativas dándole a este método todo el potencial que posee para el Análisis de los Ciclos de Vida dentro del contexto nacional de cualquier proceso (producto) y, por tanto, que sea el seleccionado para realizar nuestra evaluación del ciclo de vida (ACV) de la producción de energía eléctrica.

Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología cubana Eco-Speed pueden ser observados en la Figura 3.3.

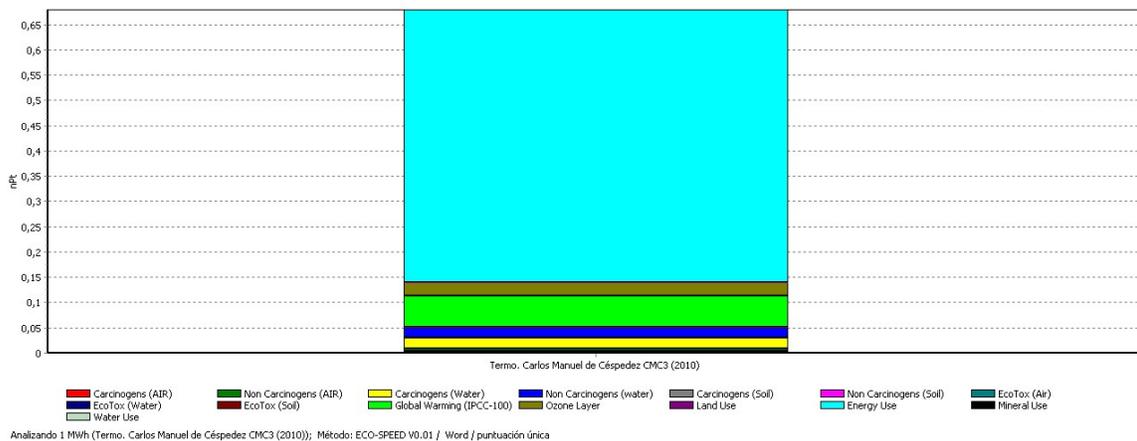


Figura 3.3 Análisis de impacto en la producción de energía eléctrica. Método Eco-Speed.
Fuente: SimaPro 7.1.

Una vez más el uso de la energía, el calentamiento global y los impactos sobre la capa de Ozono vuelven a ser los preponderantes pero aparecen categorías de mucha importancia como son las que están ligadas a los vertimientos y emisiones en el agua y el aire, respectivamente y su impacto sobre la salud humana, tema de vital importancia en cada modelo que se crea y analiza en nuestro país, el Diagrama de Pareto a continuación muestra la distribución porcentual de los impactos más significativos del análisis del ciclo de vida de la energía eléctrica.

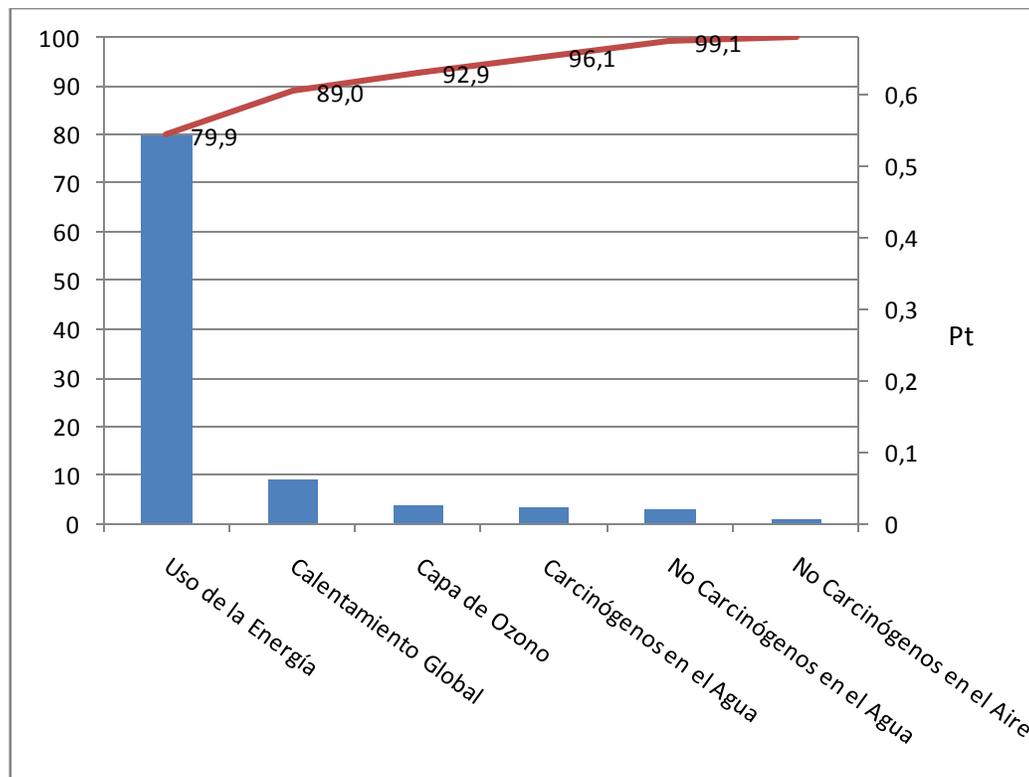


Figura 3.4 Impactos más significativos en la generación de energía eléctrica en la Termoeléctrica de Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

La utilización de la metodología Eco-Speed para la comparación de la forma de explotación de las Unidades CMC3 y CMC4 nos lleva a la obtención de resultados lógicos donde se evidencian las mejoras en función de dichos resultados, una comparación de ambas unidades en el año 2008 puede ser apreciada en las Figuras 3.5 mostrada a continuación:

Año 2008

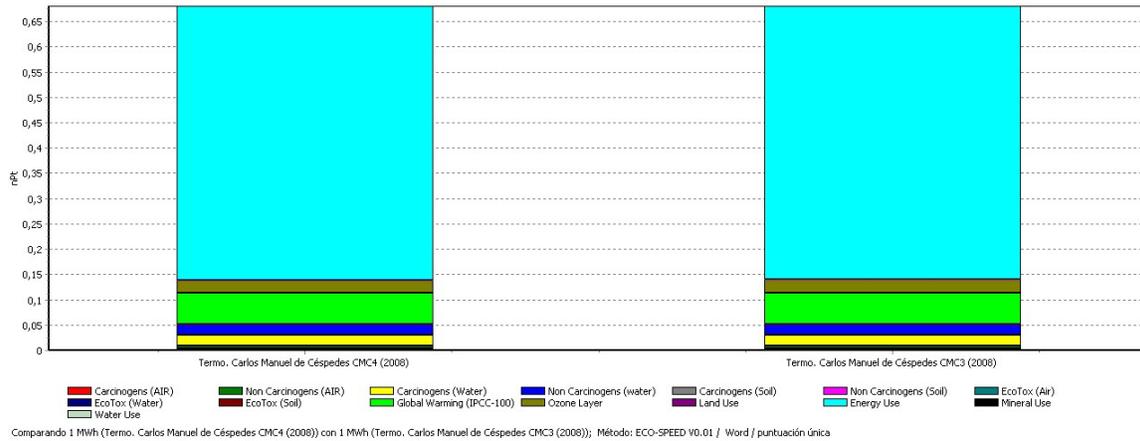


Figura 3.5 Comparación del ACV en la generación de energía eléctrica en las unidades CMC3 y CMC4 en el año 2008. Método Eco-Speed. Fuente: SimaPro 7.1.

En este año no se había realizado la modernización de CMC4, esta modernización de un monto de 27 millones de dólares norteamericanos y realizada con el fabricante HITACHI Ltd. sustituyó el 75% del equipamiento total del Generador de Vapor y otros agregados en Equipos Auxiliares del Ciclo, Turbina y Generador Eléctrico, por esta razón el comportamiento de ambos bloques es similar y los resultados son en extremo lógicos.

Año 2009

La Unidad CMC4 entró en explotación comercial en el primer trimestre del año 2009, con la modernización de este bloque el consumo específico de combustible en g/kWh bajo hasta alcanzar valores para la carga promedio de 120 MW de 242 g/kWh logrando valores de 233 g/kWh en pruebas de garantía a máxima carga, este resultado se evidencia en la comparación de los bloques en ese año, principalmente en la categoría de impacto relacionada con el uso de la energía (Energy Use), existe, a su vez, una disminución en las categorías calentamiento global (Global Warming) y daños a la capa de Ozono (Ozono Layer). Esta comparación se puede observar en la Figura 3.6.

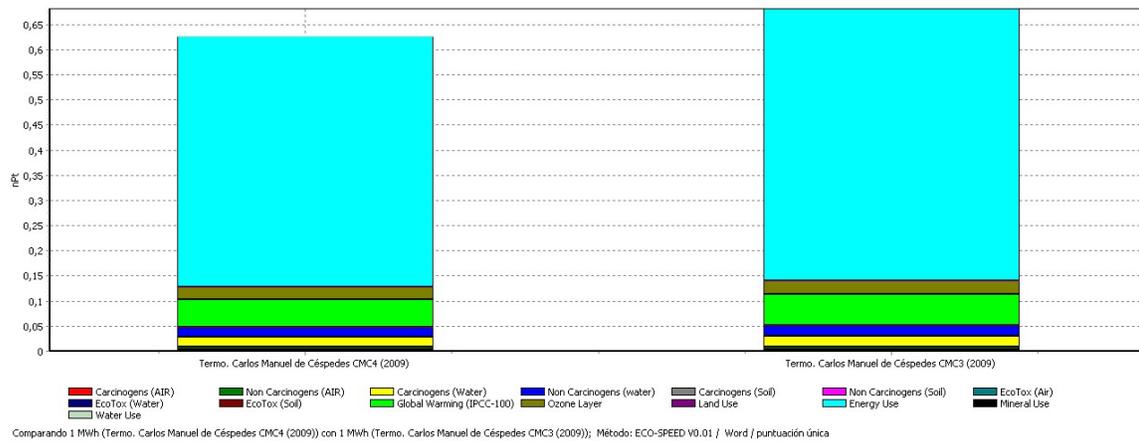


Figura 3.6 Comparación del ACV en la generación de energía eléctrica en las unidades CMC3 y CMC4 en el año 2009. Método Eco-Speed. Fuente: SimaPro 7.1.

Año 2010

Se observa que las categorías de impacto representativas no han variado después de un año de explotación comercial de la Unidad CMC4, por lo tanto, se va a tomar este último año para realizar todos los cálculos y proponer las mejoras que se deben realizar en el Bloque CMC3 basado en la interpretación de estos resultados.

Análisis por categorías de daños en el año 2010.

Si hacemos la comparación por categorías de daños entre ambas unidades se evidencia que existe un mayor daño en las tres categorías generales en la Unidad CMC3 como se puede apreciar en la Figura 3.7 mostrada a continuación:

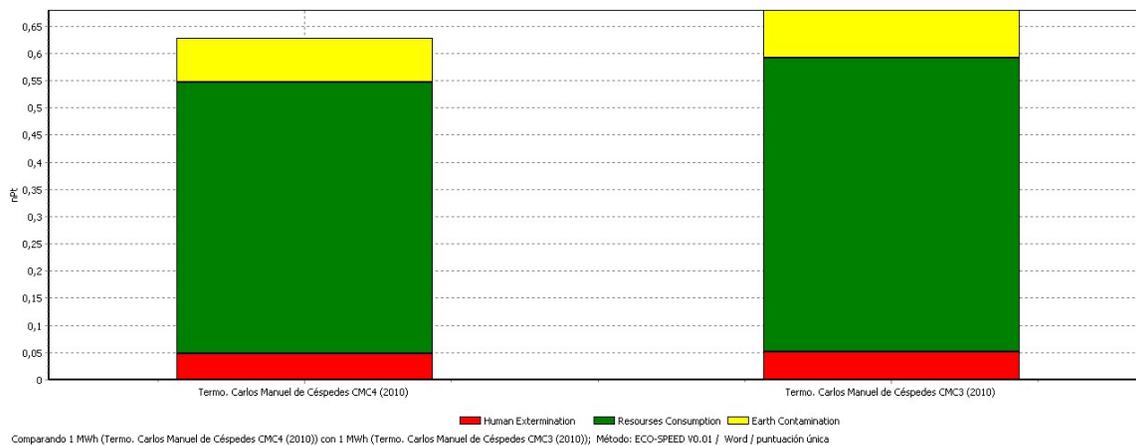


Figura 3.7 Comparación del ACV en la generación de energía eléctrica. Categoría de Daños. Método Eco-Speed. Fuente: SimaPro 7.1.

El Anexo No. 12 muestra la tabla resumen con los valores de estas categorías de daños.

Análisis de los daños por categorías de impacto.

Como se dijo con anterioridad el uso de las fuentes de energía, principalmente combustibles e insumo eléctrico, es la categoría de impacto más relevante cuando se hace la comparación entre ambos bloques después de haberse ejecutado la modernización y el mantenimiento capital de la Unidad CMC4 durante el año 2008, los resultados mostrados en el Anexo No. 13 reflejan una disminución en el uso de la energía la que se evidencia en las 11 542 ton de combustibles dejadas de quemar y el 8,01% de disminución del insumo eléctrico cuando se comparan ambos bloques.

Existe también una disminución en la emisión de CO₂ y NO_x gases causantes del calentamiento global y el efecto invernadero y una pequeña disminución cuando se analiza el anexo antes mencionado en la contaminación del aire y del agua.

La Figura 3.8 muestra el análisis de los daños por categorías de impacto para el año 2010, se evidencia un marcado parecido con el año 2009 a pesar de existir ya un año de explotación comercial de la Unidad CMC4.

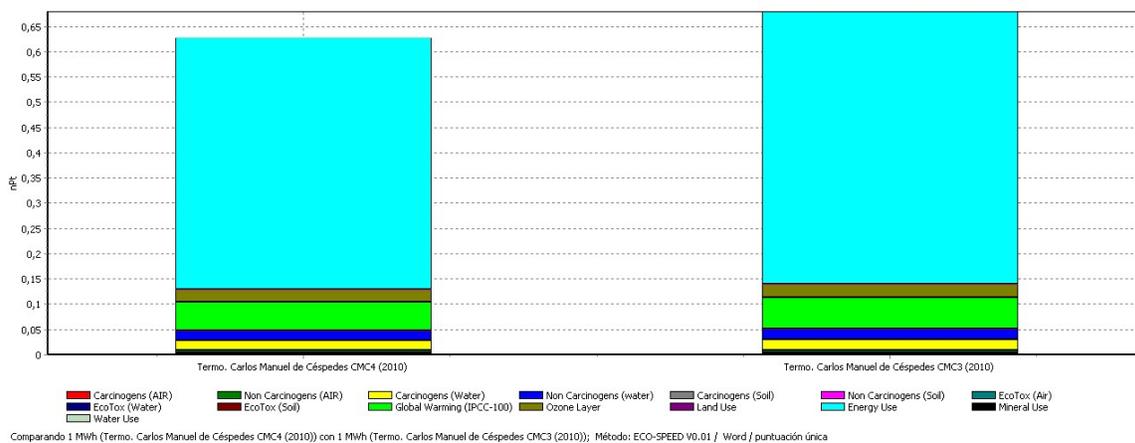


Figura 3.8 Comparación del ACV en la generación de energía eléctrica en las unidades CMC3 y CMC4 en el año 2010. Método Eco-Speed. Fuente: SimaPro 7.1.

3.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.

Dentro de las mejoras que pueden ser ejecutadas en la Unidad CMC3 se encuentran las relacionadas con el cambio de los equipos y sistemas del generador de vapor y la modernización de agregados principalmente los que están relacionados con los procesos de combustión de petróleo, dentro de las mejoras propuestas se encuentran:

- Sustitución de las compuertas de regulación de los Ventiladores de Tiro Forzado, estos ventiladores suministran el aire para la combustión.
- Cambio de los precalentadores de aire a vapor, los precalentadores de aire toman el vapor de las necesidades propias de caldera calentando el mismo y evitando que exista corrosión por baja temperatura en los Calentadores de Aire Regenerativos (CAR).
- Sustitución de ambos CAR, los calentadores de aire regenerativos calientan el aire que va a los quemadores a temperaturas cercanas a los 306 °C mejorando el proceso de combustión.
- Cambio del sistema completo de quemadores por quemadores de bajo NO_x HT-PS ó HT-SJ, estos quemadores pueden ser utilizados para la quema de crudo con una viscosidad de 1400 cSt. y gas natural, respectivamente.

En los equipos Auxiliares del ciclo la reparación de las Bombas de Agua de Alimentar, siendo estas (tres en total) los equipos que más consumen energía eléctrica en todo el proceso de producción de electricidad, es la mejora de mayor peso que interviene en la disminución del insumo eléctrico de toda la Unidad CMC3, esta disminución en los consumos es del orden 400 kWh, por bomba a máxima carga, (Dos bombas en operación y una en reserva).

Todas estas mejoras permiten una disminución de las emisiones de CO₂ en 111,334 kg para 1 MWh y a su vez reducen las emisiones de NO_x en 0,207 30 kg para 1 MWh permitiendo una disminución en las categorías de impacto relacionadas con el calentamiento global y daños a la capa de Ozono, las mejoras permiten además una disminución del consumo de combustible en el orden de las 11 000 ton (Igual período

2009-2010) como ya se ha mencionado con anterioridad y reduciendo el uso de la energía (portadores energéticos) significativamente.

El cambio de las compuertas de regulación de los Ventiladores de Tiro Forzado permite una mejora en las curvas de comportamiento de los mismos a diferentes cargas y por lo tanto una disminución del consumo de energía eléctrica (Insumo) de estos de 218 kWh a máxima carga y un margen de reserva de aire del 11%. Según Anexo No.14.

3.4.1 Impacto Económico.

El impacto económico fue desarrollado en función de los ahorros alcanzados por la disminución del consumo específico de combustible y el insumo eléctrico, en el año 2010, año que se realizó el cálculo económico, la Unidad CMC4 tuvo un comportamiento a la carga promedio (120 MW) del consumo específico de 242 000 g/MWh y un valor medio del insumo eléctrico de 5,5 MWh, los valores a esta carga antes de la modernización eran de 254 000 g/MWh y 7 MWh, respectivamente.

Para lograr estos objetivos se realizó una inversión con el fabricante de la Unidad Hitachi Ltd. de alrededor de 27 millones de \$USD, de ellos valoramos en la tesis la inversión realizada en los agregados de la caldera que intervienen directamente en el proceso de combustión y del mejoramiento de los equipos de mayor consumo eléctrico (68,6% de toda la energía insumida) ver Anexo No. 11.

Los agregados de caldera y de los equipos auxiliares del ciclo incluidos se muestran en la Tabla 3.10.

Agregados de Caldera.	\$ USD
Compuertas de Regulación de los VTF.	\$ 234 000
Sistema de Quemadores.	\$ 1 280 103,52
Calentadores de Aire Regenerativo (2).	\$ 2 109 532
Pre calentadores de Aire a Vapor.	\$ 217 103,64
Agregados de Equipos Auxiliares del Ciclo.	\$ USD
Reparación de las Bombas de Agua Alimentar.	\$ 456 132,74

Tabla 3.10 Agregados de Caldera y Equipos Auxiliares del Ciclo. Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto que fue incluido en el cálculo fue la energía indisponible dejada de generar en los 13 meses que duró la modernización del bloque, esta energía fue tomada para una carga promedio de 120 MW, como ya se dijo con anterioridad, esto se hace porque nuestros bloques regulan la frecuencia del SEN (Sistema Electroenergético Nacional) y normalmente no están en carga base (158 MW). El valor fue tomado del Departamento de Régimen.

El precio de un MWh en dólares norteamericanos es de 5,918 \$USD (Fuente: Departamento Económico) y es el valor utilizado en los cálculos.

Gastos por energía dejada de servir= $9360h * 120 \text{ MWh} * 5,918 \text{ $USD/MWh}$

El valor resultante de la energía dejada de generar es de 6 647 940,00 (\$USD).

Por lo tanto el valor total del costo de la inversión y de la energía indisponible de ese período ligadas a las categorías de impacto evaluadas por el SimaPro y objetivo de nuestro estudio es de 12458916,36 \$USD.

En este proyecto estamos obteniendo, debido a las modificaciones planteadas una disminución en el consumo de 11 542 ton de fuel para igual período de trabajo analizado de la Unidad CMC4 con respecto a CMC3, que al precio de la ton 472,49 \$USD/ton equivale a 5 453 506,04 \$USD, para el estudio vamos a tomar igual período de trabajo de ambas unidades en los años 2009-2010.

A su vez se logra una disminución de 102 276 \$USD por concepto de ahorro del insumo eléctrico de CMC4 con respecto a CMC3 en el período que se analiza del año 2010.

El comportamiento del dinero en el tiempo es de vital importancia para determinar las verdaderas ganancias del proyecto, por lo que se deben aplicar técnicas que demuestren la factibilidad de la reparación llevada a cabo.

Para ello vamos a calcular el Valor Actual Neto (VAN) para los flujos de cajas que se proyectan para un período de cinco (5) años de evaluación de esta inversión. Se calcula además la Tasa Interna de Retorno (TIR) y se analizan los valores de este cálculo.

La Tabla 3.11 muestra el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) analizado para los 5 primeros años de la inversión, los valores que aparecen en el cálculo son el costo inicial de la inversión el mismo incluye las inversiones en caldera, equipos auxiliares del ciclo y la energía indisponible durante los 13 meses que estuvo parada la Unidad CMC4, por otra parte y representando los ahorros tenemos el dinero del ahorro de combustible 5 453 506,04 \$USD y del insumo eléctrico 102 276 \$USD dando un valor de ahorro total de 5555782,04 \$USD.

VALOR ACTUAL NETO			
Dinero invertido en sistemas ligados a la combustión en el Generador de Vapor. (VTF, CAR, Precalentadores de Aire y Quemadores). Equipos Auxiliares del Cido (BAA) y Energía Indisponible en el período de la modernización.			
	A	B	
	Datos	Descripción	
	15%	Tasa anual de descuento. Esto puede representar la tasa de inflación o la tasa de interés de una inversión de la competencia.	
0	-12458916,36	Costo inicial de la inversión.	
1	5555782,04	Rendimiento del primer año.	\$ -6.632.870,91
2	5555782,04	Rendimiento del segundo año.	\$ -2.979.854,03
3	5555782,04	Rendimiento del tercer año.	\$ 196.682,38
4	5555782,04	Rendimiento del cuarto año.	\$ 2.958.887,96
5	5555782,04	Rendimiento del quinto año.	\$ 5.360.805,85
	Fórmula	Descripción (resultado)	
	\$ 5.360.805,85	Valor neto actual de esta inversión.	

Tabla 3.11 Cálculo del VAN para un período de 5 años. Fuente: Elaboración propia.

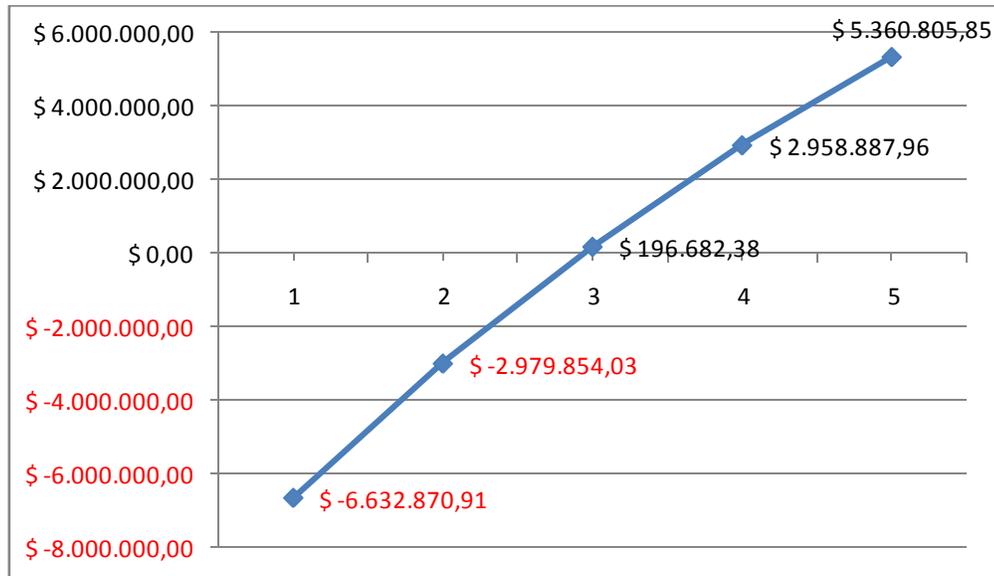


Figura 3.9 Representación gráfica del VAN. Fuente: Elaboración propia.

Del resultado anterior se puede apreciar que la inversión es factible ya que se comienza a recuperar a finales del segundo año como se aprecia en la Tabla 3.11 y en la Figura 3.9, esto es común en este tipo de proyectos de inversión a gran escala donde son cambiados sistemas completos para la mejora continua de la explotación de las unidades generadoras.

El análisis de la Tasa Interna de Retorno (TIR) muestra el punto de inversión en el cual se empiezan a tener ganancias ($VAN=0$) a partir de finales del segundo año (2,93), pero en este año existe una TIR de -7% cuando hacemos el balance general del mismo como se muestra en la Tabla 3.12, ya para el cuarto año existe una TIR de 28% y 34% al quinto año, este resultado es factible y valida la inversión realizada.

TASA INTERNA DE RETORNO		
Dinero invertido en sistemas ligados a la combustión en el Generador de Vapor. (VTF, CAR, Precalentadores de Aire y Quemadores). Equipos Auxiliares del Cido (BAA) y Energía Indisponible en el período de la modernización.		
	A	B
1	Datos	Descripción
2	-12458916	Costo inicial de la inversión.
3	5555782	Ingresos netos del primer año.
4	5555782	Ingresos netos del segundo año.
5	5555782	Ingresos netos del tercer año.
6	5555782	Ingresos netos del cuarto año.
7	5555782	Ingresos netos del quinto año.
	Fórmula	Descripción (resultado)
	28%	Tasa interna de retorno de la inversión después de cuatro años.
	34%	Tasa interna de retorno después de cinco años.
	-7%	Para calcular la tasa interna de retorno de la inversión después de dos años, tendrá que incluir una estimación (-44%).

Tabla 3.12 Cálculo del TIR para un período de 5 años. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES PARCIALES CAPÍTULO III.

1. Se evaluaron varias metodologías para el análisis del ciclo de vida de la electricidad en la Termoeléctrica Cienfuegos.
2. Se determinó la metodología a emplear para el análisis de las categorías de impacto del ciclo de vida de la energía eléctrica mediante una comparación de los resultados obtenidos a lo largo del Capítulo resultando ser el método Eco-Speed el empleado por ser este desarrollado para nuestras condiciones específicas.
3. Se realizó un cálculo comparativo usando el Eco-Speed para evaluar las condiciones de explotación de las unidades CMC3 y CMC4 y determinar las categorías de impacto significativas.
4. Se determinó que las categorías Uso de la Energía, Calentamiento Global y Daño de la Capa de Ozono son los que prevalecen en el modelo de análisis.
5. Se determinaron cinco (5) mejoras potenciales que deben ser aplicadas en la unidad CMC3 para lograr un ahorro de 5555782,03 \$USD.
6. La inversión realizada para implementar dichas mejoras comienza a ser recuperada a partir de los 2,93 años (TIR) utilizando una tasa del 15%.



CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES.

1. Se elaboró un marco teórico sobre la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) basados en la Bibliografía consultada y en el estudio y aplicación de la Norma NC-ISO 14040:1999 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Estructura.
2. Se tomaron datos de la producción de la Termoeléctrica Cienfuegos durante tres (3) años y estos fueron validados al ser parte integrante de los sistemas de pagos de cada trabajador de la empresa y base para el análisis a nivel nacional de la misma.
3. Se determinó mediante una comparación el método más adecuado para la interpretación y el análisis del Ciclo de Vida de la Energía Eléctrica, resultando ser este el método Eco-Speed al ser este desarrollado para las condiciones del territorio nacional y estar sus bases de datos actualizadas para nuestro contexto y condiciones de explotación de los productos y las materias primas, a su vez que evalúa los impactos potenciales que son registrados con mayor grado de exactitud en nuestro país.
4. Las categorías de impactos que más afectan en el Análisis del Ciclo de Vida de la electricidad son el Uso de la Energía (Energy Use), Calentamiento Global (Global Warming) y el daño a la Capa de Ozono (Ozono Layer).
5. Se logran ahorros de combustibles del orden de los 5453506,03 \$USD en el período evaluado al ser comparadas ambas unidades generadoras CMC3 y CMC4, son logrados además ahorros de insumo eléctrico por un valor de 102276 \$USD dando esto un total de 5555782,03 \$USD.
6. Se realizó un análisis del proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos y se identificaron cinco (5) mejoras potenciales que pueden ser aplicadas en la Unidad CMC3 para la optimización de los indicadores y la mitigación de los impactos ambientales de la misma.
7. La inversión realizada para la implementación de estas mejoras tiene un Valor Actual Neto (VAN) de 5360805,85 \$USD al cabo de 5 años para una tasa de un 15% y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de 2,93 años, a partir de ese

período se comienza a recuperar el dinero invertido siendo esta recuperación de un 34% del monto de la inversión inicial para un período de 5 años.



RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES.

1. Presentar el trabajo en la Termoeléctrica de Cienfuegos y dirección de la Unión Eléctrica (UNE) para que sean llevadas a cabo las modificaciones de la Unidad CMC3.
2. Determinar la huella de Carbono del país en función de la contaminación que se produce a través de las centrales de producción de energía eléctrica.
3. Realizar el Análisis del Ciclo de Vida en otras Centrales Termoeléctricas del país para conocer las categorías de impactos que más afectan el medio ambiente, la salud humana y la producción en sentido general.
4. Tomar los datos necesarios en cuanto a emisiones, materias primas, productos usados y derivados de las producciones, contaminación de aire, agua, suelo y daños a la salud humana que estén relacionados con la producción de energía eléctrica en otras centrales de producción de electricidad del país para la optimización de las bases de datos de la metodología Eco-Speed.
5. Realizar la modernización (Reconversión a combustible dual) de la Unidad CMC3 y así mitigar los impactos ambientales que esta produce.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.

2011a. "Carbon dioxide." *Wikipedia*. http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide.

2011b. "Central termoeléctrica." *Wikipedia*.
http://es.wikipedia.org/wiki/Central_termoeléctrica#Centrales_termoel.C3.A9ctricas_d_e_ciclo_convencional.

"Ciencia para el desarrollo energético sostenible." *CUBAENERGÍA*.
<http://www.cubaenergia.cu/index.php>.

2011a. "Combustible fósil." *Wikipedia*. http://es.wikipedia.org/wiki/Combustible_fósil.

2011b. "En Cuba modernas centrales consolidan el sistema electroenergético." *Radio Cadena Agramonte*.
http://www.cadenagramonte.cu/index.php?option=com_content&view=article&id=5892:en-cuba-modernas-centrales-consolidan-el-sistema-electroenergetico&catid=2:nacionales&Itemid=50.

2011c. "Energía eléctrica." *Wikipedia*. http://es.wikipedia.org/wiki/Energía_eléctrica.

2011d. "Generación de energía eléctrica." *Wikipedia*.
http://es.wikipedia.org/wiki/Generación_de_energía_eléctrica.

2009. "Indicadores de consumo de energía eléctrica." *CUBAENERGÍA*.
http://www.cubaenergia.cu/index.php?option=com_phocadownload&view=section&id=1&Itemid=273.

2011. "Petróleo." *Wikipedia*. <http://es.wikipedia.org/wiki/Petróleo>.

2006. "PRINCIPALES PRODUCTOS DE CODELCO: COBRE Y MOLIBDENO Cobre." *CODELCO*.
<http://www.codelco.com/desarrollo/reporte/2006/textos/sustentable.htm>.

Arrastía Ávila, Mario Alberto. 2011. "Electricidad perdida." *Juventud rebelde*
http://www.cubaenergia.cu/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=651&tmpl=component&format=raw&Itemid=5.

Carletti, Eduardo J. 2006. "Nuevo récord de dióxido de carbono." *Ciencia en Axxón*.
<http://axxon.com.ar/not/160/c-1600162.htm>.

CHACÓN VARGAS, JAIRO RAÚL. 2008. "Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV) Con una bibliografía selecta." *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 72*, 37-70.

Cordero hernández, Arahít, and Pérez Noa, Carlos. 2010. "Análisis del Ciclo de Vida de la producción de azúcar en la provincia de Cienfuegos." Universidad de Cienfuegos.

Corral, Alfonso M. 2009. "Convertir el CO2 en combustible." *Cuánta Ciencia*.
<http://www.cuantaciencia.com/tecnologia/convertir-co2-combustible>.

Ecodiseño Centroamérica. 2008. "Revista Trimestral Latinoamericana Caribeña de Desarrollo Sustentable."

García Santos, Nelson. 2009. "Cuba a la vanguardia en el uso de la metodología Análisis del Ciclo de Vida." *Juventud rebelde*, digital.

Goedkoop, Mark, Effing, Suzanne, and Collignon, Marcel. 1999. "Anexo Eco-indicador 99."

Jolliet, Olivier, Margni, Manuele, and Colectivo de Autores. 2003. "A New Life Cycle Impact Assessment Methodology."

León Rodríguez, Rosa María. 2010. "Análisis del Ciclo de Vida de la producción de Cemento.." Universidad de Cienfuegos.

Lorenzo Tillard, Graciela. 2008a. "Aún mejor que los bio-combustibles: Logran convertir el dióxido de carbono en gas natural." *Ciencia en Axxón*.
<http://axxon.com.ar/not/185/c-1851034.htm>.

Lorenzo Tillard, Graciela. 2008b. "El CO2 en la atmósfera marca su máximo en 20 millones de años." *Ciencia en Axxón*. <http://axxon.com.ar/not/189/c-1891123.htm>.

Martínez, Eduardo. 2003. "Revista Trimestral latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable."

Moreno Figueredo, Conrado. 2006. "Calcular la energía."

Oficina Nacional de Normalización. 2007. "NC 521 VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LA ZONA COSTERA Y AGUAS MARINAS."
www.nc.cubaindustria.cu.

Oficina Nacional de Normalización. 2005. "NC ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental."

Oficina Nacional de Normalización. 1999. "NC ISO 14040 Gestión Ambiental Análisis del Ciclo de Vida."

Oficina Nacional de Normalización. 2000. "NC ISO 14041 Gestión Ambiental Análisis del Ciclo de Vida Definición del Objetivo y Alcance y Análisis del Inventario."

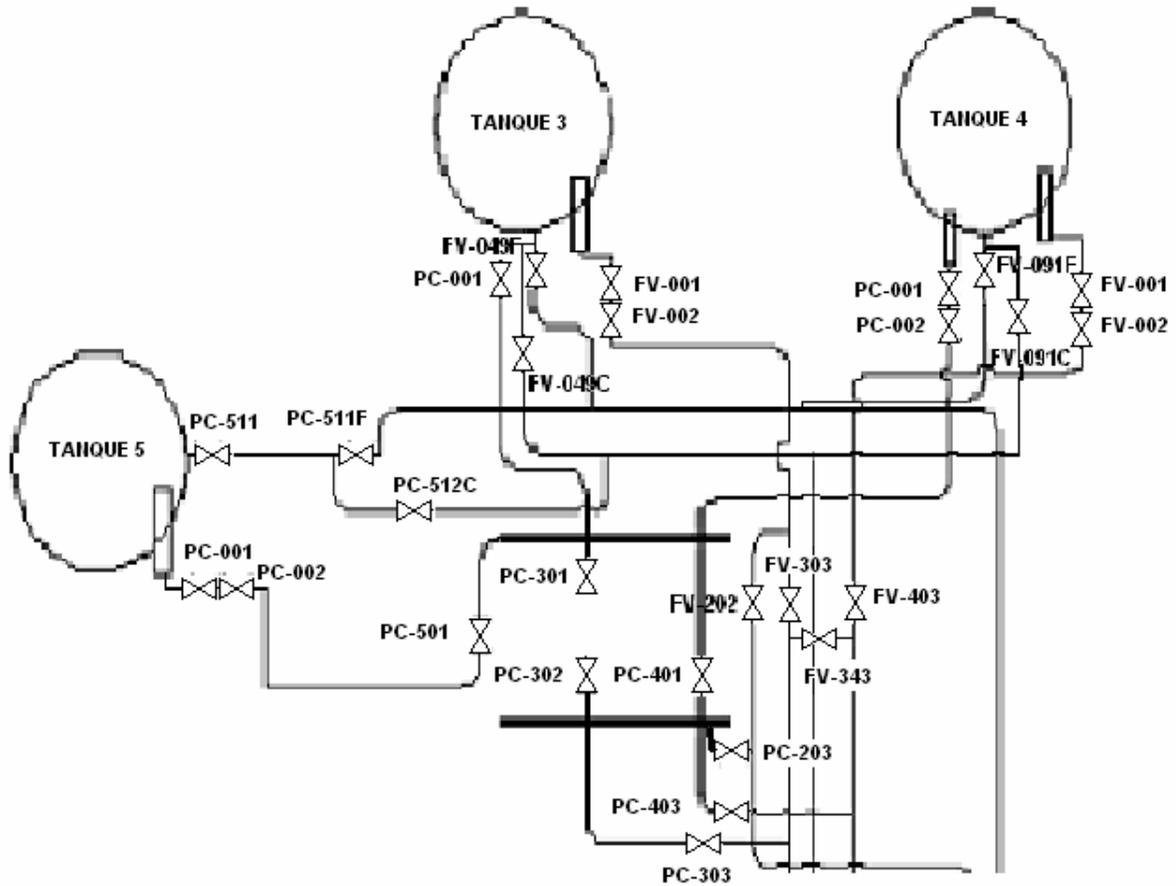
- Oficina Nacional de Normalización. 2001a. "NC ISO 14042 Gestión Ambiental Análisis del Ciclo de Vida Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida."
- Oficina Nacional de Normalización. 2001b. "NC ISO 14043 Gestión Ambiental Análisis del Ciclo de Vida Interpretación del Ciclo de Vida."
- Oficina Nacional de Normalización. 2010. "NC TS 803 CALIDAD DEL AIRE EMISIONES MÁXIMAS ADMISIBLES DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA EN FUENTES FIJAS PUNTUALES DE INSTALACIONES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD Y VAPOR."
- Rieznik Lamana, Natalia, and Hernández Aja, Agustín. 2005. "Análisis del ciclo de vida." *Ciudades para un Futuro más Sostenible*. <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html>.
- Rodríguez Pérez, Berlan. 2011. "Eco - Speed."
- Romero Rodríguez, Blanca Iris. 2003. "Tendencias Tecnológicas."
- Salazar, Carlos. 2011. "Impacto Ambiental." *Buenas tareas*. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Impacto-Ambiental/1652040.html>.
- Serrano, David, and Dufour, Javier. 2008. "El Análisis del Ciclo de Vida de la Energía 1ra Parte." *Energía y Sostenibilidad*. <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2008/05/22/92559>.
- Suppen, Nydia, and Hoof, Bartvan. 2005. "Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño."
- Unión de Petróleos de México. 1996. "COMPONENTES Y FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL." http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/sistemas/sistemas.htm#2.1. COMPONENTES Y FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL – S.G.A.
- Vijay, Samudra, Molina, Luisa T., and Molina, Mario J. 2004. "CÁLCULO DE EMISIONES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO."
- Yano, Takanori, and Kiyama, Kenji. 2003. "Low NOx Combustion Technologies For Lignite Fired Boilers."



ANEXOS

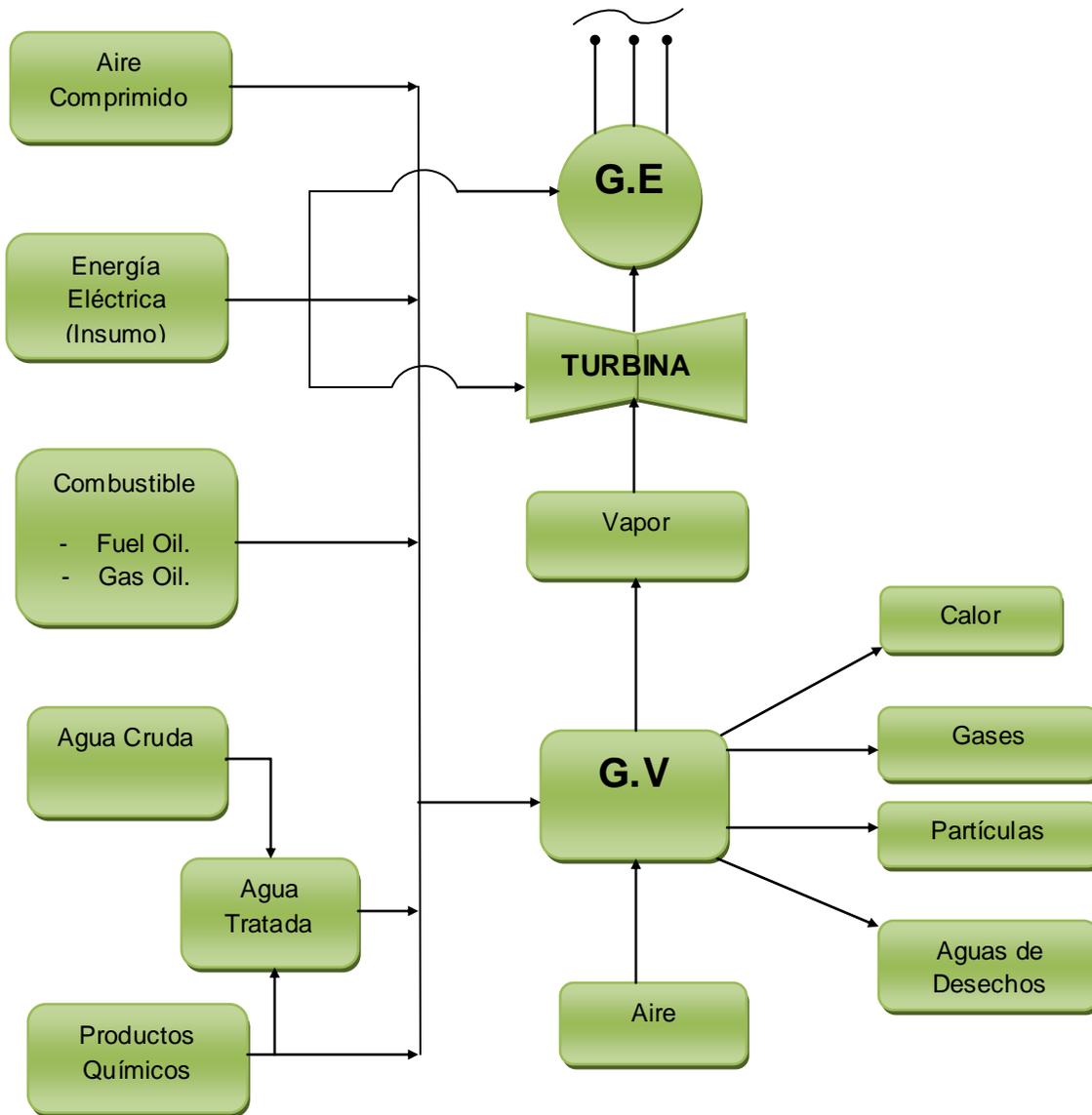
Anexo No. 1

Esquema del Sistema de Combustible (Fuel Oil) de la Termoeléctrica de Cienfuegos. Fuente: Procedimiento de Operación de Caldera Japonesa.



Anexo No. 2

Diagrama de proceso de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.



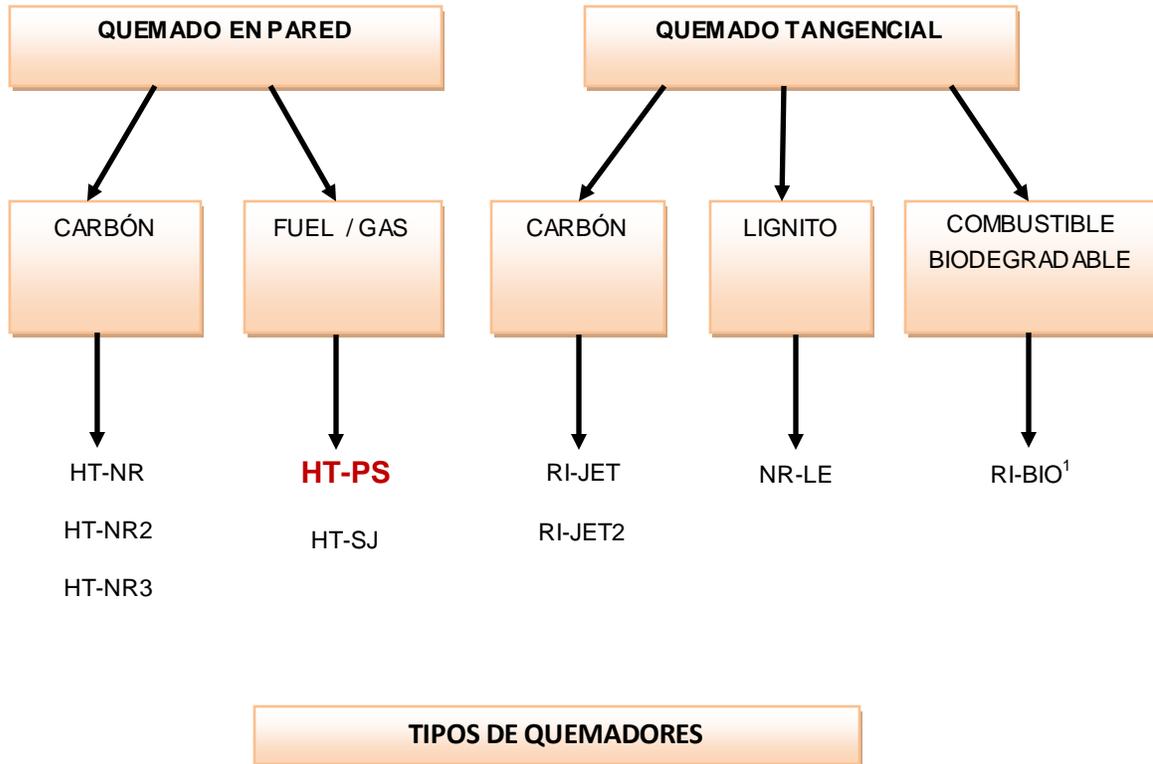
Anexo No. 3

Datos totales de entrada y salida del proceso de generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

	CMC3			CMC4		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
Generación Bruta MWh	716844	372261	838670	175585	822687	961838
Cantidad de Agua Cruda (m ³)	377802,667	96042,398	141145,17	92215,844	212466,784	162089,292
Cantidad de Agua de Mar (m ³)	224640000	224640000	224640000	224640000	224640000	224640000
Cantidad de Agua Tratada (m ³)	111889	73335	74108	20815	85412,48	86307
Cantidad de Alúmina (Al ₂ (SO ₄) ₃) g	9636000	3732000	5580000	2352000	8256000	6408000
Cantidad de Sosa Caustica 50% (NaOH) g	139470661	58567520	89821725	34042652,0	129564160	103150110
Cantidad de Ácido Sulfúrico 98% (H ₂ SO ₄) g	196693244	70063013	84846690	48009808	154994704	97436844
Cantidad de Hidrógeno (g)	89971,2	89971,2	112464	14995,2	89971,2	89971,2
Cantidad de Aceite (L)	4800	1447	1837	Modernización	5773	6511
Cantidad de Fosfato Trisódico (Na ₃ PO ₄) (g)	365365	204949	196230	89180	453392	225348
Cantidad de Hidracina al 4%(H ₄ N ₂) (g)	389455	117558	302715	95060	260064	347634
Cantidad de Sulfato Ferroso (FeSO ₄) (g)	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000	2500000
Diesel (g)	261240000	244550000	190130000	55680000	580580000	214440000
GASES						
Dióxido de Carbono CO ₂ (%)	14,7583	14,8167	14,8375	14,9000	14,3300	14,3375
CO (ppm)	89,7500	76,2500	13,7500	73,3333	107,4000	14,3750
NO (ppm)	185,4167	217,2500	250,6250	190,0000	217,8000	215,8750
NOX (ppm)	140,0000	212,3750	260,0000	160,0000	244,3000	240,1250

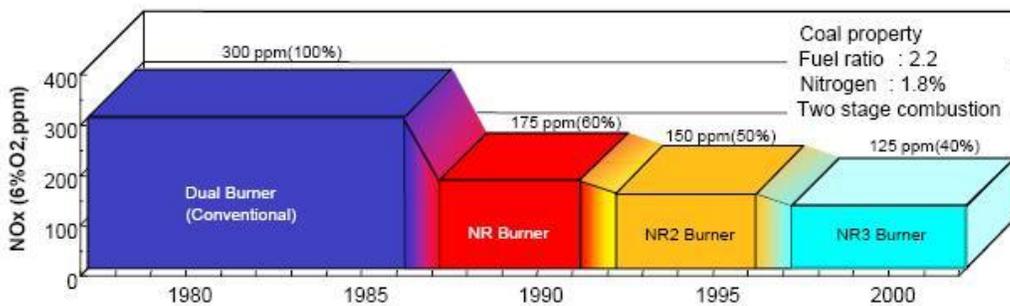
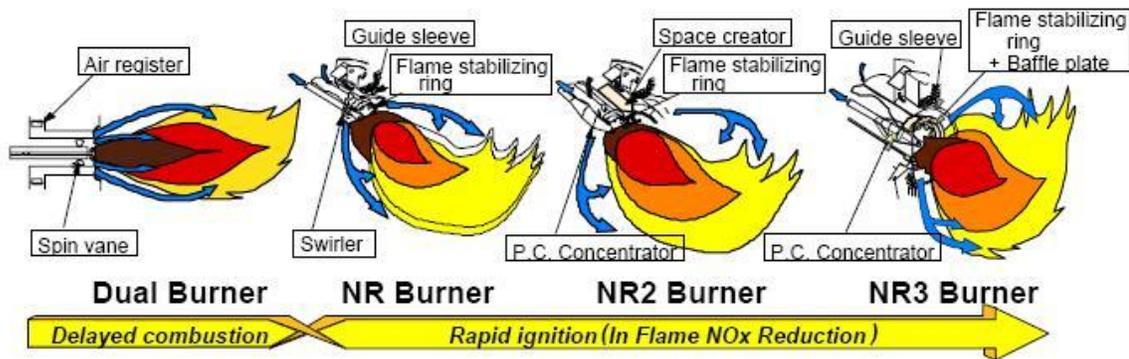
Anexo No. 4

Línea de Fabricación de los Quemadores Hitachi para calderas y tipos de combustibles. Fuente: Babcock – Hitachi K.K., Japan.



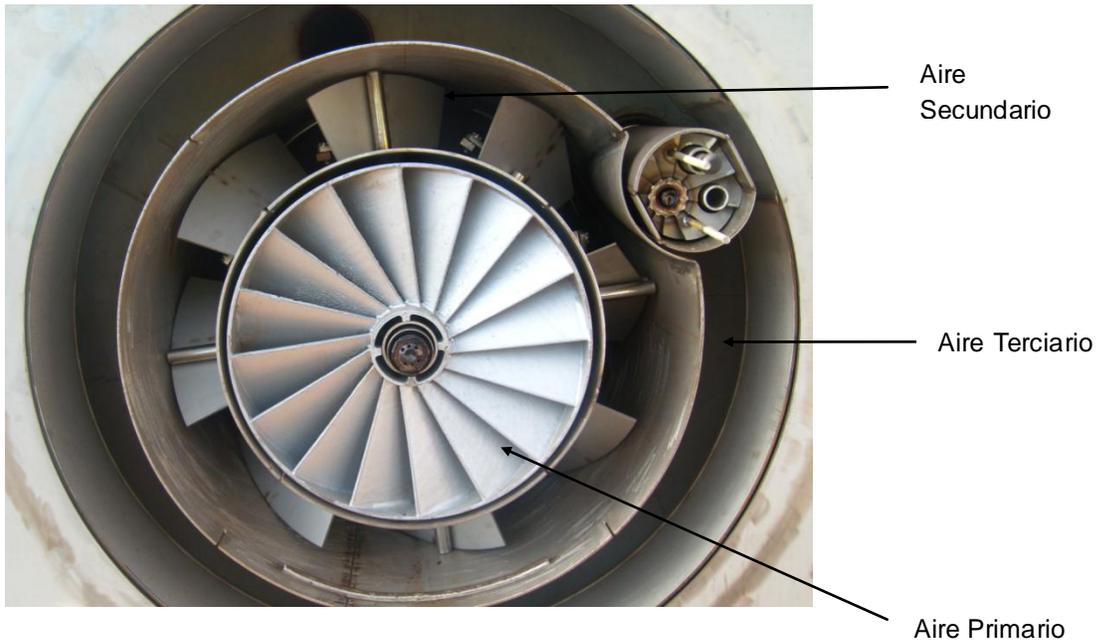
Anexo No. 5

Desarrollo de los quemadores de Babcock- Hitachi K.K. desde el quemador dual (Dos Aires) hasta el quemador NR3, quemador de tres aires y anillos estabilizadores de llama. Fuente: Low NO_x Combustion Technologies for Lignite Fired Boilers.



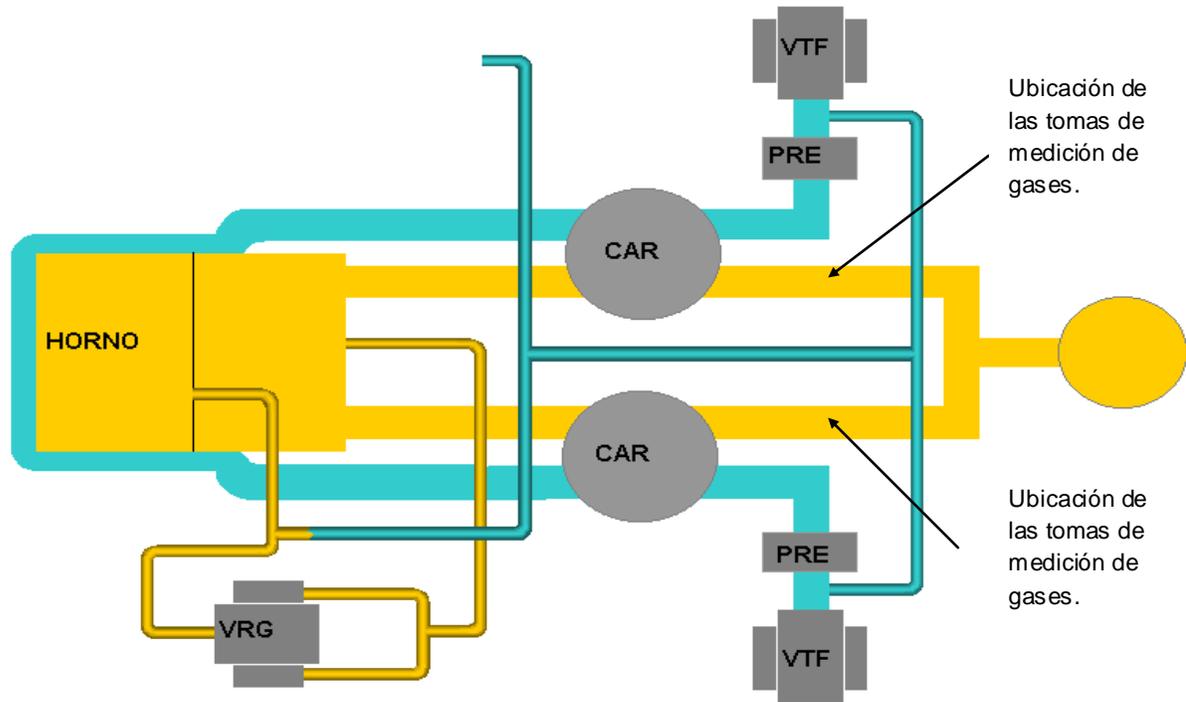
Anexo No. 6

Fotografías que muestran las zonas de inyección de los tres aires utilizados para la combustión y la llama en el horno en el quemador HT-PS, respectivamente. Fuente: Elaboración propia.



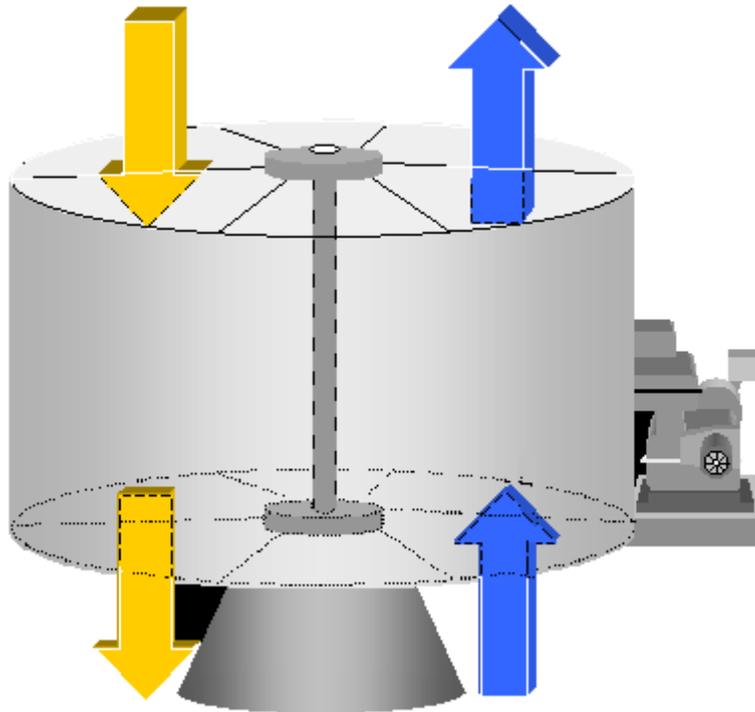
Anexo No. 7

Ubicación de las tomas de medición de compuestos gaseosos en el Sistema de Aire-Gases. Fuente: Elaboración propia.



Anexo No. 8

Dibujo esquemático del Calentador de Aire Regenerativo (CAR) donde se observa la entrada de aire (azul) y la salida de gases (amarillo). Fuente: Elaboración propia.



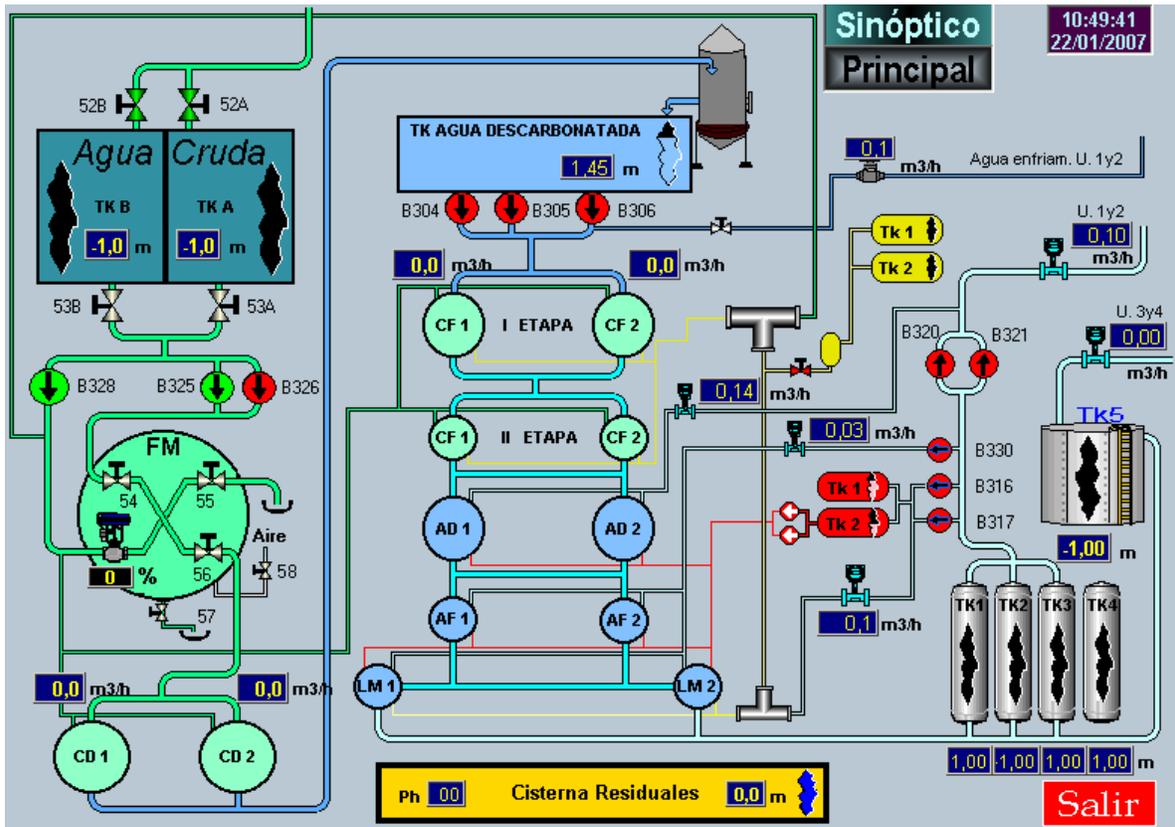
Anexo No. 9

Normas de parámetros químicos para las calderas de 140 atmósferas. Fuente: Normas de operación de PTQA.

Parámetros a controlar	U/M	Agua alimentar	Condensado	Vapores	Agua caldera	Agua enfria- miento
Dureza total	µg-eq/l	3	3	-	-	
Sílice (SiO ₂)	µg/l	50	-	20	-	
Sílice (SiO ₂)	mg/l	-	-	-	0.9	
Fosfato	mg/l	-	-	-	2-6	
Oxígeno (O ₂)	µg/l	10	30	-	-	
Hidracina (N ₂ H ₄)	µg/l	10-50	-	-	-	
Amoníaco libre (NH ₃)	mg/l	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	-	
Hierro (Fe)	µg/l	20	-	20	-	
Cobre (Cu)	µg/l	5	-	5	-	
Conductividad	µs/cm	-	-	-	50	
Conductividad desg.	µs/cm	0.3	0.3	0.3	-	
pH	-	8.7-9.2	8.7-9.2	8.7-9.2	8.8-9.2	

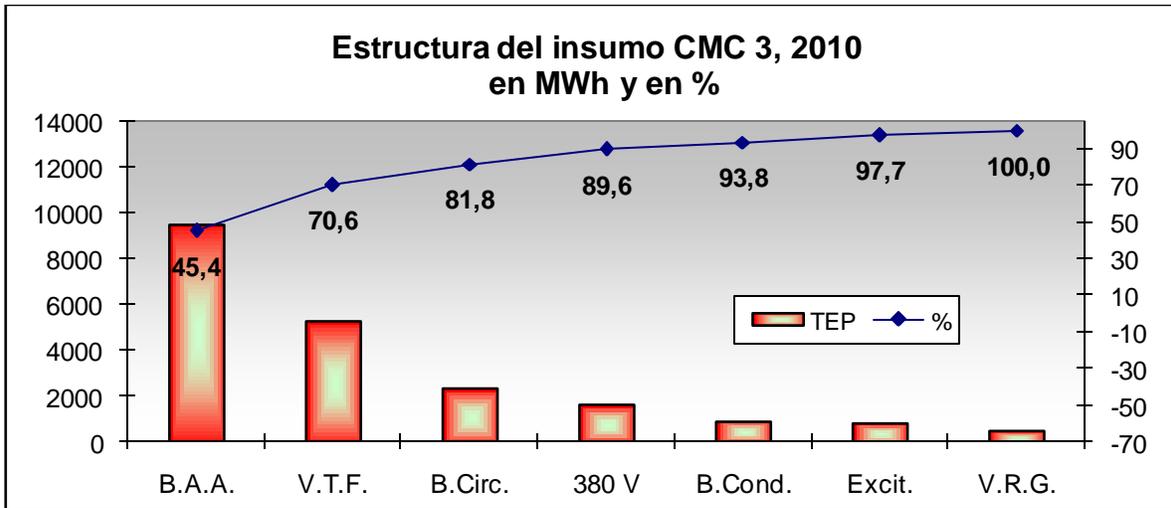
Anexo No. 10

Esquema de la Planta de PTQA: Fuente Programa de Control y Supervisión de PTQA MOVICOM

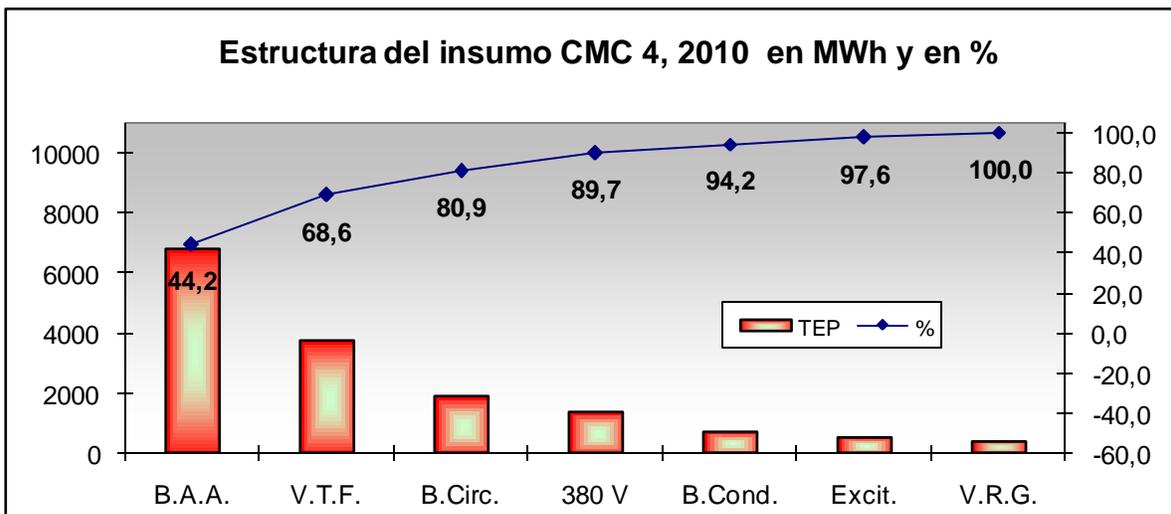


Anexo No. 11

Estructura del Insumo por equipos de CMC 3 en el año 2010. Fuente: Departamento de Régimen, Termoeléctrica de Cienfuegos.



Estructura del Insumo por equipos de CMC 4 en el año 2010. Fuente: Departamento de Régimen, Termoeléctrica de Cienfuegos.



Anexo No. 12

Comparación entre las unidades CMC3 y CMC4 del Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica. Categoría de daño. Fuente: SimaPro 7.1

Categoría de Daño	Unidad	Termo. Carlos Manuel de Céspedes CMC3 (2010)	Termo. Carlos Manuel de Céspedes CMC4 (2010)
Total	Pt	6,7926395E-10	6,5168071E-10
Human Extermination	Pt	5,1260842E-11	4,918108E-11
Resources Consumption	Pt	5,4035914E-10	5,1841301E-10
Earth Contamination	Pt	8,7643964E-11	8,4086623E-11

Anexo No. 13

Comparación entre las unidades CMC3 y CMC4 del Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica. Categoría de impacto. Fuente: SimaPro 7.1

Categoría de impacto	Unidad	Termo. Carlos Manuel de Céspedes CMC3 (2010)	Termo. Carlos Manuel de Céspedes CMC4 (2010)
Total	Pt	6,7926395E-10	6,5168071E-10
Carcinogens (AIR)	Pt	3,2515145E-12	3,1208383E-12
Non Carcinogens (AIR)	Pt	5,8064347E-12	5,5709972E-12
Carcinogens (Water)	Pt	2,1635181E-11	2,0756575E-11
Non Carcinogens (water)	Pt	2,0567671E-11	1,9732625E-11
Carcinogens (Soil)	Pt	9,7763778E-24	1,0925243E-23
Non Carcinogens (Soil)	Pt	4,066102E-17	4,4517669E-17
EcoTox (Air)	Pt	2,2060407E-20	2,1261778E-20
EcoTox (Water)	Pt	5,1441504E-16	4,9352721E-16
EcoTox (Soil)	Pt	0	0
Global Warming (IPCC-100)	Pt	6,1244362E-11	5,8758926E-11
Ozone Layer	Pt	2,6399087E-11	2,5327203E-11
Land Use	Pt	7,4486441E-17	7,4732581E-17
Energy Use	Pt	5,402881E-10	5,1834182E-10
Mineral Use	Pt	1,8363733E-17	1,7626425E-17
Water Use	Pt	7,0948344E-14	7,109373E-14

Anexo No. 14

Cálculo de la reserva de aire de los Ventiladores de Tiro Forzado (VTF) de la Unidad CMC4 en pruebas de garantía. Fuente: Pruebas de aceptación provisional de la Unidad CMC4.

	Data	Unit	Remaks
C in fuel	80.4	%	Anticipated
H in Fuel	9	%	Anticipated
S in fuel	8	%	Design maximum
N in fuel	0.2	%	Anticipated
Fuel flow	36.3	t/h	Anticipated
Eco.O2	1.1/1.3	%	Combustion 14-Feb.'09.
Eco. CO2	14	%	Combustion 14-Feb.'09.
Eco. CO	32/21	ppm	Combustion 14-Feb.'09.
N2	84.8968	%	= 100 - O2 - CO2 - CO
Moisture in air	0.017	kg/kg dry	Anticipated (WmA)
WG14	15.029/15.033	kkg/kg fuel	Eco. outlet gas
AH leakage	10	%	Designmaximum
WG15	16.532/16.537	kkg/kg fuel	AH outlet gas
W'GN2	12.979/12.948	kkg/kg fuel	AH outlet gas
WA	16.886/16.846	kkg/kg fuel	=(WGN2 - N2)/0.7685
W'WA	623.366/621,905	m3/min.	= WA x (1 + Wma) x FC
WwA	4,393/4.383	m3/min.	
FDF capacity	4894	m3/min.	
FDF margin	11.4/11.7	%	