



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL INVENTARIO EN LA GENERACIÓN
DISTRIBUIDA DE ELECTRICIDAD EN EL EMPLAZAMIENTO
DE FUEL OÍL BAYAMO PROVINCIA CUBANA DE GRANMA,
APLICANDO EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.”**

**TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

AUTORES:

Edwin Miguel Acurio García

Cristian Xavier Estrella Gavilanes

DIRECTOR:

Dr.C. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

LATACUNGA

–

ECUADOR

2011



UNIVERSIDAD DE GRANMA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TÉCNICAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL INVENTARIO EN LA GENERACIÓN
DISTRIBUIDA DE ELECTRICIDAD EN EL EMPLAZAMIENTO
DE FUEL OÍL BAYAMO PROVINCIA CUBANA DE GRANMA,
APLICANDO EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.”**

**TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

AUTORES: Edwin Miguel Acurio García

Cristian Xavier Estrella Gavilanes

TUTOR: Dr.C Edilberto Antonio Llanes Cedeño

“Año 53 de la Revolución”

CURSO ACADÉMICO 2010 - 2011

AUTORÍA

Los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación “Análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis del Ciclo de vida”, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Edwin Miguel Acurio García
050269434-2

Cristian Xavier Estrella Gavilanes
050304125-3

AUTORIZACIÓN

Ing. Dr.C. Edilberto Antonio Llanes Cedeño
VICE-DECANO de la facultad de Ingeniería
DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director del Trabajo de investigación sobre el tema:
“Análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis del Ciclo de vida”, de: Acurio García Edwin Miguel y Estrella Gavilanes Cristian Xavier, postulantes de Ingeniería Electromecánica, certifico haber revisado en forma acuciosa el informe final de la investigación y haber cumplido con los requerimientos metodológicos, aportes científico-técnicos, académicos y reglamentarios de la institución, por lo que autorizo su presentación ante las instituciones pertinentes.

Bayamo, Febrero, 2011



Ing. Dr.C. Edilberto Antonio Llanes Cedeño
DIRECTOR DE TESIS

**UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TECNICAS**

OPINIÓN CRÍTICA DEL TUTOR

I. DATOS DEL TUTOR

Dr. C. Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Departamento de Ciencias Técnicas.

Facultad de Ingeniería.

II. DATOS DE LA TESIS

Título: Análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis del Ciclo de Vida.

Diplomante: Edwin Miguel Acurio García

III. CONTENIDO DE LA OPINIÓN CRÍTICA

El título tiene plena relación con el contenido abordado, existiendo una adecuada correspondencia entre el problema, hipótesis y objetivo.

El trabajo está estructurado de la siguiente forma: Introducción, Desarrollo (por 3 capítulos: Fundamentación del tema, Materiales - Métodos y Análisis - discusión de los resultados), Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos.

Uno de los grandes retos que han de abordar los países en los próximos años, en función de las actuales tendencias de una sociedad más sostenible, lo constituyen las grandes transformaciones que se experimentan en el ámbito energético y ambiental.

El esquema energético mundial está sustentado sobre la base de combustibles fósiles (alrededor del 80 %), donde su empleo a gran escala y deliberadamente ha provocado ya efectos medioambientales adversos. Cuba no es la excepción.

Uno de los energéticos fundamentales y más generalizado en Cuba es la electricidad, independientemente que el estado cubano ha potenciado formas renovables para su obtención (parques eólicos), aún es insuficiente, frente a las obtenidas a partir de la combustión de combustibles fósiles. En los últimos años como alternativa a los problemas presentados en la generación y distribución de electricidad, solución a problemas sociales y estrategia de seguridad nacional, se han venido estableciendo grupos de generación distribuida de electricidad (grupos electrógenos) de diferentes capacidades de generación, los cuales emplean motores de combustión interna alimentados con combustibles Diesel y Fuel Oil. Estos, a pesar que su consumo es inferior en comparación con las

termoeléctricas, emiten una serie de productos (gaseosos y líquidos) que impactan de forma negativa al medio, siendo necesario aplicar herramientas de gestión ambiental que permitan conocer el comportamiento de esta forma de producción de energía con vista a buscar mejoras en las diferentes etapas y poder fundamentarlas.

El trabajo es de una gran importancia, dado que establece el inventario de materiales consumidos y generados en el proceso como primer paso y fundamental para establecer un estudio ambiental de Análisis de Ciclo de Vida, cada vez más generalizado en el mundo.

El estudiante mostró gran independencia, creatividad y dedicación para la realización del trabajo, llegando a consultar una serie de materiales que enriquecieron el mismo y a aplicar conocimientos que le fueron transmitidos durante todo el desarrollo de su carrera y otros adquiridos durante el trabajo.

El trabajo posee buena presentación y rigor científico, estructurado en 61 páginas incluyendo la bibliografía, donde se asentaron 47 referencias bibliográficas de gran actualidad (36 % de los últimos 5 años), posee 4 anexos donde se exponen una serie de informaciones necesarias para la comprensión del trabajo.

La forma de exponer los aspectos evaluados es precisa.

Las conclusiones son claras, dando respuesta a la problemática planteada. Las recomendaciones están dirigidas fundamentalmente a evaluar y corregir las desviaciones en los gases producto de la combustión y el afluente líquido, además de cumplimentar el resto de las etapas que componen el Análisis de Ciclo de Vida.

El mismo presenta algunas insuficiencias tales como:

1. Algunas tablas están fuera de los márgenes establecidos.
2. La figura 3.1 debe garantizar una mejor comprensión del sistema.

Considero que estos errores no influyen significativamente en la calidad del trabajo y propongo al tribunal que acepte el trabajo como válido para la culminación de sus estudios y el otorgamiento del Título de Ingeniero electromecánico, con la calificación de Excelente: 5 puntos.



Tutor: Dr. C/ Ing. Edilberto Llanes Cedeño



Opinión crítica del Oponente

Título del trabajo: Análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis de Ciclo de Vida.

Autor: Edwin Miguel Acurio García.

El contenido del trabajo se corresponde con la tarea indicada, ya que el tema energético ocupa un espacio primordial en el mundo y especialmente en nuestro país.

En este trabajo se dan los principales elementos del análisis de inventario utilizando el Análisis de Ciclo de Vida como una herramienta para evaluar la entrada y salida de materiales, energéticos y demás activos en un proceso productivo; en específico la generación eléctrica utilizando grupo electrógenos de aquí la importancia que reviste este trabajo.

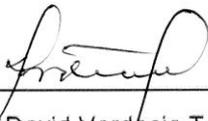
El trabajo tiene una buena presentación, con 4 anexos. Además posee 62 cuartillas distribuidas en la Introducción, desarrollo, Materiales y métodos, Análisis y discusión de los resultados, Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos y bibliografías, esta última con un total de 46, de estas 9 de los últimos 5 años y 12 en idioma extranjero. El trabajo tiene originalidad y posee buena calidad desde el punto de vista científico-técnico, se utilizan las técnicas informáticas para la conformación y análisis de los resultados.

Las conclusiones son precisas y dan respuestas a la problemática planteada.

Enumeración crítica de los errores e insuficiencias del trabajo.

1. Las insuficiencias fueron corregidas antes de la discusión.

Por todo lo anterior pedimos al tribunal acepte el trabajo como culminación de estudios y le otorgue la máxima calificación excelente, 5 puntos


MSc. Ing. David Verdécia Torres.





UNIVERSIDAD DE GRANMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA DE DISCUSIÓN DE LOS TRABAJOS DE DIPLOMA

Título del trabajo: Analisis del rendimiento de generación de energía de eficiencia en el desplazamiento de fuel Oil Programo provincia cubra de Granma aplicados al Grupos del ciclo de vida.

Nombre del alumno (a): Edwin Miguel Georio Correo

Año académico: 2010/2011 Tipo de curso: _____

Curso: _____ Fecha: 22/01/2011

Tribunal: Presidente: Dr Rubén Joven Pereira

Vocal: Dr Raúl Pacheco Combra

Secretario: Dr Jorge Ross ymora

Índices evaluados:

1. Calidad del trabajo (uso de la metodología de la investigación científica, actualización científico-técnica, uso de las estrategias curriculares, entre otros.) 5
2. Capacidad creadora, originalidad e independencia en el desarrollo del trabajo. 5
3. Calidad de la exposición, respuestas a las preguntas y dominio del tema. 5
4. Opinión crítica del tutor. 5
5. Opinión crítica del oponente. 5
6. Opinión de la entidad laboral. 5

Calificación otorgada según los índices evaluados: Excepcnte

(5) puntos

Firma del presidente: _____

Firma del alumno: _____



**UNIVERSIDAD DE GRANMA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS TECNICAS**

OPINIÓN CRÍTICA DEL TUTOR

I. DATOS DEL TUTOR

Dr. C. Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Departamento de Ciencias Técnicas.

Facultad de Ingeniería.

II. DATOS DE LA TESIS

Título: Análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis del Ciclo de Vida.

Diplomante: Cristian Xavier Estrella Gavilanes

III. CONTENIDO DE LA OPINIÓN CRÍTICA

El título tiene plena relación con el contenido abordado, existiendo una adecuada correspondencia entre el problema, hipótesis y objetivo.

El trabajo está estructurado de la siguiente forma: Introducción, Desarrollo (por 3 capítulos: Fundamentación del tema, Materiales - Métodos y Análisis - discusión de los resultados), Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos.

Uno de los grandes retos que han de abordar los países en los próximos años, en función de las actuales tendencias de una sociedad más sostenible, lo constituyen las grandes transformaciones que se experimentan en el ámbito energético y ambiental.

El esquema energético mundial está sustentado sobre la base de combustibles fósiles (alrededor del 80 %), donde su empleo a gran escala y deliberadamente ha provocado ya efectos medioambientales adversos. Cuba no es la excepción.

Uno de los energéticos fundamentales y más generalizado en Cuba es la electricidad, independientemente que el estado cubano ha potenciado formas renovables para su obtención (parques eólicos), aún es insuficiente, frente a las obtenidas a partir de la combustión de combustibles fósiles. En los últimos años como alternativa a los problemas presentados en la generación y distribución de electricidad, solución a problemas sociales y estrategia de seguridad nacional, se han venido estableciendo grupos de generación distribuida de electricidad (grupos electrógenos) de diferentes capacidades de generación, los cuales emplean motores de combustión interna alimentados con combustibles Diesel y Fuel Oil. Estos, a pesar que su consumo es inferior en comparación con las

termoeléctricas, emiten una serie de productos (gaseosos y líquidos) que impactan de forma negativa al medio, siendo necesario aplicar herramientas de gestión ambiental que permitan conocer el comportamiento de esta forma de producción de energía con vista a buscar mejoras en las diferentes etapas y poder fundamentarlas.

El trabajo es de una gran importancia, dado que establece el inventario de materiales consumidos y generados en el proceso como primer paso y fundamental para establecer un estudio ambiental de Análisis de Ciclo de Vida, cada vez más generalizado en el mundo.

El estudiante mostró gran independencia, creatividad y dedicación para la realización del trabajo, llegando a consultar una serie de materiales que enriquecieron el mismo y a aplicar conocimientos que le fueron transmitidos durante todo el desarrollo de su carrera y otros adquiridos durante el trabajo.

El trabajo posee buena presentación y rigor científico, estructurado en 61 páginas incluyendo la bibliografía, donde se asentaron 47 referencias bibliográficas de gran actualidad (36 % de los últimos 5 años), posee 4 anexos donde se exponen una serie de informaciones necesarias para la comprensión del trabajo.

La forma de exponer los aspectos evaluados es precisa.

Las conclusiones son claras, dando respuesta a la problemática planteada. Las recomendaciones están dirigidas fundamentalmente a evaluar y corregir las desviaciones en los gases producto de la combustión y el afluente líquido, además de cumplimentar el resto de las etapas que componen el Análisis de Ciclo de Vida.

El mismo presenta algunas insuficiencias tales como:

1. Algunas tablas están fuera de los márgenes establecidos.
2. La figura 3.1 debe garantizar una mejor comprensión del sistema.

Considero que estos errores no influyen significativamente en la calidad del trabajo y propongo al tribunal que acepte el trabajo como válido para la culminación de sus estudios y el otorgamiento del Título de Ingeniero electromecánico, con la calificación de Excelente: 5 puntos.


Tutor: Dr. C. Ing. Edilberto Llanes Cedeño



Opinión crítica del Oponente

Título del trabajo: Análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis de Ciclo de Vida.

Autor: Cristian Xavier Estrella Gavilanes.

El contenido del trabajo se corresponde con la tarea indicada, ya que el tema energético ocupa un espacio primordial en el mundo y especialmente en nuestro país.

En este trabajo se dan los principales elementos del análisis de inventario utilizando el Análisis de Ciclo de Vida como una herramienta para evaluar la entrada y salida de materiales, energéticos y demás activos en un proceso productivo; en específico la generación eléctrica utilizando grupo electrógenos de aquí la importancia que reviste este trabajo.

El trabajo tiene una buena presentación, con 4 anexos. Además posee 62 cuartillas distribuidas en la Introducción, desarrollo, Materiales y métodos, Análisis y discusión de los resultados, Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos y bibliografías, esta última con un total de 46, de estas 9 de los últimos 5 años y 12 en idioma extranjero.

El trabajo tiene originalidad y posee buena calidad desde el punto de vista científico-técnico, se utilizan las técnicas informáticas para la conformación y análisis de los resultados.

Las conclusiones son precisas y dan respuestas a la problemática planteada.

Enumeración crítica de los errores e insuficiencias del trabajo.

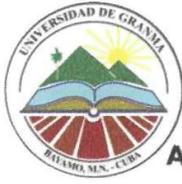
1. Las insuficiencias fueron corregidas antes de la discusión.

Por todo lo anterior pedimos al tribunal acepte el trabajo como culminación de estudios y le otorgue la máxima calificación excelente, 5 puntos



MSc. Ing. David Verdecia Torres.





UNIVERSIDAD DE GRANMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA DE DISCUSIÓN DE LOS TRABAJOS DE DIPLOMA

Título del trabajo: Qué tipo de investigación se da que se da
propósito de efectividad en el replazamiento
de fuel del motor provincial cubra el programa
operacional el análisis del ciclo de vida.

Nombre del alumno (a): Cristian Javier Estrella Coviloxe

Año académico: _____ **Tipo de curso:** _____

Curso: _____ **Fecha:** 27/01/2011

Tribunal: Presidente: Dr Rubén Jerez Pereira

Vocal: Ms Raúl Pacheco Combra

Secretario: Ms Jorge Luis Zamora

Índices evaluados:

1. Calidad del trabajo (uso de la metodología de la investigación científica, actualización científico-técnica, uso de las estrategias curriculares, entre otros.) 5
2. Capacidad creadora, originalidad e independencia en el desarrollo del trabajo. 5
3. Calidad de la exposición, respuestas a las preguntas y dominio del tema. 5
4. Opinión crítica del tutor. 5
5. Opinión crítica del oponente. 5
6. Opinión de la entidad laboral. 5

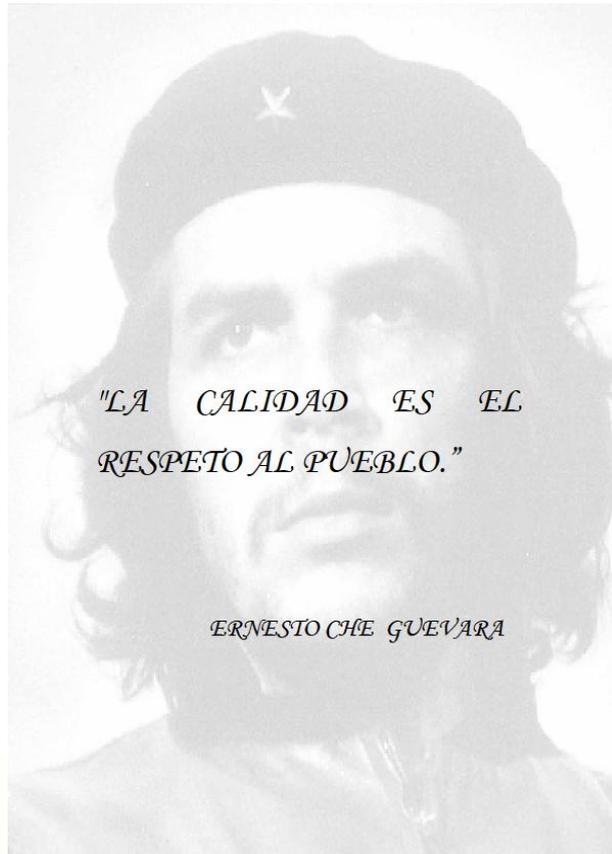
Calificación otorgada según los índices evaluados: Excepcional

(5) puntos

Firma del presidente: _____

Firma del alumno: _____





*"LA CALIDAD ES EL
RESPECTO AL PUEBLO."*

ERNESTO CHE GUEVARA



- *A mi Madre por estar siempre a mi lado*
- *A mi Esposa Mariela por darme tanto amor y comprensión*
- *A mis Familiares que de una u otra manera me inculcaron a seguir adelante con mis estudios*

Edwin Acurio



- *A Dios por darme la oportunidad de estar presente en este mundo*
- *A mi madre por el apoyo y la confianza que me ha brindado durante toda mi trayectoria de estudiante*
- *(+) A mi padre, a quien siempre recuerdo porque, en vida me brindó sus consejos para ser un hombre de bien.*
- *A mi hermana y hermano, con quienes día a día hemos crecido dándonos la mano para sobresalir en la vida.*
- *A Diana, por su ayuda, cariño y acompañarme en todo momento*
- *A toda mi familia que siempre me apoyado deseándome éxitos.*

Cristian Estrella



El resultado de este Trabajo queremos agradecerlo, de manera muy especial a personas que contribuyeron a la realización del mismo:

- A Dios por protegernos y conducirnos por buenos senderos
- A nuestro tutor Edilberto Antonio Llanes Cedeño por su ayuda y apoyo incondicional.
- A nuestra Patria por darnos la posibilidad de superarnos
- A los profesores por que sin su ayuda no hubiéramos llegado hasta aquí.
- A nuestros amigos que han estado a nuestro lado siempre que lo hemos necesitado.

A todos muchas gracias



Resumen



RESUMEN

El siguiente trabajo fue desarrollado en el emplazamiento de generación distribuida Fuel Oil de Bayamo provincia Granma perteneciente a la empresa eléctrica, con el objetivo de: Realizar el análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis del Ciclo de Vida, en el mismo se realizó un compilación de las principales entradas y salidas del proceso (materiales, energía y emisiones). Evaluándose en el caso de los efluentes líquidos y gaseosos con las normas cubanas que limitan dichas emisiones, en el caso del efluente líquido solo se cumple con el pH y la conductividad eléctrica (CE), en la emisión de aire los parámetros de NO_2 y SO_2 se incumplen. Para desarrollar el trabajo fue necesario aplicar métodos de investigación teóricos (análisis, síntesis e inducción) y empíricos (observación, medición y experimentación).

ABSTRACT

The following work was developed on the site of distributed generation Fuel Oil Bayamo Granma province belonging to the electric company, with the objective: Realize a analyze of the inventory of the generation of electricity distributed in the Fuel Oil emplazamient of Cuban province of Granma Bayamo, applying Life cycle Assessment and, a compilation of the main entrances and exits of the process (materials, energy and emissions). In the case of liquid and gaseous effluents Cuban law limit such emissions, where only liquid effluent meets pH and electrical conductivity (EC) in the air emission parameters of NO₂ y SO₂ are broken. To develop the work was necessary to apply theoretical research methods (analysis, synthesis and induction) and empirical (observation, measurement and experimentation).

Índice



ÍNDICE	Pág
I. INTRODUCCIÓN	1
II. DESARROLLO	4
CAPITULO I: FUNDAMENTACIÓN ACTUAL DEL TEMA	4
1.1 Panorama Energético Mundial.....	4
1.1.1 Panorama Energético de América y del Ecuador.....	5
1.1.2 Panorama Energético en Cuba.....	6
1.2 Aspectos medios ambientales relacionados con la energía.....	8
1.3 Generación de electricidad.....	13
1.3.1 Sistemas alternativos de generación de electricidad.....	15
1.3.1.1 Generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.....	15
1.3.2 Sistemas convencionales de generación de electricidad.....	24
1.3.2.1 Generación eléctrica a partir de grupos electrógenos.....	26
1.4 Herramientas de gestión ambiental.....	27
1.4.1 Reseña histórica del Análisis de Ciclo de Vida.....	28
1.4.2 Metodología para el Análisis del Ciclo de Vida.....	30
1.4.2.1 Definición del Objetivo y Alcance del ACV.....	33
1.4.2.2 Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.....	34
1.4.2.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.....	36
1.4.2.3.1 Clasificación.....	37
1.4.2.3.2 Caracterización.....	38
1.4.2.3.3 Valoración.....	40
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS	41
2.1 Definición del objetivo, alcance y análisis del inventario de ciclo de vida (ISO 14041, 1999).....	41
2.1.1 Objetivo.....	41
2.1.2 Alcance.....	42
2.1.2.1 Unidad funcional y descripción del sistema.....	42
2.1.2.2 Límites del sistema.....	42
2.1.2.3 Descripción de las categorías de datos.....	43
2.1.2.4 Suposiciones y limitaciones.....	43

2.1.2.5 Requisitos de calidad de los datos.....	43
2.1.3 Análisis del inventario (ISO 14041, 1999).....	44
CAPITULO III ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	47
3.1 Objetivo y Alcance.....	47
3.1.1 Unidad funcional y descripción del sistema.....	47
3.1.2 Límites del sistema.....	50
3.1.2.1 Procedimientos de asignación de cargas ambientales.....	50
3.1.3 Limitaciones y suposiciones.....	51
3.2 Análisis del inventario.....	51
3.2.1 Balance de materiales, agua, energía y productos químicos.....	51
3.2.2 Emisiones al aire.....	52
3.2.6 Residuales líquidos.....	54
III CONCLUSIONES.....	56
IV RECOMENDACIONES.....	57
V REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	58
VI ANEXOS.....	62

I INTRODUCCION

Uno de los grandes retos que han de abordar los países en los próximos años, en función de las actuales tendencias de una sociedad más sostenible, lo constituyen las grandes transformaciones que se experimentan en el ámbito energético y ambiental.

Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado "efecto invernadero", provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los cloro - fluocarbonatos, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la realización de acciones concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global.

Entre las medidas que están siendo consideradas figuran una mayor economía de consumo, el uso de combustibles alternativos, sistemas ampliados de transporte masivo y una mejor planificación urbana. No obstante, el impacto ambiental de los motores de combustión interna (MCI) es de consideración, y se acrecienta por la congestión del tráfico en ciudades, que obliga a velocidades de movimiento reducidas y por el uso aún de un número elevado de vehículos con períodos de explotación elevados, que por su estado técnico o tecnología elevan la emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente.

Otras medidas están relacionadas con la intensificación de la utilización de fuentes alternativas de energía y la eficiencia energética, la cual esta última es uno de los elementos de vital importancia, ya que con la aplicación de medidas eficientes sobre los portadores energéticos y el agua, tanto en el área de los servicios como en las esferas productivas, no sólo se pueden ahorrar estos recursos, sino que además se mejoran las condiciones medio-ambientales y se reducen los costos por este concepto.

En Cuba, se llevan a cabo programas gubernamentales con vistas a realizar acciones por la mejora energética en el ámbito productivo y social, lo cual aún están muy lejos de lograr estos objetivos. No obstante se realizan esfuerzos en

algunas entidades como por ejemplo: en el sector turístico y algunas empresas, que optan por la categoría de empresas eficientes, de acuerdo a los requisitos que se establecen para ello.

En los últimos años las empresas cubanas han estado enfrascadas a tomar una serie de medidas con el objetivo de aumentar el ahorro de recursos energéticos, sin embargo en los análisis realizados a algunas de estas, se puso de manifiesto la insuficiente generación distribuida de electricidad; así como las posibilidades de reducir los costos de generación distribuida mediante la creación en ellas de las capacidades técnico organizativas para administrar eficientemente la energía.

Hasta el momento, el problema de explotar el recurso eficiencia energética se ha visto de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro, para la conservación energética. Esta vía, además de obviar parte de las causas que provocan baja eficiencia energética en las empresas, generalmente tiene reducida efectividad por realizarse muchas veces sin la integralidad, los procedimientos y el equipamiento requerido; todo ello por limitaciones financieras para aplicar los proyectos, pero sobre todo, por no contar las empresas con la cultura, ni con las capacidades técnico-administrativas necesarias para realizar el seguimiento y control requerido y lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas.

La base energética sobre la cual se sustenta la producción de electricidad en Cuba independientemente de donde se genere son los combustibles convencionales (Fuel Oil y diesel) causante de los problemas medio ambientales existentes, la generación distribuida de electricidad ha sido una de las alternativas implementada por el estado cubano para garantizar por un lado las disminuciones de la pérdidas por transmisión, la autonomía de instalaciones priorizadas y comunidades rurales así como una forma estratégica en la defensa del país. Estas instalaciones también generan electricidad a partir de combustibles fósiles consumiendo adicionalmente otros recursos materiales, estos procesos son constantemente controlados en sus regulaciones ambientales.

Existen numerosas herramientas de gestión ambiental las cuales permiten valorar

el comportamiento de una actividad, proceso o producto con el medio ambiente sin embargo muchas de ellas no son preventivas, la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) si nos permite tener en cuenta desde el diseño del producto el impacto a provocar al medio ambiente, sin embargo una etapa decisiva para su correcta aplicación es el análisis de inventario.

Por lo anteriormente planteado se nos presenta el siguiente problema científico.

PROBLEMA

En la provincia de Granma - Cuba no se posee un estudio sobre el comportamiento ambiental de la generación distribuida de electricidad sobre la base de un inventario de materias primas y energía para el Análisis del Ciclo de Vida.

HIPÓTESIS

Si, se realiza un estudio de cada una de las etapas que conforman la generación distribuida de electricidad, entonces, se podrá realizar un análisis de inventario como primera etapa para la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida.

OBJETIVO GENERAL:

Realizar el análisis del inventario en la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento de Fuel Oil Bayamo provincia cubana de Granma, aplicando el Análisis del Ciclo de Vida.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Realizar un estudio bibliográfico sobre el tema propuesto.
2. Medir las emisiones gaseosas y líquidas generadas en el proceso de generación de electricidad.

II. DESARROLLO

CAPITULO I:

FUNDAMENTACIÓN ACTUAL DEL TEMA

1.1 Panorama Energético Mundial

En el año 2003, fue un año que se caracterizó por una gran volatilidad e incertidumbre en los mercados energéticos, situación reflejada principalmente en el incremento en los precios del petróleo los cuales fueron los más altos de los últimos 20 años.

Por otro lado, cabe destacar, que las reservas mundiales de energía continuaron en ascenso y se cuenta con reservas de petróleo para cubrir la demanda actual de energía por 40 años y en gas natural en 60 años. Existen indicios para sostener que los descubrimientos continuarán en los años venideros por lo cual la seguridad energética de los países pasa más por un análisis de la distribución y geopolítica de las mismas que por una escasez de la oferta.

Con relación al consumo mundial del petróleo, este se incrementó con relación a su promedio histórico de 10 años en 2.1 %, especialmente por el consumo de Asia el cuál se incrementó en 4 % con relación al 2002. El consumo de gas natural se incrementó en 2 %, a pesar de la contracción en 5 % del mayor demandante de este energético que es Estados Unidos de Norte América (USA), las ventas que más se incrementaron fueron las de LNG, las cuales este año incrementaron alrededor del 12 % lideradas por USA, Japón y Corea del Sur.

Por su parte la producción mundial del petróleo se vio afectada por acontecimientos ocurridos como la guerra de Irak y el paro petrolero de Venezuela, sin embargo la producción de los demás países de la OPEP contrarrestaron estas disminuciones.

Así mismo, la producción de los países no miembros de la OPEP también se incrementó de manera importante, principalmente en Rusia.

Con relación a otros energéticos, el consumo de carbón registró un notable aumento con relación al 2004 del 6.9 % especialmente por el consumo de China y USA. La generación de energía nuclear se contrajo en un 2 % y la generación

hidroeléctrica se incrementó en apenas un 0.4 % especialmente por el consumo de América Latina y Asia.

Finalmente, se espera que en los siguientes años el consumo de energía siga liderado por la demanda de petróleo aunque seguida muy de cerca por la demanda de gas natural, que pasara a ser el segundo energético más demandado. Para este escenario será determinante el crecimiento de la demanda de gas natural que registre el Asia, continente que guiará la tasa a la cual crezca este mercado (OLADE, 2004).

1.1.1 Panorama Energético de América y del Ecuador

SECTOR HIDROCARBUROS

El crecimiento energético en la Región estuvo liderado particularmente por la producción de gas natural, con un 3,21 % de crecimiento y de carbón con un importante ascenso en 12.67 %, mientras que la de petróleo se redujeron en 1.85 %.

Venezuela, miembro de la OPEP, se ha mantenido entre los 10 primeros productores de petróleo del mundo, a pesar de problemas ocurridos en el 2003. El país es por tanto, clave para los mercados energéticos mundiales, con sus reservas probadas de petróleo estimadas en más de 77 mil millones de barriles.

Argentina, con unos 3,2 mil millones de barriles de reservas probadas de petróleo, es también un importante participante en el mercado de hidrocarburos en Latinoamérica.

Ecuador también es uno de los mayores exportadores de hidrocarburos de Latinoamérica. El país recientemente completó su segundo oleoducto, el cual ha duplicado la capacidad de transporte de crudos en el Ecuador.

La capacidad total de refinación del Ecuador es de 185.000 bbl/d. Petroindustrial, la subsidiaria de Petroecuador encargada de la refinación, opera las tres refinerías del país: Esmeraldas; Amazonas; y La Libertad. Petroecuador también está considerando la construcción de una nueva refinería que costaría \$1,1 mil millones para procesar 110.000 bbl/d de crudo pesado. (OLADE, 2004).

EN EL SECTOR ELECTRICO

La capacidad instalada de generación eléctrica en la región asciende aproximadamente a 253,420 MW, habiendo aumentado 5 % respecto del 2002. De esto 233,153 MW son instalaciones para servicio público y el resto de auto generadores. Brasil, México y Argentina son los países con mayores potencias instaladas para producir electricidad. El 52 % de la potencia instalada es hidroeléctrica, el 45 % termoeléctrica, el 2 % nucleoelectrica y el 1 % utiliza fuentes como geotermia, eólica, solar y biomasa.

Uno de los problemas críticos en muchos países de la región, es el alto nivel de pérdidas de energía eléctrica, pues en conjunto se tiene un 19 %, aproximadamente, que es alto comparado con el valor adecuado del orden de 10 %, que corresponde a pérdidas técnicas inevitables, en líneas, transformadores y otros elementos. Hay países que están por debajo de ese valor referencial y otros que llegan a más de 30 %.

El Gobierno Ecuatoriano concesionó la construcción y operación de la Central Hidroeléctrica Mazar, de 180 MW, a HIDROPAUTE S. A.; el embalse de esa central mejorará las condiciones de funcionamiento de la actual central Paute, que es la principal del Ecuador.

1.1.2 Panorama Energético en Cuba

Los portadores naturales que se producen en Cuba y de los cuales se dispone de información estadística según Borroto (1997), Rodríguez (2001) y ONE (2005); son:

- Petróleo
- Gas Natural
- Hidroenergía
- Leña
- Biomasa cañera (Bagazo)

Los principales productos que se obtienen en Cuba de la refinación del petróleo son los siguientes:

- Gas Licuado
- Gasolina y Nafta
- Keroseno

- Fuel Oil Diesel Oil
- Coque Solventes
- Asfaltos

Cuba carece de grandes recursos energéticos y satisface la mayor parte de sus necesidades con la importación de combustibles fósiles. No obstante, los recursos energéticos nacionales se desarrollan y aprovechan cada vez más ante los imperativos económicos y medioambientales del país y del mundo, siendo el petróleo crudo, el bagazo y el gas natural los portadores nacionales de mayor peso (PTS, 2006).

Generación Distribuida (GD) en Cuba: Cambio a un nuevo paradigma energético

Más del 40 % de la capacidad de generación eléctrica en Cuba está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala. Este es uno de los más altos índices a nivel mundial. Estas plantas generan en base a diesel y fuel oil. El país progresa en su objetivo de desarrollar un nuevo paradigma energético. Hoy día, el país trabaja en la aplicación de proyectos de tecnologías energéticas renovables a escala nacional.

La mayoría de las nuevas instalaciones de Generación Distribuida en el país son generadores y motores que queman combustibles fósiles (diesel y fuel oil), así como pequeños generadores de emergencia.

Estas tecnologías han tenido un impacto positivo en el medio ambiente, ya que tienen menores tasas de consumo específico (234 g/kWh), frente a las plantas termoeléctricas basadas en la quema de petróleo crudo (284 g/kWh en promedio). Sin embargo, la contaminación local (producción de ruido y emisiones de gases como los NO_x, SO₂ y de partículas de muy pequeño tamaño) es un problema cuya solución está siendo estudiada.

La generalización de la GD significó una verdadera revolución energética en sí misma, porque fue necesario cambiar la forma tradicional en que se generó la electricidad en el país. Aunque las grandes centrales térmicas habían desempeñado un papel importante en el desarrollo del país, muchas de estas habían quedado obsoletas.

Cuba tiene una capacidad de generación eléctrica de 2 497 MW sobre la base de la generación distribuida, de la cual 1 280 MW corresponden a generadores diesel y el resto son motores de fuel oil (540 MW), cogeneración (529 MW) y otras tecnologías energéticas renovables (148 MW)

1.2 Aspectos medios ambientales relacionados con la energía.

El ahorro de energía se ha convertido en la actualidad en una necesidad, no solo por el agotamiento de los recursos naturales, sino también por los problemas medioambientales que el uso de la energía tiene asociados. El efecto invernadero, la reducción de la capa de ozono y la lluvia ácida, principalmente, han hecho realidad el conocido principio de que “la energía que menos contamina es la que no se consume”.

Las principales sustancias que ocasionan desequilibrios ambientales pueden ser agrupadas en cuatro grandes núcleos: polvo (partículas en suspensión), gases (tóxicos o inflamables), calor y ruido.

Los contaminantes atmosféricos suelen ser (Ayes, 2003; Aránguez, 2005):

- Sólidos: humo, hollín, cenizas, polvo natural, etc.
- Líquidos: niebla de ácido sulfúrico.
- Gaseosos: dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y “sprays”.

La producción de energía es hoy la causante de los mayores problemas de contaminación ambiental del planeta. A continuación se exponen algunos de los gases más contaminantes y sus efectos.

Contaminación por Dióxido de Carbono (CO₂)

Tiene su origen en los procesos de combustión y en muchos procesos naturales como la respiración animal. La producción y uso de la energía es responsable del 80 % de las emisiones globales de CO₂ por la combustión de combustible fósiles. Autores como Carrasco (2002), plantean que el CO₂, se produce como emisión neta a la atmósfera no sólo en la combustión de los productos fósiles, sino también durante aquellos procesos de utilización de la biomasa ligados a una disminución de la cantidad total de la misma en la biosfera, como ocurre en los procesos de deforestación. Su efecto más notable radica en el llamado efecto

invernadero que se presenta por que el CO₂ junto con el vapor de agua y otros gases presentes en la atmósfera cerca de la superficie terrestre, son capaces de absorber las radiaciones solares refractadas por la tierra, no dejando que se libere su calor, lo que conduce al aumento del calentamiento global del planeta. La concentración de este gas, ha pasado de unas 280 ppm en 1800, al principio de la era industrial, hasta las 350 ppm en 1989. Para poder mantener el nivel de CO₂ en la atmósfera en torno a 580 ppm que es el nivel considerado máximo admisible por los ecosistemas en los próximos cien años, se precisaría reducir el consumo de energías fósiles en un 40 % respecto al valor de 1988 (Carrasco, 2002).

Se ha estimado un aumento de la temperatura de la tierra de 0.5 °C desde 1860 hasta la fecha, los pronósticos climatológicos vaticinan un aumento de 0.3°C por década, de no limitarse las emisiones de CO₂ (Wagner, 1996; Centeno, 2006).

Según Alfonso (1996), se estima un aumento entre 2 y 4 °C de la temperatura atmosférica para los próximos años.

No presenta características tóxicas, la muerte en una atmósfera cargada de CO₂ sería por ausencia de oxígeno (asfixia).

El CO₂ presente en el organismo puede ocasionar:

- Asfixia por falta de oxígeno
- Excitación del sistema nervioso central
- Dolor de cabeza
- Vértigo
- Sueño
- Inconsciencia

Una exposición de pocos minutos en una concentración del 10 % de CO₂, puede ser fatal.

El protocolo resultante de la Cumbre de Kyoto, celebrada durante los primeros diez días de diciembre de 1997, donde se dieron cita delegaciones de 175 países, significa el establecimiento, por primera vez, de compromisos concretos para todos los países industrializados, en particular en lo referente a los objetivos de reducción de emisiones de gas con efecto invernadero.

Contaminación por Dióxido de Azufre (SO₂)

Se produce en la combustión de los combustibles y en algunos procesos industriales por la oxidación del azufre, la naturaleza lo ha producido por medio de la actividad volcánica. El SO₂ es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo que produce una sensación gestatoria a concentraciones de 0.3 a 10 ppm en el aire. A concentraciones mayores de a 30 ppm (1ppm= 2.6 mg/m³) el gas tiene un olor acre e irritante y afecta al organismo (Alfonso, 1996; López, 1997 y OPS, 2004).

Los óxidos de azufre SO₂ y SO₃ producen sus efectos más notables en la contaminación atmosférica a manera de:

- Lluvias ácidas al combinarse con el agua con un pH medio inferior a 5.6.
- Acidificación de las fuentes naturales de agua.
- Lixiviación de los nutrientes del suelo, que pueden llegar a una pérdida de sus características productivas e incluso a un cambio en su vegetación natural.

El SO₂ ataca especialmente al sistema respiratorio, acentúa la bronquitis en las personas propensas a dicha enfermedad, al penetrar a los pulmones forman trazas de ácido sulfúrico con la humedad allí presente.

La presencia de SO₂ en el organismo se manifiesta por los siguientes malestares:

- Irritación de las vías respiratorias.
- Inflamación de los pulmones.
- Falta de respiración.
- Tos fuerte y continua con irritación de la mucosa.
- Dolor de cabeza con debilidad general.
- Trastornos digestivos.

El SO₂ en exceso también ocasiona daños a la vegetación manifestándose con un color blancuzco o de marfil en las áreas afectadas, la espinaca, lechuga y otros vegetales con hojas son más sensibles (Alfonso, 1996).

Contaminación por Trióxido de Azufre (SO₃)

Es producto resultante de la emisión directa del SO₂ y su oxidación atmosférica en presencia de la luz solar. En combinación con la humedad del aire se convierte en ácido sulfúrico (H₂SO₄) proporcionando las consecuencias anteriormente expuestas.

La afectación es similar a la del SO₂, pudiendo también reaccionar con la humedad para formar ácido sulfúrico con mayor facilidad.

Contaminación por Compuestos de Nitrógenos (NO_x)

Tiene su origen por reacción del oxígeno y el nitrógeno del aire, debido a las altas temperaturas procedentes de los procesos de combustión.

En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógenos reaccionan con la luz solar y forman una nube fotoquímica. Los componentes de la nube más dañinos para las plantas y perjudiciales para la salud del hombre son los óxidos fotoquímicos (Alfonso, 1996). La principal fuente de emisión son los motores de combustión interna.

Efecto sobre la salud:

- El óxido nítrico (NO), produce su mayor efecto cuando reacciona con la hemoglobina de la sangre para formar nitroso – hemoglobina, que produce rápidamente una cianosis (Cárdenas, 1997).
- El dióxido de nitrógeno (NO₂), es muy irritante y de olor desagradable, por lo cual se detecta muy fácilmente. Sus efectos van desde simples irritaciones en la nariz y los ojos hasta fuerte congestión pulmonar, que puede ser mortal, según su concentración y tiempo de exposición (Cárdenas, 1997; OPS, 2004).

Las emisiones típicas de los contaminantes, evaluadas por el Informe Energético de la OLADE (2002), que se obtienen a partir de los combustibles utilizados se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1: Emisiones típicas de contaminantes por kg de petróleo equivalente (kg de contaminante).

Combustibles	CO₂	CO	NO_x	SO₂	HC	Partículas
Gasolina	2.979	0.608	0.017	0.0028	0.0029	0.0017
Diesel	3.088	0.0026	0.052	0.0028	0.0062	0.0184
Combustóleo	3.268	0.0005	0.0086	0.059	0.0039	0.0285
Gas Natural	2.347	0.0008	0.0104	0.0004	0.0003	0.0011
G. L. P.	2.657	0.0010	0.012	0.0010	0.0015	0.0012
Carbón	3.941	0.0004	0.031	0.0227	0.0002	0.0070

Fuente: Programa Integral contra la contaminación atmosférica: Ciudad de México.

Contaminación por Formación de Partículas Sólidas en Suspensión

El material particulado (MP), son las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, esas partículas tienen una composición química diversa y su tamaño varía de 0.005 a 100 μm de diámetro aerodinámico. Antes se creía que todas las partículas suspendidas en el aire (partículas totales en suspensión) afectaban la salud de la misma forma. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que las partículas que más afectan la salud son aquellas con diámetro aerodinámico menor de 10 μm (MP 10) y, más aún, aquellas con diámetro aerodinámico menor de 2,5 μm (MP 2,5) (OPS, 2004).

El MP se produce por la quema incompleta del combustible para motores Diesel y los combustibles sólidos, como la madera y el carbón. El MP también se puede producir por la condensación de vapores ácidos y compuestos orgánicos semivolátiles y mediante una serie de complejas reacciones del NO₂ y SO₂ en la atmósfera que finalmente forman nitratos y sulfatos, respectivamente.

- **Salud humana:** El MP puede agravar enfermedades respiratorias y cardíacas preexistentes y causar daño al tejido pulmonar (Sandström et al., 2005). Los grupos más vulnerables a los efectos del MP son las personas con influenza, con enfermedades pulmonares y cardíacas crónicas, asmáticos, adultos mayores y niños.
- **Materiales:** deteriora los materiales de construcción y otras superficies.
- **Vegetación:** interfieren en la fotosíntesis.

- **Medio ambiente:** disminuye la visibilidad y provocan la formación de nubes.

1.3 Generación de electricidad.

En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

Principio de inducción

Entre los polos de un imán se genera un campo magnético produciendo unas líneas de fuerzas que parten desde el polo norte y se dirigen hacia el polo sur.

Si se logra poner los polos enfrentados y mover un conductor cortando las líneas de fuerza, se producirá una diferencia de potencial entre los extremos de este. Si dejamos fijo el conductor o lo movemos paralelamente a las líneas de fuerza la diferencia de potencial desaparece. Si se conectan dichos extremos a un circuito, se producirá una circulación de corriente eléctrica a través del mismo. La circulación de corriente cambia su sentido de acuerdo a la dirección de desplazamiento del conductor dentro del campo magnético (ver figura 1.1).

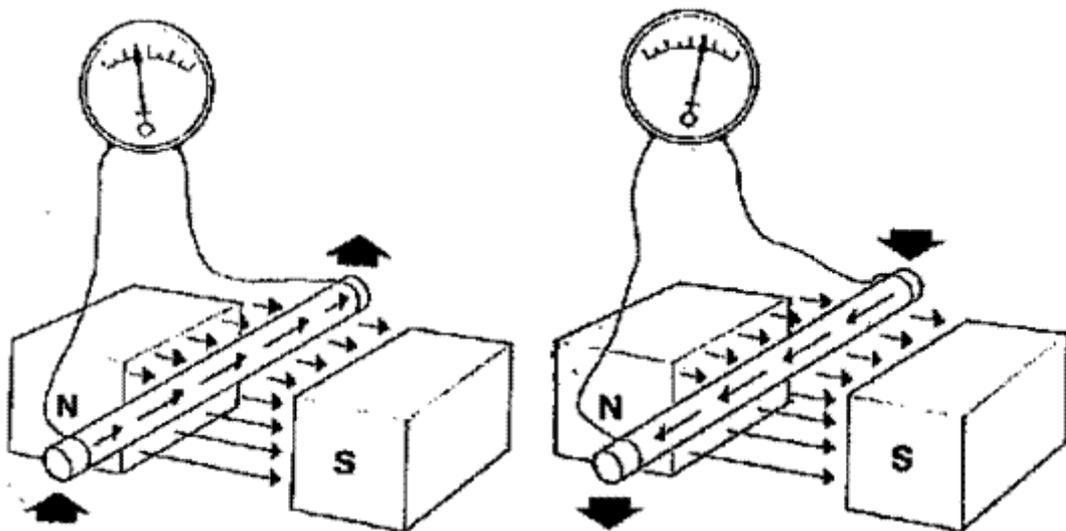


Figura 1.1: Principio de inducción de la corriente eléctrica

Principio de generación de corriente alterna (Fredes, 2010)

El fenómeno de inducción electromagnética fue descubierto por FÁraday en el año 1830, llegando a demostrar que "cuando un conductor se mueve dentro de un campo magnético (figura 1.2) cortando líneas de fuerza, se engendra en él una fuerza electromotriz, que es directamente proporcional al flujo cortado, e inversamente proporcional al tiempo empleado en hacerlo.

Teniendo un imán permanente como inductor estático y un rotor con una espira como inducido tendremos un generador elemental (figura 1.3).

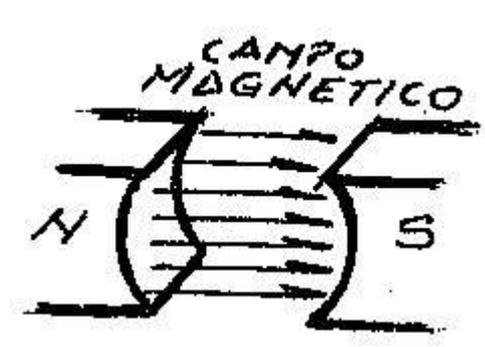


Figura 1.2: Campo magnético

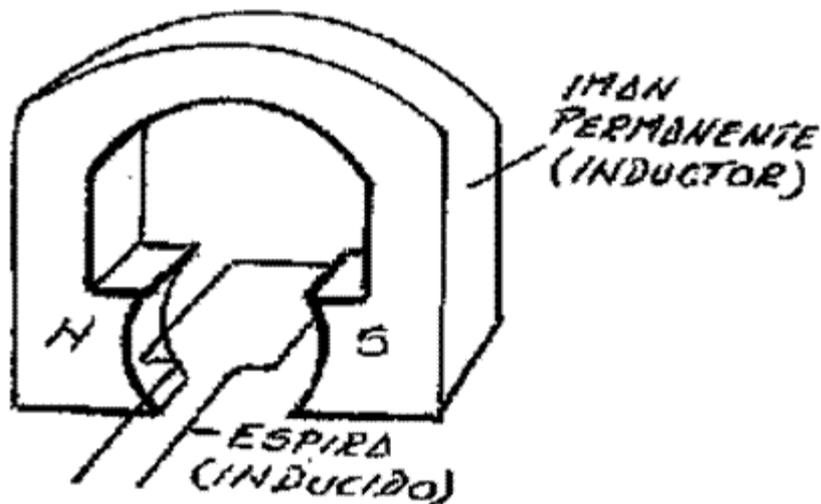


Figura 1.3: Principio de generación de corriente alterna

Al recibir movimiento, la espira cortará las líneas de fuerza y se producirá una fuerza electromotriz.

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicas. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales reseñados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.

1.3.1 Sistemas alternativos de generación de electricidad.

Los sistemas alternativos de generación de electricidad son fuentes de obtención de energías sin destrucción del medio ambiente, renovables, que han sido investigadas y desarrolladas con algunas intensidades en las últimas décadas.

Una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

1.3.1.1 Generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía.

Las fuentes de energía renovables, provienen de fuentes inagotables, principalmente el Sol y la Tierra y su disponibilidad no disminuye con el tiempo. El Sol y la Tierra seguirán proveyéndonos de energía durante algunos millones de años más, y con él los vientos, la fotosíntesis de las plantas, el ciclo del agua, las fuerzas del mar y el calor al interior de la Tierra.

Algunas de ellas son:

- Energía Eólica
- Energía Solar
- Energía Geotérmica
- Energía de la Biomasa
- Energía Hidroeléctrica
- Energía Mareomotriz

- Energía Nuclear
- Energía mediante Celdas de Combustible

Energía Eólica

La energía eólica es la que se obtiene de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire. Se obtiene a través de turbinas eólicas, son las que convierten la energía cinética del viento en electricidad por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico (figura 1.4).

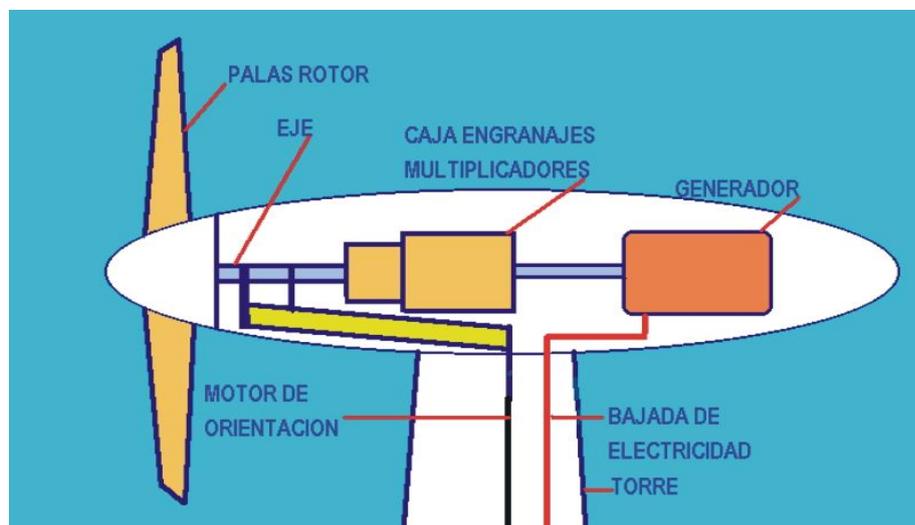


Figura 1.4: Partes integrantes de un aerogenerador

En la actualidad se usan aerogeneradores para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas o islas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Estos aerogeneradores suelen medir unos 40 - 50 metros dependiendo de la geografía del lugar, pero pueden ser incluso más altos, son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos que, básicamente son la evolución de los tradicionales molinos de viento (figura 1.5).



Figura 1.5: Parque eólicos sobre la costa del mar

Un desarrollo importante de la energía eléctrica de origen eólico puede ser, por tanto, una de las medidas más eficaces para evitar el efecto invernadero ya que, a nivel mundial, se considera que el sector eléctrico es responsable del 29% de las emisiones de CO₂ del planeta.

Energía Solar

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad (15 107 kWh). Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

La energía solar se extrae de la luz del Sol. Esto se puede hacer directamente, con células fotovoltaicas, o mediante la utilización de conjuntos de espejos que concentren la luz solar en un punto común que se calienta en extremo. Este calor puede calentar agua hasta convertirla en vapor que, pasando por una turbina con un generador, puede producir electricidad.

- **Energía Solar Térmica**

Una central térmica solar o central termosolar es una instalación industrial en la que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generación de energía eléctrica como en una central térmica clásica. En ellas es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 °C hasta 1000 °C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica (figura 1.6). El conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina heliostato. Su principal problema medioambiental es la necesidad de grandes extensiones de territorio que dejan de ser útiles para otros usos (agrícolas, forestales, etc.).



Figura 1.6: Central térmica solar (Sevilla, España)

- **Energía Solar Fotovoltaica**

Se denomina energía solar fotovoltaica a la obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos (figura 1.7). A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles

fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar, debido a que la corriente obtenida es proporcional a la radiación del sol y el área de la célula. Para ello se ha de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas de la provincia a estudiar.



Figura 1.7: Panel solar

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminen casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte, que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total y la dependencia energética (Figura 1.8).

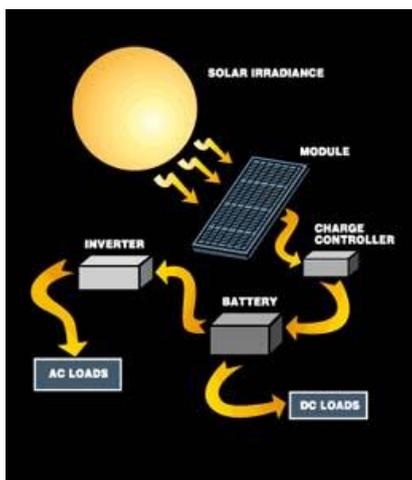


Figura 1.8: Sistema de generación eléctrica fotovoltaica

En estos momentos este tipo de tecnología es cara en la primera inversión pero dada la alta durabilidad y el costo casi nulo de mantenimiento y nulo en la materia prima que es el Sol, estas se vuelven muy rentables.

Energía Geotérmica

La energía geotérmica obtiene la electricidad de la diferencia de temperatura entre las rocas calientes de las profundidades de la tierra y la relativamente fría del aire y el agua en su superficie. Esto requiere que la roca caliente este relativamente poco profunda, por lo que solo puede ser aplicada en áreas geológicamente activas.

Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

En forma general, la energía geotérmica es la energía almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor. Su aprovechamiento comercial sólo es posible en aquellos lugares en donde coexisten los factores que dan origen a la existencia de un campo geotérmico propiamente dicho.

Energía de la Biomasa

La energía eléctrica puede generarse mediante el quemado de cualquier cosa que pueda arder. Normalmente, esto se hace mediante el fermentado de las plantas para producir etanol, el cual es la materia que se quema. También se obtiene dejando que la materia orgánica se descomponga, produciendo biogás, el cual es quemado. También, cuando se quema, la madera es una forma de combustible biomasa.

La biomasa es un recurso renovable de energía proveniente de los residuos de la materia orgánica de tierra y mar. Las fuentes de aprovechamiento de la biomasa para energía provienen principalmente de tres sitios: a) desechos y basura industrial y municipal; b) residuos de cultivos agropecuarios; y, c) cultivos y plantaciones con propósitos energéticos.

Cuando la materia orgánica libera su energía almacenada a través de un proceso natural o artificial, devuelve al ambiente la misma cantidad de CO₂ que consumió

durante su crecimiento, por lo que se dice que este ciclo es CO₂ neutro, es decir que la biomasa no afecta la contaminación en el ambiente. Mientras el consumo de la masa orgánica aprovechada para usos energéticos sea igual o mayor que la producción, se puede considerar a la biomasa como un recurso renovable, por eso la importancia de mantener el equilibrio en bosques y cultivos.

Energía Hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central (figura 1.9). El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la electricidad en alternadores. Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- La potencia, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinable, además de las características de la turbina y del generador.
- La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.



Figura 1.9: Central hidroeléctrica

Energía Mareomotriz

La energía mareomotriz utiliza la diferencia de altura del mar entre la altamar y la bajamar. Se retiene el agua de la altamar y en la bajamar la salida controlada del agua hace mover turbinas situadas en distintas zonas de la costa (figura 1.10).

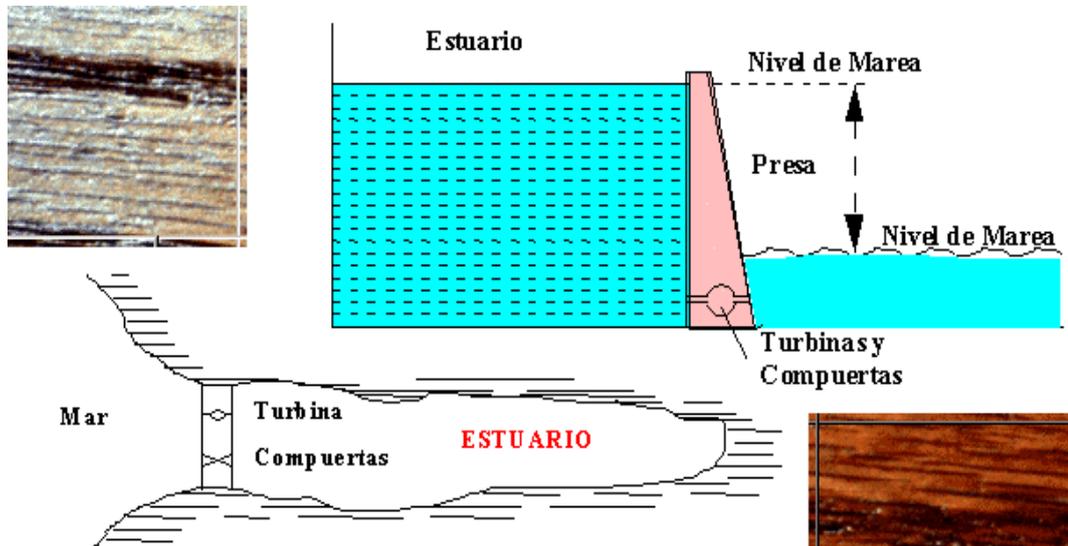


Figura 1.10: Representación del aprovechamiento de la energía de las olas

Esta energía es, sin embargo, limitada; la potencia disipada por las mareas del globo terrestre es del orden de 3 TW, de los cuales sólo un tercio se pierde en mareas litorales. Además, para efectividad la explotación, la amplitud de marea debe ser superior a los 4 metros, y el sitio geográfico adecuado, lo que elimina prácticamente el 80% de la energía teóricamente disponible, dejando aprovechables unos 350 TW-h por año.

Energía Nuclear

La energía atómica es aquella que se libera como resultado de cualquier reacción nuclear.

Esta energía puede obtenerse bien por fisión (división de los elementos pesados) o bien por fusión (unión de elementos muy ligeros). En las reacciones nucleares se libera una extraordinaria cantidad de energía y ello es debido a que en dichas reacciones se produce una disminución neta de masa que se transforma directamente en energía.

- **La fisión nuclear**

Es la reacción nuclear en la que tiene lugar la ruptura del núcleo pesado, generalmente en dos fragmentos iguales y de la misma magnitud.

Una reacción en cadena es una sucesión de fisiones en la que los neutrones liberados en cada reacción producen nuevas fisiones.

Los reactores actualmente funcionan por medio de fisiones en cadena.

- **La fusión nuclear**

Es una reacción de núcleos de átomos más ligeros que conduce a la formación de un núcleo más pesado que cualquiera de los iniciales.

El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua. Se obtiene al romper los átomos de minerales radiactivos en reacciones en cadena que se producen en el interior de un reactor nuclear.

Las centrales alimentadas con uranio enriquecido tienen la desventaja fundamental de que, por lo menos actualmente, muy pocos países realizan, comercialmente, el proceso de enriquecimiento.

El uranio natural en cambio, es producido y comercializado por diversos países.

Una consecuencia de la actividad de producción de este tipo de energía, son los residuos nucleares, que pueden tardar miles de años en desaparecer y tardan mucho tiempo en perder la radiactividad.

Energía mediante Celdas de Combustible

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico cuyo concepto es similar al de una batería. Consiste en la producción de electricidad mediante el uso de químicos, que usualmente son hidrógeno y oxígeno, donde el hidrógeno actúa como elemento combustible, y el oxígeno es obtenido directamente del aire. También pueden ser usados otros tipos de combustibles que contengan hidrógeno en su molécula, tales como el gas metano, metanol, etanol, gasolina o diesel entre otros.

Debido a que la generación de energía eléctrica es directa, la eficiencia que alcanza una celda de combustible puede ser muy elevada, además al no tener partes en movimiento son muy silenciosas. Sumado a todo esto hay que agregar

que la celda de combustible no usa la combustión como mecanismo de generación de energía, lo que la hace prácticamente libre de contaminación.

El funcionamiento de una celda de combustible consiste básicamente en la oxidación del hidrógeno en agua, generando energía eléctrica y calor directamente, sin pasar por generadores u otros artefactos.

1.3.2 Sistemas convencionales de generación de electricidad

(González, 2009)

Centrales termoeléctricas de ciclo convencional (figura 1.11)

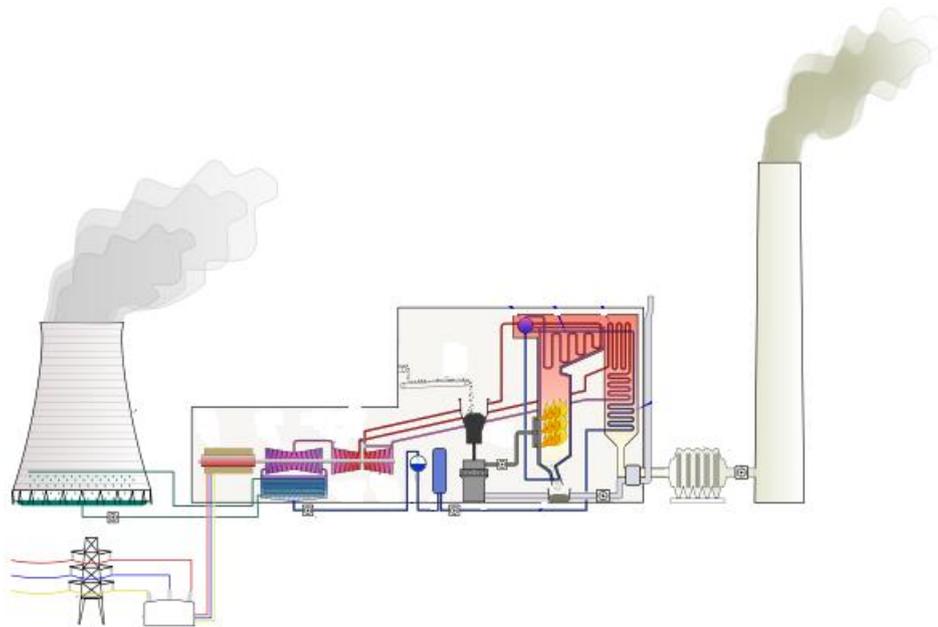


Figura 1.11: Centrales termoeléctricas de ciclo convencional

El principio de funcionamiento de una central térmica se basa en el intercambio de energía calórica en energía mecánica y luego en energía eléctrica.

Una central termoeléctrica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de calor. Este calor puede obtenerse tanto de combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón) como de la fisión nuclear del uranio u otro combustible nuclear o del sol como las solares termoeléctricas. Las

centrales que en el futuro utilicen la fusión también serán centrales termoeléctricas.

En su forma más clásica, las centrales termoeléctricas consisten en una caldera en la que se quema el combustible para generar calor que se transfiere a unos tubos por donde circula agua, la cual se evapora. El vapor obtenido, a alta presión y temperatura, se expande a continuación en una turbina de vapor, cuyo movimiento impulsa un alternador que genera la electricidad. Luego el vapor es enfriado en un condensador donde circula por tubos agua fría de un caudal abierto de un río o por torre de refrigeración.

Centrales termoeléctricas de ciclo combinado (figura 1.12)

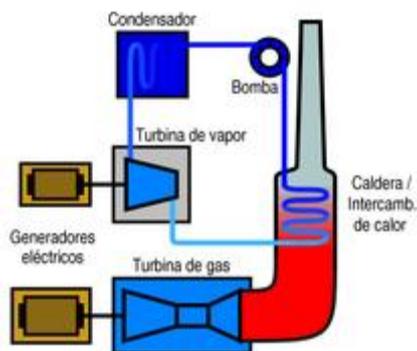


Figura 1.12: Esquema básico de funcionamiento de una central térmica de ciclo combinado

En las centrales termoeléctricas denominadas de ciclo combinado se usan los gases de la combustión del gas natural para mover una turbina de gas. En una cámara de combustión se quema el gas natural y se inyecta aire para acelerar la velocidad de los gases y mover la turbina de gas. Como, tras pasar por la turbina, esos gases todavía se encuentran a alta temperatura (500 °C), se reutilizan para generar vapor que mueve una turbina de vapor. Cada una de estas turbinas impulsa un alternador, como en una central termoeléctrica común. El vapor luego es enfriado por medio de un caudal de agua abierto o torre de refrigeración como en una central térmica común. Además, se puede obtener la cogeneración en este tipo de plantas, al alternar entre la generación por medio de gas natural o carbón. Este tipo de plantas está en capacidad de producir energía más allá de la

limitación de uno de los dos insumos y pueden dar un paso a la utilización de fuentes de energía por insumos diferentes.

1.3.2.1 Generación eléctrica a partir de grupos electrógenos.

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna. Es comúnmente utilizado cuando hay déficit en la generación de energía de algún lugar, o cuando hay corte en el suministro eléctrico y es necesario mantener la actividad. Una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro a través de la red eléctrica, generalmente son zonas agrícolas con pocas infraestructuras o viviendas aisladas. Otro caso es en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que, a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse en caso de emergencia (figura 1.13).



Figura 1.13: Generación a pequeña escala. Grupo electrógeno

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

- **Motor de combustión interna.** El motor que acciona el grupo electrógeno suele estar diseñado específicamente para ejecutar dicha labor. Su potencia depende de las características del generador. Pueden ser motores de gasolina o diesel.
- **Sistema de refrigeración.** El sistema de refrigeración del motor es problemático, por tratarse de un motor estático, y puede ser refrigerado por medio de agua, aceite o aire.
- **Alternador.** La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, autoexcitado,

autoregulado y sin escobillas, acoplado con precisión al motor. El tamaño del alternador y sus prestaciones son muy variables en función de la cantidad de energía que tienen que generar.

- **Depósito de combustible y bancada.** El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de funcionamiento a plena carga según las especificaciones técnicas que tenga el grupo en su autonomía.
- **Sistema de control.** Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control que existen para controlar el funcionamiento, salida del grupo y la protección contra posibles fallos en el funcionamiento.
- **Interruptor automático de salida.** Para proteger al alternador, llevan instalado un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno. Existen otros dispositivos que ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del mismo.

Regulación del motor. El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

1.4.- Herramientas de gestión ambiental.

La gestión ambiental por concepto se entendía una idea o método para alcanzar un objetivo común: el desarrollo sustentable. Por el contrario la herramienta tiene un uso más concreto: Dar soporte a un determinado concepto suministrándole información cuantificable para alcanzar ese objetivo. Las herramientas deben tener un procedimiento de uso sistemático y hacer posible la informatización.

Gestionar un sistema, sea desde el punto de vista ambiental o no, requiere tomar decisiones sobre su evolución y para que esto sea posible, quien debe decidir requiere información objetiva y cuantificada. La línea divisoria entre las

herramientas no está muy bien definida, ya que han evolucionado independientemente y con objetivos parcialmente solapados.

De entre los métodos conceptuales actuales, pueden destacarse cinco: Ciclo de Vida, Ecodiseño, Tecnología Limpia, Ecología Industrial y Gestión de la Calidad Ambiental Total.

1.4.1. Reseña histórica del Análisis de Ciclo de Vida.

La principal función del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es la de prestar soporte en las decisiones relacionadas con productos o servicios y más específicamente la de conocer las consecuencias ambientales que se pueden esperar relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio.

El ACV empezó a utilizarse en Estados Unidos a finales de los años 60, como se detalla en la tabla 1 del Anexo 1 según SETAC (1993) y Fullana et al. (1995), si bien no tenía el significado que se le da actualmente, pues los primeros ACV estaban enfocados hacia el cálculo del consumo energético asociado a los procesos productivos. Dado que para su realización había que tener en cuenta los balances de materia del proceso, fue necesario incluir en ellos el consumo de materias primas y la generación de residuos.

En el período comprendido entre 1960 y 1970, se desarrollaron las primeras herramientas analíticas y metodologías de ACV, destacando principalmente la propuesta por Robert Hunt en el *Midwest Research Institute (MRI)* en Estados Unidos, Ian Boustead de *Open University* en el Reino Unido y Gustav Sundstrom en Suecia (Boustead, 1995 y ISO 14042, 2000).

Entre el año 75 y comienzos de los 80, disminuye el interés por el ACV, renaciendo nuevamente a inicios de los ochenta debido, sobre todo, a dos factores:

- El incremento de la preocupación por el medio ambiente en la población, lo que hizo que tanto los industriales como la administración pusieran énfasis en el ACV. Así, los industriales lo utilizaron para definir su producto como más respetuoso con el medio ambiente, con la intención de incrementar sus ventas, mientras que la administración lo hizo con el interés de desarrollar normativas o criterios que permitieran clasificar los productos en función de su carga medioambiental (SPOLD, 1993).

- La fundación de la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (*SETAC*) en 1979, con el objetivo de desarrollar la metodología y los criterios del ACV, temas que actualmente lidera (LCA, 2004 y *SETAC*, 2006).

Desde principios de los años 90 se ha experimentado un gran incremento en el número de encuentros, desarrollo de metodología y posibles aplicaciones del ACV. Todo ello ha despertado el interés por esta herramienta debido, fundamentalmente, a su potencial valor para dirigir estudios ambientales enfocados a prevenir la contaminación, en vez de corregirla. A la ya mencionada *SETAC* se han unido otros organismos como la *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* y la *International Standards Organization (ISO)*, cuya finalidad es el desarrollo de metodologías aceptables, que incluyan una etapa de revisión crítica, garanticen la fiabilidad de los resultados de los ACV y justifiquen las mejoras a llevar a cabo en el producto, proceso o actividad de acuerdo con los resultados del mismo.

En 1993 se crea el *Comité Técnico 207 (ISO/TC 207)* en *ISO*, con el objetivo de desarrollar normativas internacionales para gestión medioambiental, siendo el *Subcomité SC 5* es el encargado de elaborar la normativa para el Análisis del Ciclo de Vida, habiendo desarrollado hasta la fecha:

- UNE-EN ISO 14040. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Estructura (ISO 14040, 2009). Norma que especifica la estructura general, los principios y los requisitos que debe contemplar un estudio de ACV, así como los aspectos que deben incluirse en el informe final del mismo.
- UNE-EN ISO 14041. Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición de Objetivos y Alcance y Análisis de Inventario (ISO 14041, 1999). Define los principios a considerar en la definición de objetivos y alcance y el análisis de inventario del ciclo de vida y cómo deben recogerse estos aspectos en el informe final.
- ISO 14042. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (ISO 14042, 2000). Describe el objetivo y los requisitos generales para desarrollar la evaluación del impacto de ciclo de vida así como las distintas fases que lo componen y los aspectos a tratar en

cada una de estas. Considera también la relación entre el impacto del Ciclo de Vida y el resto de las etapas.

- ISO 14043. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del Ciclo de Vida (ISO 14043, 2000). Describe la última etapa de un ACV, donde se toman en consideración los resultados del análisis de inventario y del análisis de impacto con vistas a elaborar y presentar las conclusiones del estudio.
- ISO/TR 14048. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Formato de datos de Inventario del Ciclo de Vida. Esta norma, aún en elaboración, presenta un formato para la presentación de los datos del inventario.
- ISO/TR 14049. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Ejemplos de aplicación de la ISO 14041 (ISO/TR 14049, 2000). Esta norma proporciona ejemplos de aplicación de la norma ISO 14041 para la definición del objetivo y el alcance y llevar a cabo un Análisis de Inventario.

1.4.2. Metodología para el Análisis del Ciclo de Vida.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es un proceso objetivo: para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como los vertidos de todo tipo al entorno, para determinar el impacto de ese uso de materia y energía y de esas descargas al medio ambiente: y para evaluar y llevar a la práctica oportunidades de realizar mejoras ambientales (SETAC, 1993; Fullana et al., 1995; SETAC, 1996; Clemente et al., 2005).

Fiksel (1997), plantea que la capacidad de una entidad gestionada (producto) de cumplir simultáneamente las metas de costo, calidad y rendimiento, y reducir los impactos ambientales (disminuir las emisiones y conservar los recursos) se denomina ecoeficiencia, para determinar las mejores opciones, es necesaria una herramienta de análisis potente. Esta comparación, además, debe incorporar una concepción global del medio ambiente, sin centrarse en solo parámetro ambiental, ni en una sola fase del ciclo de vida. Dicha herramienta es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

Puig y Fullana (1997), expresan que el ACV es un método de soporte a la toma de decisiones ambientales que permite identificar los impactos ambientales asociados al producto, además de ser utilizado en otros campos como análisis de procesos y actividades.

Iglesias (2005), plantea que el ACV no es la única herramienta para analizar el comportamiento ambiental, pero el real valor del ACV es la articulación entre el criterio ambiental a través de todo el ciclo de vida y las estrategias de la empresa y planificación para alcanzar beneficios comerciales.

Los objetivos globales que persigue un ACV son:

- a) Suministrar un cuadro lo más completo posible de las interrelaciones de los procesos, productos y actividades con el medio ambiente.
- b) Identificar las mejoras ambientales.
- c) Obtener información ambiental de calidad, que facilite el diálogo constructivo entre los diferentes sectores de la sociedad preocupados por los temas de calidad ambiental.

En la Figura 1.14 se muestran las etapas del Ciclo de Vida, aquí no se incluye la etapa de transporte y distribución que se consideran validas analizar durante todas las restantes etapas por la incidencia que en ellas tiene y por su carácter de enlace entre muchas de ellas.

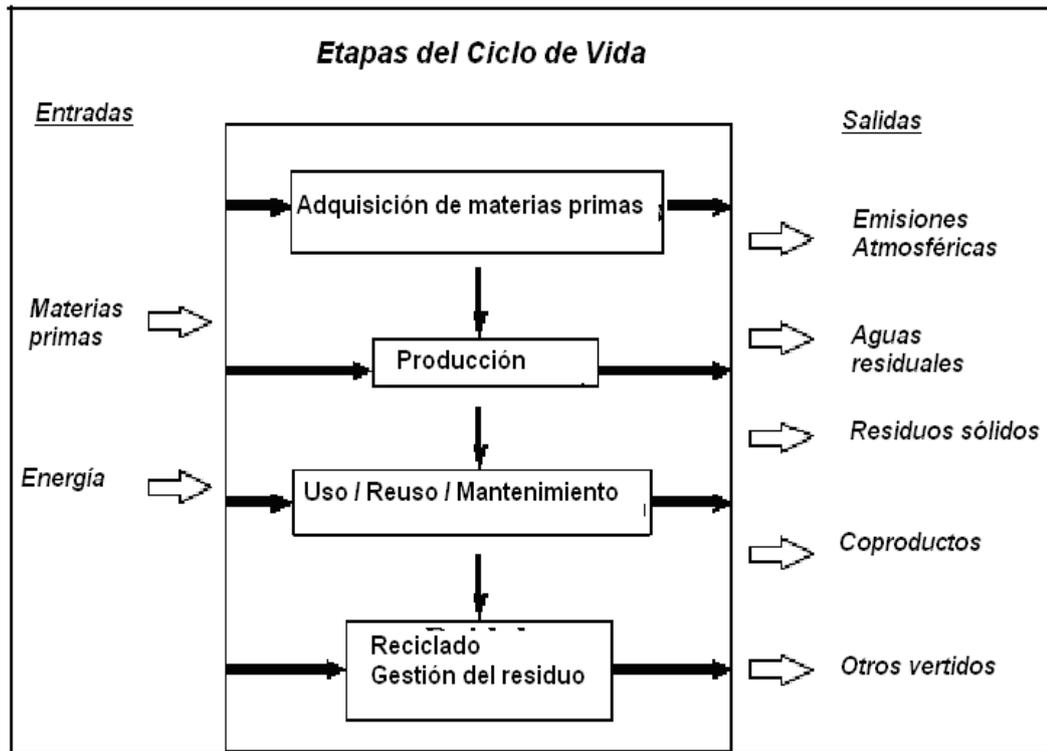


Figura 1.14: Etapas del Ciclo de Vida (Navas, 1995 y Acosta et al. 2005)

La denominación del ACV como método, herramienta, proceso, concepto o metodología es aún muy discutida y de hecho se emplea en diversos casos como uno o como lo otro en dependencia del alcance y el punto de vista del equipo ejecutor. En nuestro caso veremos el ACV como un proceso objetivo de evaluación de cargas ambientales asociadas al producto, proceso o actividad y asumimos la definición dada por la ISO en la norma ISO 14040 (2009), donde, define al ACV como una “técnica que permite evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso o actividad, a través de:

- A. Recopilación de un inventario de las entradas (materia y energía) y las salidas (productos, emisiones atmosféricas, residuos sólidos, etc) relevantes del sistema (producto, proceso y/o actividad objeto de estudio).
- B. Evaluación de los potenciales impactos medioambientales generados como consecuencia de las entradas y salidas mencionadas en el paso A.
- C. Interpretación de los resultados de las dos etapas anteriores (inventario y evaluación de impacto), de acuerdo a los fines que se pretendan lograr con el ACV”.

Del estudio realizado resulta oportuna la fase A dividirla en dos. En la primera se definen los objetivos y alcance del estudio y en la segunda se lleva a cabo el análisis del inventario. La clasificación de las fases de esta forma es utilizada con frecuencia en los estudios más recientes del Ciclo de Vida. Asumimos pues las fases mostradas en la Figura 1.15 propuestas de esta forma por Fava (1992) que son utilizadas por un gran número de autores hasta la fecha, como: Fullana et al. (1995); Puig et al. (1997); Domènech et al. (1998 a); Puig (2002), Acosta et al. (2005); Roy et al. (2007), entre otros.

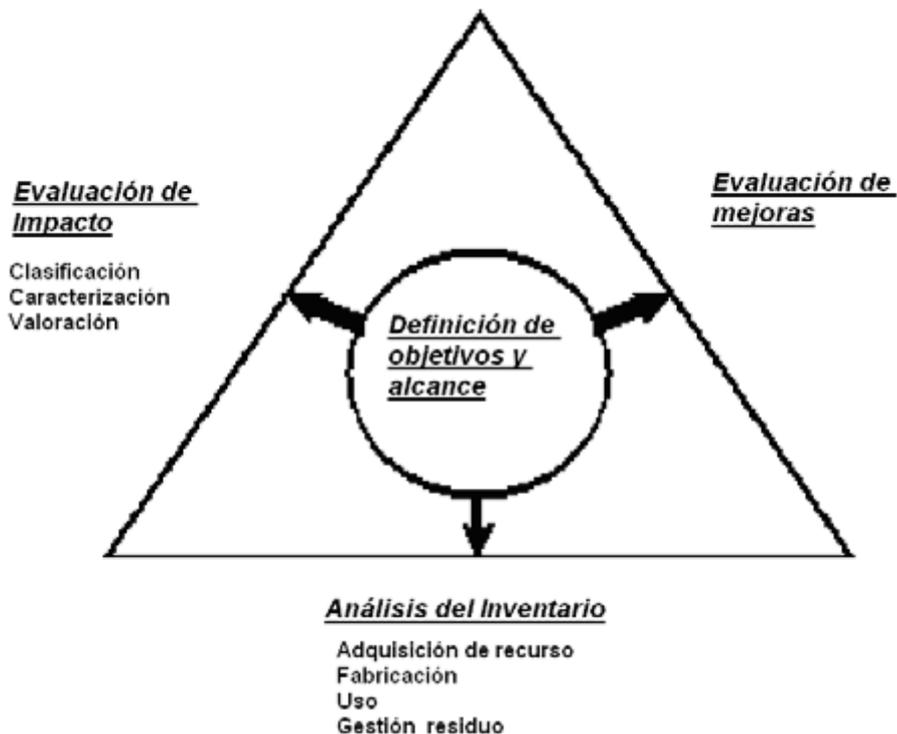


Figura 1.15: Componentes de un Análisis del Ciclo de Vida.

1.4.2.1. Definición del Objetivo y Alcance del ACV

En la *definición del objetivo* del ACV, de acuerdo a la norma ISO 14040 (2009) e ISO 14041(1999), se especifican una serie de datos necesarios para poder iniciar el estudio que incluyen:

- Persona u organismo que encarga el estudio.
- Razones/Motivos para llevar a cabo el estudio y tipo de información que se espera obtener.
- Aplicación prevista del estudio y uso que va a darse a los resultados.
- Destinatario previsto del estudio.

El alcance del ACV. De acuerdo a la norma ISO 14040 (2009), el alcance debe considerar y describir los siguientes puntos:

- Funciones del sistema en estudio.
- Selección de la unidad funcional.
- Descripción del sistema en estudio.
- Establecimiento de los límites del sistema.
- Establecimiento de las reglas de asignación de cargas ambientales.
- Tipos de impacto a evaluar, metodología e interpretación.
- Hipótesis y limitaciones.
- Requisitos de calidad de los datos.

Por último, el alcance también debe incluir el tipo de revisión crítica a efectuar, si esta es necesaria de acuerdo con los objetivos del estudio y el tipo y formato que tendrá el informe final.

1.4.2.2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.

Esta fase, según ISO 14041 (1999) y Baumann et al. (2004), conlleva la resolución de los balances de energía y de materia del sistema, de forma que los datos finales del inventario (parámetros) se recojan en tablas y estén referidos a la unidad funcional. Se trata de la fase del ACV que más tiempo lleva debido a que, normalmente, el número de parámetros a considerar es numeroso. Esta etapa incluye:

- Identificación y cuantificación de las entradas y salidas que tienen lugar en todas las etapas del ciclo de vida, esto es, balances de energía y de materia.
- Trazado de diagramas de flujo.
- Descripción de cada operación unitaria en detalle y relación de los parámetros del inventario correspondientes a cada una, junto con las unidades en que se expresan.
- Listado de las unidades de medida.
- Descripción de las técnicas empleadas para la recogida de los datos y de cálculo.

En cuanto a la procedencia de los datos, puede ser el mismo centro productivo, o bien pueden ser obtenidos o calculados de fuentes publicadas, como estadísticas, legislación, asociaciones, compañías gestoras de residuos y plantas de tratamiento,

bibliografía, estimaciones y suposiciones, bases de datos, etc. Hay que hacer notar que la norma hace hincapié en la calidad de los datos manejados, ya que se trata de un factor básico para la credibilidad del estudio y la interpretación de los resultados.

El Análisis del Inventario (ICV) se basa en los principios del análisis de sistemas. Un sistema se define como una serie de operaciones que efectúan una función definida con precisión. El resultado o producto de un sistema puede considerarse también como un servicio. Puede decirse que el interés en aplicar la evaluación del ciclo de vida para prevenir la contaminación, es permitir la selección de las operaciones relacionadas con un sistema cuya producción se realiza de la manera más eficaz al tomar en cuenta el ciclo de vida en su totalidad.

El Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) cuantifica los consumos de materias primas y energía junto con todos los residuos sólidos, emisiones a la atmósfera y vertidos al agua (las cargas medioambientales) derivados de todos los procesos que están dentro de los límites del sistema. Los resultados de un estudio de ese tipo generan un inventario de las cargas medioambientales asociadas a la unidad funcional (Clemente et al., 2005).

Como ejemplos de unidades funcionales más comúnmente utilizadas en el contexto de la gestión de residuos pueden citarse:

- Por peso unitario de residuos sólidos urbanos.
- Por número de unidades de equivalentes domésticos de residuos sólidos recogidos
- Cantidad de residuos sólidos recogidos de un área geográfica dada.

En los límites del sistema generalmente se incluyen:

- La secuencia de producción principal, es decir, desde la extracción de materias primas hasta la eliminación final del producto, inclusive.
- Operaciones de transporte
- Producción y uso de combustibles
- Generación de energía, es decir, electricidad y calor (incluyendo producción de combustible)
- Eliminación de todos los residuos del proceso
- Fabricación del embalaje de transporte

En los límites del sistema generalmente se excluyen:

- Fabricación y mantenimiento de equipos de producción
- Mantenimiento de plantas de fabricación, es decir, calefacción e iluminación.
- Factores comunes a cada uno de los productos o procesos en estudio.

Una vez que se han fijado los límites de un estudio determinado, la siguiente fase es recopilar los datos que constituirán la base para todos los cálculos.

Se ha generado un proceso gradual para efectuar los inventarios del Ciclo de Vida. El componente del inventario es la parte mejor definida de una evaluación de ciclo de vida desde el punto de vista de la metodología. El procedimiento da inicio con una definición clara del propósito de llevar a cabo análisis de inventario y de la identificación de los límites que definen el sistema del ciclo de vida. El propósito, alcances y límites de inventario ayudan a determinar el nivel o el tipo de información necesaria. Los objetivos de la calidad de los datos son las especificaciones de desempeño necesarias para la información de un inventario del Ciclo de Vida. Los indicadores de la calidad de los datos constituyen características cualitativas o cuantitativas de los mismos e incluyen la aceptabilidad, al sesgo, la representatividad, así como otros atributos que miden el beneficio y la posible aplicación de los datos (ver Tabla 2 en Anexo 2).

1.4.2.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.

La evaluación de impactos facilita la interpretación y combinación de los datos del inventario, de forma más manejable y significativa para la toma de decisiones según lo abordó por ISO 14042 (2000). En el enfoque orientado a los problemas, los datos del inventario se agregan según las contribuciones relativas a un número medible de preocupaciones medioambientales.

Esta fase se hace corresponder cada parámetro obtenido en el Análisis de Inventario, con el potencial impacto ambiental a que da lugar. En esencia, la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida consiste en el desarrollo de las siguientes acciones:

- Elaboración de un inventario de categorías de impacto a que pueden dar lugar las diversas cargas ambientales generadas por el sistema del producto

(efecto invernadero, acidificación, eutrofización, agotamiento de recursos,...).

- Selección, para el sistema en estudio, y en función de los resultados del inventario, de las categorías de impacto que hay que considerar.
- Asignación de los resultados del inventario a las categorías de impacto a las que contribuyen, teniendo en cuenta que algunos de ellos pueden producir más de un impacto.
- Cálculo de las contribuciones individuales de cada parámetro del inventario a un determinado impacto, calculándose posteriormente las contribuciones totales al mismo.
- Establecimiento de un orden de importancia entre los impactos considerados.

Estas acciones se llevan a cabo a través de tres pasos: clasificación, caracterización y valoración.

1.4.2.3.1. Clasificación

Es la fase de la Evaluación de Impacto donde se identifican los impactos a considerar en el ACV, los cuales se agrupan en:

- Consumo de Recursos
- Calentamiento Global
- Reducción de la Capa de Ozono
- Toxicidad humana
- Ecotoxicidad
- Acidificación
- Eutrofización
- Formación de oxidantes fotoquímicos
- Usos del suelo
- Ruidos y olores
- Efectos a la salud en el lugar de trabajo
- Generación de residuos

Conservación de recursos naturales y diversidad de especies Según SETAC (1993), estas categorías de impacto a considerar en un ACV se engloban en tres grupos principales.

- Consumo de recursos naturales (R)
- Impactos al ecosistema (E)
- Daños a la salud (S)

Las categorías de impacto también pueden clasificarse en función del tipo de impacto que origina cada una, distinguiéndose dos grupos:

- Efectos globales: aquellos cuyo impacto es independiente de la localización geográfica en la que se extraen los recursos o en la que tienen lugar las emisiones (consumo de energía, calentamiento global, y efecto sobre la capa de ozono, etc.).
- Efectos de alcance regional o local: aquellos cuyos impactos sólo afectan a un área geográfica localizada (Acidificación, Oxidación Fotoquímica, Eutrofización de las aguas, etc.).

1.4.2.3.2. Caracterización

En esta fase los parámetros inventariados se adicionan dentro de la categoría de impacto a la que contribuyen. Para ello, se tiene en cuenta su contribución potencial a ese impacto, la cual se expresa en forma de un factor denominado factor de caracterización, tal como se indica en la Tabla 3 en el Anexo 3.

Para definir el factor de caracterización se selecciona, de entre todas las especies que contribuyen a un impacto, la más representativa, expresándose el resto en función de ella. Así, para el caso de la acidificación, el factor de caracterización es el denominado Potencial de Acidificación (PAC), el cual se define como la capacidad de una unidad de masa contaminante para emitir H⁺ en relación con la capacidad que tiene el SO₂.

La contribución parcial de cada parámetro al impacto de acidificación según Hospido et al. (2006), se calcula multiplicando la cantidad del mismo emitida (mi) (referida a la unidad funcional), por su respectivo potencial de acidificación (PAC_i) expresado en forma de kg de SO₂ equivalente por kg de i (factor de caracterización), tal como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2: PAC para algunos gases representativos (kg eq. SO₂ /kg i)

SUSTANCIA	PAC
SO ₂	1
SO ₃	0,8
NO ₂	0,7
HCl	1,07
HNO ₃	0,88

La contribución total al impacto se obtiene mediante la suma de todas las contribuciones parciales, lo cual puede expresarse como lo refiere la ecuación (1):

$$\text{PAC (kg SO}_2\text{ – eq)} = \Sigma (\text{PAC}_i * m_i) \quad (1)$$

Si bien la etapa de caracterización no está del todo desarrollada, sí existen algunos puntos internacionalmente aceptados, sobre todo en relación con la unidad de referencia para el cálculo de las contribuciones a un impacto.

Por último, la caracterización se completa con un análisis de la importancia relativa de cada impacto considerado, mediante un proceso denominado “análisis técnico de significancia” (término propuesto por ISO), o “normalización” (término propuesto por SETAC). Esta etapa consiste en el cálculo de la contribución relativa del total de las cargas del producto/proceso en estudio a un impacto en un área y en un tiempo dado, de otra forma, los datos de la caracterización se normalizan dividiéndolos por la magnitud esperada de cada una de las categorías de impactos para un área geográfica y en un momento temporal determinado (por ejemplo, la cantidad media de dióxido de carbono generada por una persona durante el día) (Hospido et al., 2006). Si bien ISO no considera obligada esta etapa, para SETAC la normalización es necesaria debido al hecho de que los valores que se obtienen durante la caracterización están expresados en diferentes unidades y la normalización hace posible su traslado a unidades que permitan su comparación y su interpretación posterior.

1.4.2.3.3. Valoración

El objetivo es obtener un gradiente de importancia de los impactos considerados en la caracterización. Para ello se realiza un análisis cualitativo o cuantitativo de ellos, con el fin de establecer prioridades, debiendo incluirse puntos de vista políticos, valores sociales, valores de expertos ambientales, valores del que toma la decisión, etc. Esto lleva implícito cierto grado de subjetividad, aunque el procedimiento para incorporar factores de valoración puede tener en cuenta conocimientos científicos (sobre todo de ciencias sociales y de comportamiento) y los resultados, en principio, pueden ser empíricamente verificables.

Esta etapa no se encuentra del todo desarrollada, existiendo una gran necesidad de optimización y estandarización. Esto conlleva que en algunos análisis se obvие y las conclusiones se expresen como la contribución relativa de los efectos, esto es, qué efecto es mayor que otro.

CAPITULO II:

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este trabajo, se aplica la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) según la norma cubana ISO 14040 (2009) para realizar el análisis del inventario de la generación de electricidad a partir del Fuel Oil en los emplazamientos del municipio de Bayamo – Granma, para ello se logró un compromiso por parte de la dirección de la empresa con el objetivo de asegurar el éxito en el trabajo y las futuras mejoras al sistema.

Para la realización del inventario, fue necesario precisar algunos aspectos recogidos en la metodología tales como: Objetivo, Alcance y Análisis de inventario en una primera aproximación, para lo cual fue necesario aplicar los métodos empíricos (observación, medición de las emisiones gaseosas y líquidas y la experimentación al procesar la información y calcular las medias)

2.1 Definición del objetivo, alcance y análisis del inventario de ciclo de vida (ISO 14041, 1999).

El objetivo y alcance, no es una etapa como tal del ACV, no obstante muchos autores consideran por la importancia que tiene, que se analice independientemente.

2.1.1 Objetivo

Para la ejecución de un ACV en el proceso de generación distribuida de electricidad se tienen como objetivo:

- Realizar el análisis del inventario de la generación distribuida de electricidad en el emplazamiento Fuel Oil del municipio de Bayamo en la provincia Granma.

2.1.2 Alcance

2.1.2.1. Unidad funcional y descripción del sistema

La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado a partir de la cual se registrarán los datos de entrada y salida, por lo que debe ser claramente definida, medible y consistente con el objetivo y alcance del estudio.

La unidad considerada en el estudio fue la producción de electricidad en megawatt (MW) mensual, esto responde a que los planes de producción se realizan y se cuantifican los datos de forma mensual.

En esta etapa del estudio se conoció el proceso, las operaciones unitarias que lo conforman y el flujo de materiales y energía existentes entre ellas.

2.1.2.2. Límites del sistema

Los límites del sistema se establecen según los objetivos y alcance del estudio y definen los procesos unitarios que serán incluidos dentro del análisis de ciclo de vida, la región externa a los límites se conoce como el entorno del sistema, el cual actúa como fuente para las entradas y como sumidero para todas las salidas.

En cualquier sistema en estudio es difícil determinar todas las entradas y salidas por lo que se hace necesario establecer los límites del mismo, para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes elementos:

- Describir los límites del sistema usando un diagrama de flujo mediante líneas discontinuas.
- Incluir el proceso de transportación de las materias primas (aditivos, diesel, Fuel Oil, aceite mineral, etc) desde la Comercializadora del producto del petróleo (CUPET).
- En el proceso de producción de energía eléctrica se tiene en cuenta el consumo de electricidad, agua y su tratamiento, diesel, aceite y Fuel Oil con su respectivo tratamiento y aditivos.
- Incluir los procesos de transportación utilizados en el tratamiento a los desechos líquidos resultantes (Fuel Oil residuo).

2.1.2.3 Descripción de las categorías de datos

Los datos requeridos están en correspondencia con el objetivo y alcance del estudio, los mismos fueron obtenidos en el sitio de producción, en el caso de las emisiones y caracterización de residuales por el laboratorio de la entidad autorizado por los organismos competente, estos datos se obtienen mensuales por ser esta la forma de cuantificación más conveniente según los informes realizados, por lo que se toma como promedio la producción mensual en el año 2009.

En los procesos de transportación se considera el gasto de combustible para el traslado de las materias primas y combustibles, así como, la distribución de los desechos líquidos, por ser estos elementos más reales en la cuantificación que el tipo de vehículo utilizado.

2.1.2.4 Suposiciones y limitaciones.

Se deben dejar explícitas las suposiciones o consideraciones que se tomen durante el estudio, en muchas ocasiones no se dispone de todos los datos o se desprecian los que no resultan significativos, menos del 2 %, según Rieradevall, et al. (2000).

2.1.2.5 Requisitos de calidad de los datos.

La calidad de los datos para cada proceso establecido dentro de los límites del sistema a estudiar es importante para comprender la fiabilidad de los resultados.

Se tuvo en cuenta dentro de los requisitos de calidad los siguientes:

- Tiempo
- Geografía
- Tipo
- Asignación
- Límites del sistema

2.1.3. Análisis del inventario (ISO 14041, 1999)

El análisis del inventario de un ciclo de vida tiene que ver con la compilación de datos y los procedimientos de cálculo a seguir para cuantificar las entradas y salidas del sistema en estudio.

Para este análisis se comenzó por la preparación para la compilación de los datos, posteriormente se compiló los datos, se validó y luego se relacionaron los datos con los procesos unitarios obtenidos por la empresa, proveedores, clientes y otros medios, según modelo (tabla 4 Anexo 4).

Para determinar los componentes en los gases producto de la combustión se empleó un analizador de gases con características mostrada en la tabla 2.1 y figura 2.1, se realizaron 10 muestreos para lograr una media aritmética, comparándola según UNE (2005) con las en la Norma Cubana de Calidad del aire NC 93-202-02/1987 y su enmienda NC 39/1999, mostrada en la tabla 2.2

En el caso del análisis del agua residual se tomaron 6 muestras y se procesaron en el laboratorio de la propia entidad comparándola con los valores límites dados por la norma cubana NC 27. 1999, y mostrada en la tabla 2.3.



Figura 2.1: Fotografía del analizador de gas (BOSTON)

Tabla 2.1: Datos técnicos del analizador de gas (Marca BOSTON)

DATI TECNICI - TECHNICAL DATA		
Valori reali / metodo di misura Real values / measuring method	Campo di misura/ range	Risoluzione resolution
Temperatura ambiente - Ambient temperature Sonda Pt 100 - Pt 100 sensor	0 + 100°C	1 °C
Temperatura fumi - Flue-gas temperature NiCr-Ni	0 + 800°C	1 °C
O2 ossigeno - O2 oxygen Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 21 % v/v	0,1 %
CO ossido di carbonio - carbon monoxide Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 4000 ppm	1 ppm
NO ossido d'azoto - NO nitric oxide Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 1000 ppm	1 ppm
SO2 biossido d'azoto - SO2 sulphur dioxide Cella elettrochimica - electrochemical cell	0 + 2000 ppm	1 ppm
Tiraggio / pressione / pressione differenziale Draught / pressure / differential pressure Ponte DMS - piezoresistive bridge sensor	± 100 hPa	0.1 hPa
Opacità fumi (nerofumo) - Smoke determination	0 + 9	1
Valori calcolati / metodo di misura Calculated value / measuring method	Campo di misura/ range	Risoluzione resolution
CO2 anidride carbonica - CO2 carbon dioxide Calcolata - calculated	0 + 20% v/v	0,1 %
Rendimento - Efficiency Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	0 + 100%	0,1 %
Rendimento utile per caldaie a condensazione Efficiency for condensation boilers	> 100%	0,1 %
Perdita camino - Stack loss Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	0 + 100%	0,1 %
Eccesso d'aria - Excess air number Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	1 + 50	0,01
Temperatura di rugiada - dew temperature Secondo UNI 10389 - accordingly to UNI 10389	0 + 100°C	1 °C
Sonda fumi - Gas probe	Tubo lunghezza 3 m - 3 m gas line / 1,50 m (optional)	
Lunghezza sonda - Probe length	300 mm / 150 mm (optional)	
Pompa di aspirazione - Sample pump	Pompa a membrana - membrane pump	
Filtro fumi - Gas filter	Doppio filtro in linea, scaricatore di condensa e radiatore in alluminio double in-line filter with condensate trap and aluminium radiator	
Alimentazione - Power Supply	a batteria interna con adattatore di rete 230Vac per la ricarica o alimentazione diretta built-in battery with external AC/DC adapter for rechargement or direct supply	
Durata media - Average lasting	6 ore - 6 hours	
Batteria - Battery	LiOn 7,2 Vdc 1,1 Ah	
Tempo di ricarica batteria Battery charging time	4 ore 4 hours	
Temperatura d'esercizio Operating temperature range	-5 °C +50 °C	
Temperatura di stoccaggio Storage temperature range	-20 °C + 55 °C	
Dimensioni - Dimensions	W X D X H: 240 X 130 X 110 mm	
PeSo - Weight	1,4 Kg (strumento + sonde)	

Tabla 2.2: Concentraciones máximas admisibles (CMA (a) en 20 min. y CMA (c) en 24 horas) según la NC 39: 1999

	CO (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	H ₂ S (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)
CMA (a)	5	0.500	0.008	0.085
CMA (c)	3	0.050	0.008	0.04

La presencia de contaminantes en los gases de combustión puede detectarse a partir de la concentración de los componentes del gas. Generalmente, se utilizan las unidades siguientes:

- ppm (partes por millón)
- mg/Nm³ (miligramos por metro cúbico)
- mg/kWh (miligramos por kilovatio-hora de energía)

Para convertir de ppm a mg/m³ se emplean las siguientes fórmulas (TESTO,2004):

$$\text{CO (mg/m}^3\text{)} = \left[\frac{21 - O_{2 \text{ referencia}}}{(21 - O_2)} \right] \times \text{CO (ppm)} \times 1,25$$

$$\text{NO}_x\text{(mg/m}^3\text{)} = \left[\frac{21 - O_{2 \text{ referencia}}}{(21 - O_2)} \right] \times 2,05 \times (\text{NO (ppm)} + \text{NO}_2 \text{(ppm)})$$

$$\text{SO}_2\text{(mg/m}^3\text{)} = \left[\frac{21 - O_{2 \text{ referencia}}}{(21 - O_2)} \right] \times \text{SO}_2 \text{(ppm)} \times 2.85$$

Tabla 2.3: Límites Máximos Permisibles Promedio para las Descargas de Aguas Residuales según la Clasificación del Cuerpo Receptor

Parámetros	UM	Ríos y Embalses			Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada de 5 m			Acuífero vertimiento directo a la zona saturada		
		(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
pH	Unidades	6,5-8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-10
Conductividad eléctrica	μ S/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	mL/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0,5	1,0	5,0
DBO ₅	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
DQO (Dicromato)	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
Nitrógeno total (Kjd)	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
Fósforo total	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

CAPITULO III:

Análisis y discusión de los resultados

En este capítulo se aplica la metodología relacionada en el capítulo anterior al proceso de producción de electricidad a partir de grupos electrógenos alimentados con Fuel Oil en el establecimiento de Bayamo - Granma perteneciente a la Empresa Eléctrica Granma.

3.1. Objetivo y Alcance

Para la ejecución de un análisis de inventario como primer paso para el ACV en el proceso de producción de electricidad a partir de grupos electrógenos alimentados con Fuel Oil se tienen como objetivo:

- Realizar el análisis del inventario de la generación distribuida de electricidad en los emplazamientos Fuel Oil del municipio de Bayamo en la provincia Granma

3.1.1 Unidad funcional y descripción del sistema

Se considera la unidad funcional de: 9 021 048 MW. La descripción del sistema se basa en la producción de electricidad a partir de grupos electrógenos alimentados con Fuel Oil,

El proceso comienza con la recepción de combustible Fuel Oil, Diesel y Aceite, los mismos se descargan mediante bombas que se conectan al carro cisterna de CUPET (Cuba petróleos), almacenándose las materias primas en tanques para combustible Fuel Oil de 1 000 m³, para Diesel en dos tanques de 100 m³ y un tanque de 50 m³ para el aceite.

El combustible diesel se bombea desde los tanques de recepción al tanque en la planta de tratamiento de combustible, de donde se suministra a los motores de combustión interna (HYUNDAI) para el momento de arranque, los mismos son los encargados de mover el generador eléctrico. El sistema se sincroniza al sistema energético nacional (SEN).

Los gases de escape del motor, se recuperan en generadores de vapor, el vapor generado es utilizado para calentar el combustible pesado Fuel Oil; el mismo se bombea desde los tanques de recepción hasta la planta de combustible, donde con una purificadora se le extraen las impurezas; dicho combustible se calienta a 125 °C para así poder emplearlo en el sistema de inyección de los motores.

Para lograr un trabajo ininterrumpido de los motores y así de la generación, los aceites de los mismos son tratados en una purificadora, la misma le extrae las impurezas, los cuales se depositan en un tanque de residual lodo.

En el proceso de purificación del Fuel Oil se obtiene un residual lodo, que sumado al residual de aceite se transporta a las plantas de cerámicas y asfalto para ser usado como materia prima.

Para que las calderas y motores se mantengan trabajando y generando vapor se necesita agua, tratada en una planta a base de filtro de carbón, agregándole productos químicos para obtener de ese modo un agua libre de impurezas que puedan ocasionar incrustaciones en los sistemas de intercambiadores de los generadores de vapor y motores.

Luego de tener estas condiciones en el combustible, aceite y agua, los motores mueven un generador de 1.6 MW sincronizado al SEN, pero antes la energía es suministrada a las subestaciones de transmisión y finalmente a los consumidores.

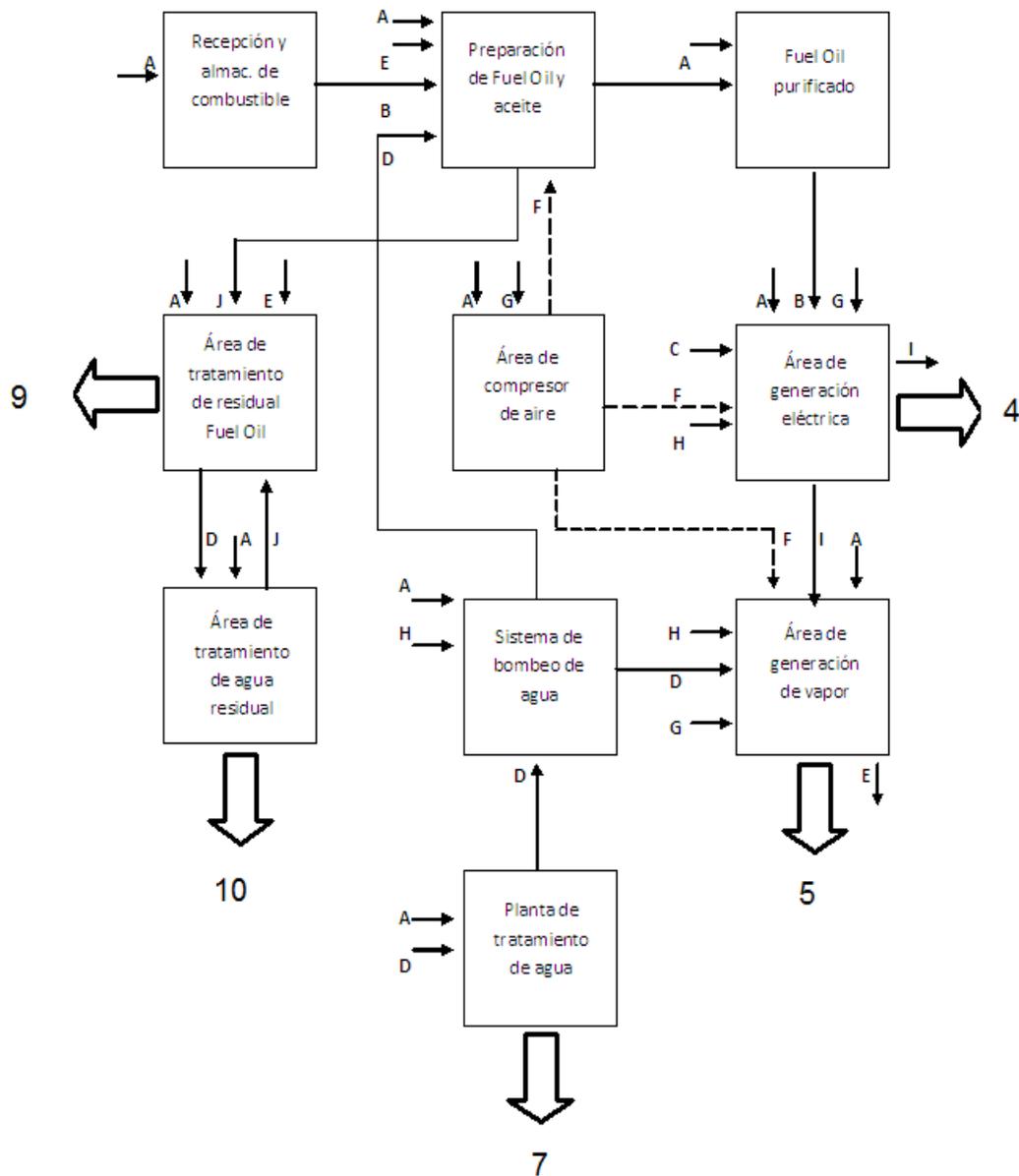


Figura 3.1: Representación del sistema de estudio

Tabla 3.1: Leyenda de la figura 4

LEYENDA			
MEGAWATT HORA	A	GASES DE LA COMBUSTIÓN	I
FUEL OIL	B	RESIDUAL FUEL OIL – ACEITE	J
DIESEL	C	MEGAWATT	BLOQUE (4)
AGUA	D	GASES DE COMBUSTIÓN	BLOQUE (5)
VAPOR	E	AGUA RESIDUAL DURA	BLOQUE (7)
AIRE COMPRIMIDO	F	ACEITE RESIDUAL FUEL OIL	BLOQUE (9)
ACEITE	G	AGUA CONTAMINADA	BLOQUE (10)
ADITIVOS	H		

3.1.2 Limites del sistema

El ciclo de vida de la generación eléctrica se contemplan en 10 etapas como se muestra en la figura 3.1, cada una de ellas con el conjunto de sus actividades que están estrechamente relacionada, interactuando unas con otras y transformando elementos de entradas en salida, referido al uso de materias primas, energía e insumos, obteniéndose productos y emisiones al medio ambiente, por lo que se requiere conocer detalladamente el proceso con cada operación unitaria, estableciendo para ello los límites del sistema, partiendo del objetivo y alcance; es de señalar que en este caso no se tuvo en cuenta las subestaciones de transmisión ni los consumidores, pues traería otros análisis que dificultaría el estudio.

En el análisis de los límites del sistema se comenzó con la selección de todas las entradas necesarias para la generación de electricidad y las salidas como emisiones al aire, agua y suelo responsables de contribuir en la contaminación del ecosistema.

3.1.2.1 Procedimientos de asignación de cargas ambientales

En el estudio se tuvieron en cuenta para la inclusión de entradas y salidas los siguientes criterios de corte

- La masa de todas las materias primas empleadas en el proceso de generación como entrada de masa al sistema producto.
- La energía empleada como entrada al sistema producto asociada al consumo eléctrico y combustible empleado en las transportaciones.
- La Importancia Ambiental de todas las entradas y salidas del sistema

La asignación de las cargas ambientales en el proceso, se realiza por cada etapa del proceso productivo teniendo en cuenta todas las entradas y salidas reportada en un mes.

3.1.3 Limitaciones y suposiciones

- El cálculo de los productos gaseosos se realizan mediante el empleo de analizadores de gases de la propia instalación.
- Las características físicas - química y microbiológicas de las aguas residuales fueron determinadas por el laboratorio de análisis de agua perteneciente al propio emplazamiento.

3.2 Análisis del inventario

En el análisis del inventario se cuantificaron todas las entradas y salidas del sistema, incluyendo el uso de recursos y las emisiones generadas asociada al sistema.

3.2.1 Balance de materiales, agua, energía y productos químicos.

La Tabla 3.2 ilustra el inventario realizado a las entradas de materiales, agua, energía y productos químicos utilizados para la generación eléctrica promedio en un mes. El balance de estos productos permitirá la distribución de cargas ambientales en el proceso.

Tabla 3.2: Inventario de materiales para la generación de electricidad
(promedio mensual)

Flujos	Unidad	Cantidad	Observaciones
Fuel oil (generación)	L	2 000 000	Combustible fundamental para el funcionamiento de los MCI
Diesel (generación)	L	70 000	Empleado para los momentos de arranque de los grupos electrógenos.
Aceite motor	L	9 573	-
Vapen 220	L	4	Aditivo para el generador de vapor
Vapen 300	L	2.4	Aditivo para el generador de vapor
Hidróxido de Sodio	L	20	Aditivo para el tratamiento del agua
Anti-Escalante VAPEN 230	L	15	Aditivo para el tratamiento del agua
Electricidad consumida	MW h	261.7	Energía eléctrica consumida del SEN
Potencia eléctrica generada	MW	9 021. 048	Potencia eléctrica generada por los grupos electrógenos.
Agua tratada	m ³	405	
Residual lodo	L	6 200	Residuo generado de la purificación del Fuel Oil y del aceite
Diesel transporte	L	2 047	Combustible empleado en la transportación del Fuel Oil, de las materias primas necesarias en el proceso y del traslado del residual lodo.

3.2.2 Emisiones al aire

Las emisiones de gases contaminantes fueron determinadas mediante el analizador de gases especificado en el epígrafe 2.1.3, mostrándose los resultados en la Tabla 3.3. Los mismo se determinaron sobre la base de 2.3 de exceso de aire, salida de los gases con una temperatura de 340 °C y 13 % de oxígeno.

Tabla 3.3: Cantidades de contaminantes generados.

Valores Medidos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Media
Temperatura del flujo de gases (°C)	309	330	350	330	389	324	324	336	389	324	340,5
Temperatura del aire comburente(°C)	21,1	21,8	22,6	21,8	24,4	25,3	25	23,9	24,4	25,3	23,56
O ₂ %	14,4	13,1	12,6	13,1	11,9	13,1	12,8	12,8	11,9	13,1	12,88
CO en los gases secos (ppm)	33	189	172	189	335	128	112	107	335	128	172,8
CO ₂ (%)	5,9	6,8	7,2	6,8	7,8	6,8	7	7,1	7,8	6,8	7
SO ₂ Gases Tóxicos (ppm)	274	318	279	318	380	308	331	318	380	308	321,4
NO ₂ Gases tóxicos en el aire (ppm)	680	743	724	743	590	590	643	642	590	590	653,5
Perd. (%)	33,1	31,1	31	31,1	31,9	30,1	29,4	30,3	31,9	30,1	31
Eficiencia (%)	66,9	68,9	69	68,9	68,1	69,9	70,6	69,7	68,1	69,9	69

Por los resultados medidos se determinó, según los parámetros condenatorios para motores Fuel Oil, que las emisiones gaseosas se encuentran en norma (NC 39: 1999), a excepción del NO₂ (653,5 ppm = 16,5 mg/m³) y SO₂ (321,4 = 11,3 mg/m³). La eficiencia es baja inferior al 70 %.

3.2.6 Residuales líquidos

Se estimaron los residuales generados, entre unos 4 000 m³/mes, teniendo en cuenta la cantidad de agua después de pasar por la trampa tecnológica y sistemas de filtros.

Los sistemas colectores de esta agua son sistemas de piscina que por decantación van tratando de eliminar la mayor parte de contaminantes, estas corrientes residuales son dirigidas hacia el suelo afectando la calidad del ecosistema. Las aguas residuales generadas son de tipo industrial provenientes de la limpieza de los equipos y de la instalación en general.

La caracterización de los residuales se realizó en el laboratorio que para esos efectos cuenta la instalación. Los resultados se muestran en la Tabla 3.4.

Para la evaluación del efluente se tuvo en cuenta lo establecido en la legislación vigente donde aparecen los Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) establecidos en las normas cubanas: NC 27.1999. “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones”

Tabla 3.4: Características físico química de las aguas residuales
(27.4 °C)

Muestras	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)	DQO (mg/L)	G y A (mg/L)	HC (mg/L)
1	7.30	640.00	762.50	305.00	457.50	711.36	650.00	430.00
2	7.80	700.00	727.50	370.00	357.50	786.25	160.00	50.00
3	7.44	660.00	862.50	452.50	410.00	672.22	430.00	410.00
4	6.10	630.00	645.00	290.00	355.00	960.00	385.20	263.00
5	5.90	640.00	615.00	242.00	372.00	960.00	334.70	243.00
6	6.00	630.00	625.00	250.00	375.00	960.00	330.40	231.30
Media	6.76	650.00	706.25	318.25	387.83	841.64	381.72	271.22

ST: Sólidos totales **STV:** Sólidos totales suspendidos **STF:** Sólidos filtrables

DQO: Demanda química de oxígeno **G y A:** Grasas y aceites

HC: Hidrocarburos **CE:** Conductividad eléctrica

De acuerdo a lo establecido en las Normas Cubanas Obligatorias NC 27:1999, donde se establecen los límites máximos permisibles promedios (LMPP) para las descargas en los diferentes cuerpos receptores y teniendo en cuenta el valor medio de los resultados analíticos realizados al efluente (aguas oleosas) provenientes del proceso de centrifugado del Fuel Oil y aceite, cumple con los requisitos de calidad para su vertimiento en cualquier cuerpo receptor en los parámetros: pH (6 - 9) y conductividad eléctrica (CE < 4000). No se cumple en los demás parámetros analizados para ningún cuerpo receptor, de la norma anteriormente mencionada.

En la norma no se contempla el parámetro hidrocarburo (HC: *petróleo y sus derivados*) porque está prohibido su vertimiento a cualquier cuerpo receptor de los mencionado en la misma.

III CONCLUSIONES

1. Se computó el consumo y generación de materiales, agua, energía y productos químicos empleados en la generación de electricidad en los emplazamientos de Fuel Oil.
2. Los componentes NO_2 y SO_2 de los gases producto de la combustión de Fuel Oil no cumplen con la norma.
3. Los componentes de los residuales líquidos no cumplen con la norma a excepción del pH y la CE.

IV RECOMENDACIONES

1. Realizar mejoras en el proceso con vista a cumplir con la norma establecida en el caso los efluentes líquidos y gaseosos.
2. Continuar el trabajo estableciendo el análisis de ciclo de vida completo, para valorar el comportamiento del proceso de generación con el medio ambiente.

V REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Acosta, Xaquín; Rieradevall, Joan. 2005. Environmental analysis of the energy use of hemp –analysis of the comparative life cycle: diesel oil vs hemp – diesel. *IJARGE. Int. J. Agricultural Resources Governance and Ecology*, vol. 4, No. 2, p 133 – 139.
- Alfonso Pérez, G.J. 1996. Evaluación Ambiental de la CT “Carlos Manuel de Céspedes”. Cienfuegos. Universidad de Cienfuegos. Cuba. p 4 – 18.
- Aránguez, Emiliano. 2005. Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. En Línea: <http://www.monografia.com/trabajos903/contaminantes-atmosferico-vigilancia.shtml> (12/12/2010).
- Ayes Ametller, Gilberto. 2003. Medio Ambiente, impacto y desarrollo. Científico-Técnica. La Habana. Cuba. p 63.
- Bauman, Henrikke; Tillman, Anne – Marie. 2004. *The Hitch Hiker’s Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application.* Studentlitteratur, Lund. Sweden. ISBN: 91 – 44 - 02364 – 2. 543 p.
- Borroto Bermúdez, Aníbal et al. 1997. *Planificación Energética en Asentamientos Rurales.* Guadalajara, México. 60 p.
- Boustead, I. 1995. *Life Cycle Analysis. Aiche Symposium Series* nº 91.
- Cárdenas Moreno, L.O. 1997. *Contaminación Ambiental en lugares de trabajo.* Consejo colombiano de seguridad. Código AT. No 58. Colombia.
- Carrasco García, Juan. 2002. Aspectos medioambientales de la producción y uso de la biomasa como recurso energético. CIEMAT. Disponible en: <http://www.gem.es/materiales/document/document/g02/d02105/d02105.htm> (09/11/2010)
- Centeno, J.C. 2006. El efecto invernadero. Disponible en: www.earthsystems.org.(02/11/2010)
- Clemente, Gabriela; San Juan, Neus y Vivancos, José Luis. 2005. *Análisis de Ciclo de Vida: Aspectos Metodológicos y casos Prácticos.*

Universidad Politécnica de Valencia. España. ISBN: 84 – 9705 – 852 – 6. 190 p.

Domènech, Xavier et al. 1998. Int. J. Life Cycle Assessment. 103 p.

Energético.

Fava, James. A. 1992. Application of product Life Cycle Assessment to product stewardship and pollution prevention programs. Water Science Technology. Vol. 26, nº 1-2.

Fiksel, J. 1997. Ingeniería de Diseño Medioambiental DFE. Desarrollo integral de productos y procesos ecoeficientes. McGraw – Hill. Madrid, 1997.

Fredes, Germán. 2010. Generación de corriente alterna: <http://www.monografias.com/trabajos74/generacion-corrientealterna/generacion-corriente-alterna.shtml>. (12/11/2010)

Fullana, Pere; Rieradevall, Joan. 1995. Análisis de Ciclo de Vida del Producto – ACV. Nueva herramienta de gestión ambiental. Innovación Química. Vol. 10. 9 p.

González Santalo, José M. 2009. La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. Boletín IIE. Mexico.

Hospido, A. et al. 2006. Environmental assessment of canned tuna manufacture with a life – cycle perspective. ELSEVIER. Resources Conservation and Recycling 47. p 56 – 72.

Iglesias, Daniel H. 2005. Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. Contribuciones a la Economía. Disponible en: <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.htm>.

ISO 14040. 2009. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Marco de referencia. La Habana, Oficina Nacional de Normalización. 19 p.

ISO 14041. 1999. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Definición de Objetivos y Alcance y Análisis de Inventario. La Habana, Oficina Nacional de Normalización. 23p.

ISO 14042. 2000. Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. La Habana, Oficina Nacional de Normalización.

27 p.

ISO 14043. 2000. Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Interpretación. La Habana, Oficina Nacional de Normalización. 29 p.

ISO/TR 14049. 2000. Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Ejemplos de aplicación de la ISO 14041 para la definición del objetivo y el alcance y análisis del inventario.

LCA. 2004. Environmental Newsletter. No. 12/04. Disponible en: <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lcanet>. (05/12/10).

López Bastida, Eduardo. 1997. Propuesta de gestión ambiental de la CT “Carlos Manuel de Céspedes”. Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. Cuba. p 58.

Navas, J. 1995. Aplicación del ACV a los embalajes (informe).

NC 27. 1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestre y alcantarillado. Especificaciones. ICS: 13.060.30.

NC 39. 1999. Calidad del aire. Requisitos higiénico - sanitarios. Concentraciones máximas admisibles (CMA (a) en 20 min. y CMA (c) en 24 horas)

OLADE. 2002. ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA. Informe Energético. Disponible en: www.amgn.org.mx/preguntas.htm. (25/11/2010).

OLADE. 2004. ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA. Informe

ONE. 2005. Anuario Estadístico de Cuba. Oficina Nacional de Estadística. Cuba. 100 p.

OPS. 2004. Guías y normas de calidad del aire en exteriores. CEPIS. p 13 –31.

PTS. 2006. Puestos claves y gestión total eficiente de la energía en el sector productivo y de servicio (reseña). Programa de trabajadores sociales. 2006. La Habana. Cuba. 14 p.

Puig, Rita. 2002. Análisis de ciclo de vida. Rubes. Barcelona.

Puig, Rita; Fullana, Pere. 1997. Análisis del Ciclo de Vida. Rubes. Barcelona.

Rieradevall, Joan; Doménech, Xavier; Bala, Alba; Gazulla, Cristina. 2000. Ecodiseño de envases. Elisava. Barcelona. p 43 – 82.

Rodríguez Castellón, Santiago. 2001. Consideraciones Sobre el sector Energético Cubano. CUJAE. Cuba. 34 p.

Roy, Poritosh et al. 2007. Life cycle of rice: Challenges and choices for

- Bangladesh. Journal of food engineering 79. ELSEVIER. 1250 – 1255 p.
- Sandström, T.; Nowak, D.; Van Bree, L. 2005. Efectos de las partículas gruesas en el aire ambiental sobre la salud: mensajes para la investigación y la toma de decisiones. European respiratory journal. Volumen 7, No 1. p 3 –4.
- SETAC. 1993. Guidelines for Life Cycle Assesment: A “Code of Practice”.
- SETAC. 1996. Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment. SETAC.
- SETAC. 2006. Setac org. Disponible en: [http://www.setac.org/htdocs/whoabout spanish.html](http://www.setac.org/htdocs/whoabout_spanish.html). (10/12/10).
- SPOLD. 1993. The LCA Sourcebook. An european business guide to Life – Cycle Assessment. Londres.
- Testo. 2004. Manual práctico. Tecnología de medición en calderas. Instrumentos Testo S. A. Barcelona. España.
- UNE. 2005. Aspectos y Requisitos Ambientales a tenerse en cuenta en la ubicación y la explotación de los Grupos Electrógenos Diesel (GED).
- Wagner, Travis. 1996. Contaminación, causas y Efectos. Gernika. México.

ANEXOS

VI ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 1: Cronología en el desarrollo de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida

(SETAC, 1993 y Fullana et al., 1995).

DECADA	AÑO	EVENTO	COMENTARIO
1960	1960	Primeros esfuerzos sobre análisis energéticos	Sin embargo, ¿hasta cuándo retroceder? Algunos trabajos sobre ciclo de vida es posible que se hicieran en los primeros años de la Revolución Industrial
	1969	Harry Teasley, entonces con Coca-Cola, esponsoriza estudios de ciclo de vida en varios envases de bebidas, ambiente llevados a cabo por el Midwest Research Institute (MRI) en Estados Unidos	El propósito era comparar diferentes envases para determinar cuáles producían menor efectos en los recursos y el medio ambiente
1970	1970-75	En MRI, Robert Hunt continúa los estudios REPA. Otros pioneros (en el Reino Unido Boustead y en Suecia Sundstrom) comienzan a desarrollar modelos en este período	Uno de los autores de los estudios MRI, William Franklin, funda una de las empresas líderes en LCA en Estados Unidos: Franklin Associates
	1973-74	Primera crisis del petróleo	Los análisis energéticos pasan a ser prioridad número 1
	1975-	Cae drásticamente el interés en los ACV/REPA	Gracias a la segunda crisis del petróleo en 1979, se da un pequeño empuje
	1979	Se funda la SETAC	Líder desde entonces de los estudios de ACV
1980	1982-	Se definen los principios básicos del PLA (Product Line Analysis)	Los pioneros son el Öko Institut en Freiburg y IOW

	1984	EMPA desarrolla un primer programa de cálculo de ACV: Oko-Base	De aquí se llegó a Oko-Base II, usado por la cadena comercial Migros
	1986-89	Oko-I Oko-Institut empieza a trabajar en PLA	El trabajo se ha centrado en la metodología, con pocas aplicaciones reales aún
1990	1990	Procter&Gamble y WWF organizan los primeros seminarios	El interés de WWF/Conservation Foundation ha sido seguido por un número creciente de ONG's
		Se funda Ecobilan en Francia	Ecobilan es una de las consultorías de ACV de la tercera ola (con la primera en los 70 y la segunda en los 80)
		Primer encuentro de la SETAC en Vermont	Se identifican tres etapas del ACV: inventario, análisis de impacto y mejoras
	1991	Encuentro de la SETAC en Leiden, Holanda	Centrado en la metodología general para ACV
	1992	Se funda SPOLD (Society for the Promotion of LCA Development)	Asociación de 20 grandes compañías europeas con la finalidad de promocionar el desarrollo y la aplicación del ACV
		Encuentro de SETAC en Sandestin, en febrero	Centrado en análisis de impacto
		Encuentro de SETAC en Postdam, en junio	Centrado en las aplicaciones del ACV
		Encuentro de SETAC en Wintergreen, en octubre	Centrado en la calidad de los datos
	1993	Encuentro de SETAC y SECOTOX en Copenhague, en febrero	Centrado en la fase de clasificación de impacto
		Conferencia de SETAC en Sesimbra, Portugal, en mayo	Los practicantes de la metodología desarrollan "Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice"
		Creación del Comité Técnico 207 (ISO/TC 207) en ISO	El Subcomité SC5 elabora la normativa del Análisis del Ciclo de Vida
		SPOLD publica "The LCA Sourcebook"	Y el proceso sólo acaba de empezar.....

- 1994 Se organizan multitud de conferencias internacionales sobre ACV. Entre estas se incluye la organizada por la UNTEC en Sitges.
- El ACV forma parte de los planes de estudio de Universidades de gran cantidad de países europeos. Ya no es un tema circunscrito a unos pocos eruditos. En España, son pioneras la UNTEC, la Universidad Rovira i Virgili y la Universidad Pompeu Fabra.
- El uso del ACV ya es común en los departamentos de medio ambiente de las grandes empresas europeas. El análisis ya es una herramienta útil de gestión ambiental sobre todo en el diseño de productos, envases y embalajes.

ANEXO 2

Tabla 2: Indicadores de calidad de los datos pertinentes a la evaluación del Ciclo de Vida (ISO14041, 1999).

Indicadores	Definición
<u>Cuantitativos</u>	
Exactitud	Medición de la coincidencia de los datos con respecto a una norma conocida.
Sesgo	Medición del error sistemático que ocasiona que los valores de un conjunto de datos sean consistentemente más altos o más bajos que los valores reales de los parámetros correspondientes.
Integridad	Porcentaje de los datos existentes debido al análisis, comparado con la cantidad de los datos necesarios.
Precisión	Medición de la dispersión o variabilidad en los valores de los datos o en las mediciones comparadas con respecto a la medida.
<u>Cualitativos</u>	
Posibilidad de aceptación	Grado en el cual los profesionales en el campo han revisado la fuente de datos o la han encontrado adecuada.
Posibilidad de acceso	Facilidad de obtener la fuente de datos o los valores.
Posibilidad de comparación.	Grado en el cual los diferentes métodos, conjuntos de datos o decisiones están de acuerdo o pueden representarse como similares o equivalentes.
Adición de datos	Grado en el cual los datos permanecen dispersos, de tal manera que puedan evaluarse las tendencias de los datos.
Método de recopilación de datos.	Información que describe el método de recopilación de datos.
Limitaciones enumeradas.	Grado en el cual la fuente de datos analiza las limitaciones relacionadas con los mismos.
Documentación del Modelo.	Grado en el cual la fuente de datos proporciona la documentación del modelo afín.
Limitaciones del modelo QA/QC	Grado en el cual la fuente de datos analiza las limitaciones relacionadas con el modelo. Datos sujetos a los procedimientos del aseguramiento de la calidad y/o el control de la calidad.
Referenciados	Valores de los datos que toman como referencia la fuente real de datos.
Representatividad	Describe la exactitud con que los datos representan lo que el analista trata de describir o deducir.
Reproducibile	Punto en el que los protocolos seguidos en la generación del conjunto de datos que permiten la creación de otro conjunto de datos con propiedades similares.
Medidas estadísticas	La fuente de datos proporciona, o permite, el cálculo de la media, desviación estándar y distorsión.
Verificación y validación	Se verificó la fuente de datos y se evaluó con respecto a un método o norma aceptada para determinar la exactitud de los resultados.

ANEXOS 3

Tabla 3: Factores de caracterización para categorías de impacto ambiental.

(Rieradevall, 2000)

IMPACTO	FACTOR DE CARACTERIZACION	UNIDAD DE REFERENCIA
Consumo de Recursos Energéticos	Cantidad Consumida	MJ
Calentamiento Global	Potencial de Calentamiento Global (PEI)	kg. eq CO ₂
Reducción de la Capa de Ozono	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)	kg. eq. CFC-11
Acidificación	Potencial de Acidificación (PAC)	kg. eq SO ₂
Formación de Oxidantes Fotoquímicos	Potencial de Formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)	kg. eq. C ₂ H ₄
Eutrofización	Potencial de Eutrofización (PE)	kg. eq. De NO ₃ ⁻
Consumo de Materias Primas	Cantidad Consumida	tm
Toxicidad por generación de metales pesados	Potencial de toxicidad por Generación de metales pesados	kg de Pb
Toxicidad humana por formación de agentes carcinogénicos.	Potencial de toxicidad Humana por formación de agentes carcinogénicos.	kg benzeno (a) pireno
Formación de partículas en suspensión.	Potencial de formación de partículas en suspensión (PFPS)	kg
Emisión sólidas	Cantidad emitida	kg

ANEXO 4.

Tabla 4: Recopilación de datos

Proceso / producto:		Unidad funcional:	
Mes:			
Identificación de etapa:			
Entradas:	Unidades:	Cantidad:	Observaciones:
Salidas:			
Identificación de etapa:			
Entradas:			
Salidas:			
