



TRABAJO DE DIPLOMA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Título: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)
DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO: CASO DE
ESTUDIO CEMENTOS CIENFUEGOS S.A**

Autor: ROSA MARÍA LEÓN RODRÍGUEZ,

**Tutores: MSc. ING. BERLAN RODRÍGUEZ PÉREZ
MSc. ING. JOSÉ LUIS ROMERO CABRERA,**

CIENFUEGOS, CUBA 2010

DEDICATORIA

A mi eterno amigo, mi luz y mi salvación:

Jesucristo.

AGRADECIMIENTOS.

Un largo camino recorrido... Una nueva etapa empieza....Nuestras luchas, las horas dedicadas a los libros, las ansiedades antes y después de la realización de cada examen, hoy son apenas recuerdos. Frente a la concretización de nuestros sueños, ahora somos Ingenieros y gracias por este grande mérito conquistado, con la bendición divina, quiero darles a:

A mi Esposo

Por ser la persona que hace que todo valga la pena. Porque cuando parecía difícil tu allanaste el camino para mí. Por tu amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida, mi ayuda idónea.

Gracias por graduarte por segunda vez.

Mis padres

Hace 5 años que todo comenzó, recuerdan? Parecía una eternidad cuando en medio de libros de cálculo soñaba con tan esperado día, pero llegó y es en este momento que no puedo encontrar palabras para hablar y sencillamente agradecer a los verdaderos responsables de tan grande conquista; pero es a ustedes los verdaderos héroes que dedico este momento. ¿Saben por qué? Por creer en mí, porque supieron donarse enteros para que mis sueños se hicieran realidad y darme las alas... Gracias Padres queridos. Por el don de la vida y por el camino justo que me condujeron.

A mi Abuihui que invariablemente dice: siempre puedo. Tu mayor contribución fue enseñarme el significado de la humildad y la perseverancia.

A mis Suegros: Marta, Dagoberto, gracias por su presencia y cariño y por haber compartido conmigo al Kosi.

A los Amigos

A ustedes que compartieron mis planes, tornando suyos mis ideales, incentivándome a seguir en mi jornada. Carlos, Fide, que soñaron con poder verme en este día y alegrarse con mi victoria...En los momentos de encuentros y desencuentros ...en los momentos en que quizá no fuimos tan amigos o que algunas veces desde lejos siempre estuvieron cerca. En el corazón...Gracias por ser amigos de verdad.

Especialmente a Arahit, Carlos, Claudia, porque siempre me hacen reír, nos apoyamos unos en los otros y jamás hemos perdido la voluntad de aceptar y ver nuestros sueños realizarse.

A los Docentes

Al contrario de otras veces hoy deseo quedarme un poco más...para poder admirar una vez más su destreza, su capacidad de resolver las situaciones. Quedarme para poder dilucidar mis dudas y así adquirir mayor madurez profesional. Quedarme porque lejos de aquí, quien me incentivará a no desanimarme delante de un fracaso?

Nadie podrá sustituirlos, mas lo que me conforta es que llevo en mi mucho de ustedes, mucho de lo que me han enseñado. Y ahora me encuentro buscando mi estado de alumno, sabiendo que en instantes seré su colega pero con la certeza de que jamás dejare de ser vuestro discípulo...el discípulo que guardará en la memoria las enseñanzas, la forma, la manera, la persona. Y en el corazón la gratitud y el respeto.

Berlan: como resarcirte tantas molestias, gracias por tu guía y por permitirme ser parte de tu equipo.

Kokito: quiero expresarte mi gratitud por recibirme con tanto cariño y regalarme tu tiempo y tu amistad, ha sido un placer y un privilegio trabajar junto a ti.

Mario: la ciencia, ha sido un honor. Por todos sus acierto y por brindarme su atención cada vez que le necesité, gracias.

A mi Grupo

Todavía hay tiempo... aunque las palabras huyan no importa porque todavía hay tiempo... Tiempo para cambiar el silencio por las sonrisas, para disminuir la distancia y abrazar la complicidad, para pedir disculpas y sentir soledad... de todo... de todos; porque les voy a extrañar de verdad, David, que con tanto esmero me asesoraste, Dayron, Panchy, Ernesto, Gretel, porque ahora todo hace falta, el abrazo que negamos, las palabras que no dijimos. Más aún hay tiempo, porque tenemos toda una vida para seguir siendo Colegas. Gracias y éxitos a todos.

A Cementos Cienfuegos S.A

Gracias por abrirme las puertas, por la cordial acogida y respaldo que he recibido de ustedes durante todo este periodo.

Consciente de que no agradecería a todos, acepté el desafío. Gracias a todos los que me brindaron su apoyo.

RESUMEN

En este estudio se aplica la metodología del análisis del ciclo de vida (según la norma ISO 14040) a la producción de cementos en la Empresa de Cementos Cienfuegos S.A , con el objetivo de establecer un enfoque preventivo para cuantificar los impactos ambientales que el proceso de producción de cementos ocasiona, identificar mejoras potenciales y seleccionar la más factible. Tras establecer los objetivos del estudio se considera el sistema desde la extracción de la materia prima hasta la obtención del clínker y el cemento a punto para ser distribuido en el mercado, se construye el inventario del proceso y se realiza la evaluación de impacto ambiental, que demuestra que el factor que más cargas ambientales tiene de toda la vida del cemento, es la producción de clínker, determinando que los problemas ambientales están concentrados en el elevado consumo de energía no renovable; la respiración de sustancias inorgánicas, por la emisión de dióxido de azufre y polvo, y el calentamiento global por emisiones de dióxido de carbono.

No obstante, se confirma que la adición de puzolanas al cemento posibilita la disminución del factor clínker y por ende su consumo y producción, disminuyendo el impacto de las anteriores categorías de impacto. Las conclusiones apuntan a la necesidad de realizar un desplazamiento del paradigma de la cultura de las velocidades aceleradas de construcción a una cultura de conservación de la energía y materiales.

Para darle cumplimiento a este objetivo se utilizan técnicas para la búsqueda de información: revisión crítica de información secundaria, trabajo con expertos, consulta de documentos instructivos técnicos de la producción del cemento, las normas relacionadas con sus componentes, características, propiedades, ensayos, medidas de seguridad desde la NC 499 CTN 022 hasta la NC 528 CTN 022 y las normas de ACV de la NC-ISO 14 040. Además de diagramas de flujo para la representación de los procesos, y el software para ACV: SimaPro 7.1.

ABSTRACT

In this study the methodology of the Life Cycle Assessment (LCA) is applied (according to the norm ISO 14040) to the production of cements in the Company of Cements Cienfuegos S.A, with the objective of establishing a preventive focus to quantify the environmental impacts that the process of production of cements causes, to identify potential improvements and to select the most feasible.

After establishing the objectives of the study the system it is considered from the extraction of the raw material until the obtaining of the clinker and the cement at point to be distributed in the market, the inventory of the process is built, and is carried out the evaluation of environmental impact that demonstrates that the factor that has more environmental impacts in the whole life of the cement, it is the clinker production, determining that the environmental problems are concentrated in the high nonrenewable energy consumption; the breathing of inorganic substances, for the emission of sulfur dioxide and powder, and the global warming for emissions of carbon dioxide.

Nevertheless, it is confirmed that the addition of puzolanas to the cement facilitates the decrease of the clinker factor and of course its consumption and production, diminishing the impact of the previous impact categories. The conclusions point to the necessity of carrying out a displacement of the paradigm of the culture from the accelerated speeds of construction to a culture of conservation energy and materials.

To give execution to this objective, different techniques are used for the search of information: critical revision of secondary information, work with experts, consultation of technical instructive documents of the production of cement, the norms related with their components, characteristic, estates, rehearsals, related safety measures that goes from NC 499 CTN 022 to the NC 528 CTN 022 and the norms of LCA of the NC-ISO 14 040. Diagrams of flow are also used for the representation of the processes, and the software is used for LCA: SimaPro 7.1.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I: Consideraciones Teóricas.....	16
Introducción	16
I.1 Sistemas de evaluación medioambiental.	17
I.2 Análisis del Ciclo de Vida.	24
I.2.1 Normativa que rige el ACV.	27
I.2.2 Ventajas y desventajas del Método.	28
I.2.3 Definiciones conceptuales dentro de la Metodología.....	30
I.2.4 Soporte informático aplicado al ACV.	36
I.3 Políticas medioambientales relacionadas con el sector de la construcción. .	38
I.4 Aplicaciones de ACV a la industria de la construcción.	40
I.5. Comportamiento del Sector de la construcción en Cuba.	42
I.6 Perfil medioambiental del cemento.	44
Conclusiones parciales.....	48
CAPITULO II: Descripción del Objeto de Estudio y Metodología a Implementar.....	49
II.1 Industria del Cemento en Cienfuegos.....	49
II.1.1 Ubicación, extensión y límites.	50
II.1.2 Descripción del entorno medio ambiental y socioeconómico.	52
II.1.3 Evaluación Medioambiental Preliminar.....	58
II.1.3.1 Composición química de las Materias Primas.	59
II.1.4 Focos contaminantes potenciales y latentes de la Fábrica.	61

II.2 Metodología a utilizar.	64
II.2.1 Objetivo y alcance del estudio.....	65
II.2.2 Inventario (ICV)	66
II.2.3 Evaluación del Impacto en el Ciclo de Vida (EICV)	70
II.2.4 Interpretación de los resultados.	77
Conclusiones parciales.....	79
CAPÍTULO III: Aplicación del ACV en la fabricación del cemento en Cementos Cienfuegos S.A.	80
III.1 Definición de Objetivos y Alcance.	80
III.2 Análisis del Inventario (ICV)	82
III.2.1 Datos de Entrada	84
III.2.2 Datos de Salida.	87
III.3 Evaluación del Impacto.	92
III.3.1 Presentación de los resultados del Análisis del Inventario.....	92
III.4 Propuesta de mejora y análisis de factibilidad técnica.....	97
III.4.1 Prescripciones físicas y mecánicas de los cementos.....	99
III.4.2 Variante I	102
III.4.3 Impacto Económico	106
Conclusiones parciales.....	109
CONCLUSIONES GENERALES	111
RECOMENDACIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	119

INTRODUCCIÓN

El cemento Portland, resultado innegable del desarrollo histórico de la humanidad, es hoy día uno de los materiales más empleados en la vida moderna. Este material se fabrica en aproximadamente 150 países, principalmente en Asia, Europa, y el Medio Oriente. Su uso universal en prácticamente todos los trabajos de la construcción, su costo relativamente bajo, la posibilidad de su producción industrial masiva y los buenos resultados obtenidos en sus aplicaciones han sido la causa de que hoy en día este aglomerante haya desplazado a todos los que le antecieron.

La producción de cemento mundial crece de forma espectacular. Alcanzó en el año 2002 $1.75 \cdot 10^9$ ton, con un crecimiento promedio anual del 3.5%, medido desde 1970. Estos volúmenes de producción deberán seguir aumentando en los próximos años, con estimados de crecimiento entre el 120-180% para el año 2020. (Vanderley M. John. 2002)

Sin embargo, aunque se le reconoce haber sido uno de los elementos que más ha contribuido al desarrollo de la humanidad, y hoy incluso se asocia con el nivel de desarrollo de un país, también ha resultado ser, de forma paradójica, uno de los principales responsables de la degradación ambiental del planeta, debido a que su proceso productivo en lo fundamental está montado sobre la base de la explotación intensiva de recursos no renovables (materias primas y combustibles), y se emiten en él significativos volúmenes de gases de efecto invernadero.

En los últimos años se han producido cambios en las zonas geográficas donde se realiza la producción de cemento Portland. Considerada en sus inicios como una producción de países industrializados, la misma se ha abierto paso en los países en vías de desarrollo, con crecimientos de más de un 55% entre 1999 y 2000, mientras que en los países desarrollados solo creció un 3% (Vanderley M. John. 2002). Las razones son claras: los países en vías de desarrollo están en proceso de construir su infraestructura, y para esto necesitan inmensas cantidades de cemento Portland. Esto es también un resultado de la tendencia mundial de

los países industrializados a desplazar las producciones contaminantes hacia los países en vías de desarrollo.

Cuba se destaca entre los primeros países en vías de desarrollo que asumió un crecimiento de su industria del cemento. Aunque la producción de cemento se remonta al siglo XIX, el verdadero desarrollo de esta industria en el país comenzó con el proceso revolucionario, a partir de 1959. En 1980 existía ya una capacidad de producción por encima de las 4 millones de toneladas anuales, distribuida en 6 grandes plantas productoras. La crisis energética de los años 1990 deprimió la producción de cemento, que poco a poco ha vuelto a acercarse a sus niveles históricos.

El alto consumo energético y los grandes volúmenes de emisiones de gases de invernadero se convierten en amenazas a la sostenibilidad de la producción de este aglomerante en los próximos años. El sostenido incremento del precio de los combustibles fósiles a corto plazo, el reforzamiento a escala global de las políticas impositivas a productos o producciones que contribuyan al calentamiento global (impuestos ecológicos), harán que el incremento de costos de la producción llegue a niveles prohibitivos para la industria. Se precisa, entonces, delinear estrategias para poder contribuir a resolver este problema a mediano plazo (Hendriks C.A, et al 1998)¹.

El Programa Ecológico de la industria del cemento, hoy es un aspecto vital para su promoción en el mercado aunque choca con que la reducción posible de emisiones de CO₂ es absorbida por el incremento necesario de la producción. Para poder mantener los niveles de consumo energético y emisiones del presente en 10 años, la industria del cemento necesita reducir las emisiones en más del 50%. Este reto implica, de forma inobjetable, un cambio de paradigmas en la producción y utilización del cemento Portland, que permita una adecuación a las exigencias ambientales actuales. Cualquier solución al problema pasa por la reducción del contenido de clínker puro en los materiales aglomerantes.

Desarrollar e implementar de forma práctica soluciones de este tipo puede convertirse en

¹ (Martirena Fernando 2003)

una prioridad máxima para la humanidad en los próximos años. Los procesos de calidad, certificación y verificación son cada día más rigurosos y evolucionan positivamente hacia adelante en la cadena de consumo. Las normas modernas están incorporando amplios conceptos relacionados con la durabilidad (desempeño a largo plazo) del producto, a tono con la creciente importancia que además se da a los análisis de ciclo de vida del producto que es, sin duda, la herramienta de gestión ambiental que se está perfilando como la más sistemática, global y objetiva para afrontar los retos futuros.

En el caso específico de Cuba, país que desde épocas tempranas adoptó los Acuerdos de Río y los concretó en el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo (PNMAD), como expresión de la adecuación cubana de la Agenda 21 adoptada en Río, este tipo de desarrollo es de hecho una prioridad estatal, y una preocupación de la industria cubana del cemento.(Martirena Fernando 2003)

La Fábrica de Cemento Cienfuegos S.A, en respuesta a estas problemáticas, ha ido incorporando de forma consecuente, una política ambiental empresarial que marcha paralelamente al continuo perfeccionamiento de la legislación nacional. La conciencia ambiental adquirida, en todos los niveles; los conocimientos técnicos existentes sobre el tema; y las políticas internas establecidas, posibilitan que sus instalaciones y productos reconozcan la importancia de poseer el Reconocimiento Ambiental Nacional a Nivel Básico y el Sello Distintivo de Reconocimiento Ambiental, cuyo alcance es objeto de su política corporativa como estímulo al perfeccionamiento de ese desempeño.

De acuerdo con la RESOLUCIÓN No. 119 /2008 las entidades interesadas en obtener el Sello Distintivo, tienen que cumplir, entre otros, con el requisito de tener aplicado un enfoque preventivo, basado en los conceptos de producción más limpia y consumo sustentable en la gestión integral de la entidad, materializado en el uso eficiente del agua, la energía, las materias primas e insumos; la adopción de las mejores tecnologías disponibles; la minimización de la generación de emisiones y residuales aparejado con el adecuado aprovechamiento económico de éstos.

El desarrollo de una herramienta que permita prevenir los impactos ambientales de la

producción de la fábrica de cemento contribuirá a que la empresa posea la capacidad de optar por el reconocimiento nacional e incluso por el Ecoetiquetado internacional.

Dentro de esta problemática se enmarca este trabajo que tiene como **Problema Científico**:

- La Fábrica de Cementos Cienfuegos S.A, no cuenta en la actualidad con una herramienta que permita desarrollar un enfoque preventivo, a fin de evaluar el impacto ambiental que genera la producción de cemento y visualizar oportunidades de mejoras factibles en cuanto a criterios técnico, económicos y ambientales.

Objetivo del Estudio: Evaluación de impacto ambiental con enfoque proactivo en la Fábrica de Cemento Cienfuegos S.A

La Hipótesis del Trabajo:

- La aplicación del Análisis del Ciclo de Vida contenido en la NC-ISO14 040 como herramienta preventiva para la evaluación del impacto ambiental de la producción de cemento, permitirá identificar y cuantificar las cargas ambientales asociadas al proceso y tomar decisiones que disminuyan los impactos, evaluado su factibilidad.

El Objetivo General es:

- Desarrollar el análisis del Ciclo de Vida de la producción del cemento aplicando el procedimiento descrito en la serie de normas NC-ISO 14 040, para proveer a la empresa de una herramienta de carácter proactivo como soporte en la toma de decisiones para disminuir su impacto ambiental y evaluar su factibilidad.

Los Objetivos Específicos son los siguientes:

1. Diagnosticar las condiciones actuales de la empresa en cuanto a su preparación para la aplicación del Análisis de Ciclo de vida según la serie de normas NC-ISO 14 040.
2. Aplicar la metodología seleccionada para identificar, clasificar y caracterizar los aspectos medioambientales más relevantes con sus respectivos impactos potenciales

en el medio ambiente y comparar los resultados a través de distintos métodos de evaluación de impacto.

3. Valorar la factibilidad técnica, económica y ambiental de las acciones de mejora identificadas en la empresa a partir de la aplicación de la herramienta de ACV.

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

Capítulo I: Marco teórico

En este capítulo, se realiza una síntesis crítica del estado del conocimiento sobre el análisis del ciclo de vida - ACV- y su aplicación en el sector de la construcción, específicamente el cemento. En esta síntesis se analiza, en primer lugar, los aspectos más relevantes de la metodología en lo referente a los aspectos conceptuales, así como los avances técnicos relacionados. Además, de un recorrido por el complejo perfil medioambiental del cemento y las aplicaciones al sector de políticas ambientales que enmarcan los estudios que se llevan a cabo en esta tesis.

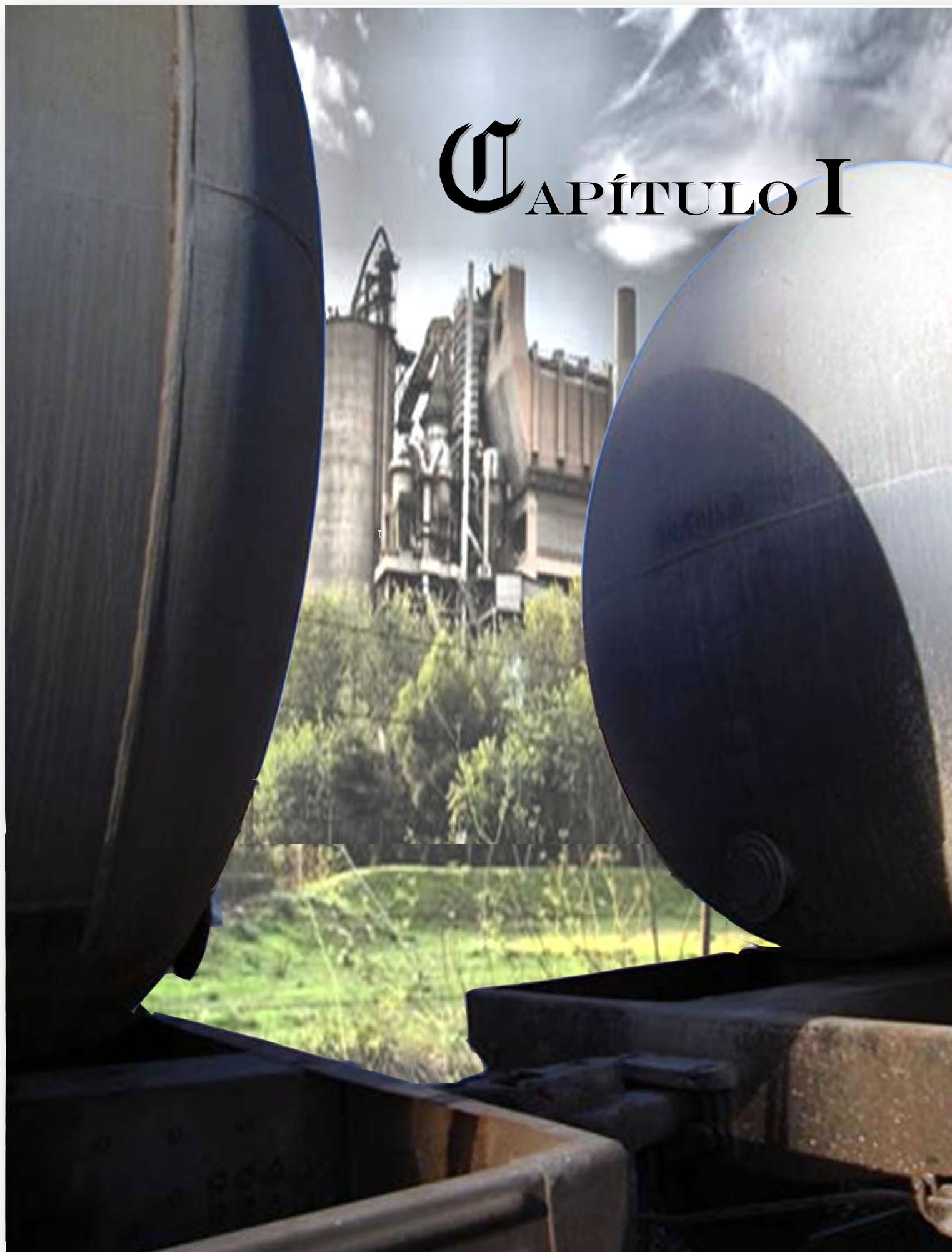
Capítulo II: Caracterización de la empresa objeto de estudio y metodología a utilizar.

Se desarrolla una caracterización de la empresa Cementos Cienfuegos S.A y se plantea la metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del cemento basada en las normas NC-ISO 14 040.

Capítulo III: Aplicación del procedimiento.

Este capítulo recoge la aplicación de la metodología de ACV y analizar los resultados obtenidos en busca de potenciales mejoras o soluciones que respondan a los factores identificados como causas de los potenciales impactos medioambientales producidos por las cargas asociadas a las entradas y salidas del proceso; comprobándose la factibilidad ambiental, económica y técnica de las mismas.

Capítulo I



CAPÍTULO I: Consideraciones Teóricas.

"Si no chocamos contra la razón nunca llegaremos a nada"

Albert Einstein.

Introducción

Si bien hasta hace unos pocos años parecía que los recursos naturales y la energía disponible eran prácticamente inagotables y que podía emitirse, casi sin límite, sin que la naturaleza sufriese cambios apreciables, hoy se tiene constancia de que esto no es así. El efecto invernadero, el agujero en la capa de ozono, la acidificación o la eutrofización, entre otros, son fenómenos indeseables comprobados, que los expertos y también el conjunto de la población conoce.

El deterioro que viene sufriendo el medio ambiente, además de alterar el ecosistema, resulta en muchos casos perjudicial para la salud humana o representa importantes pérdidas de la calidad de vida en algunas zonas; lo que ha provocado una gran inquietud entre sectores representativos de nuestra sociedad, tanto del ámbito gubernamental como de la propia sociedad civil. Las preocupaciones marcadas en otras épocas respecto al futuro, así como las posiciones meramente ideológicas, se han visto sustituidas por acciones que efectivamente buscan frenar parte de estos efectos negativos, causados por las actividades del hombre.

En los últimos años, el aumento significativo de la conciencia ambiental, ha puesto de manifiesto la necesidad de que todos los sectores productivos; incluyendo el sector de la construcción, de gran importancia desde el punto de vista económico como del impacto medioambiental en sus diferentes vertientes: consumo de recursos renovables o no renovables, contaminación del aire y del agua, consumo de energía tanto para la fabricación

como para el mantenimiento de infraestructuras, alteración de ecosistemas en diferentes tipos de obra (por ejemplo en presas) o la generación de residuos; concentren esfuerzos en controlar y reducir sus participaciones en las acciones que contribuyan a dañar al medio ambiente.

Esta nueva forma de producir, sin frenar el desarrollo y sin comprometer la sostenibilidad, requiere de evaluaciones medioambientales que permitan reconocer, cuantificar y calificar los impactos ambientales que se producen de diferentes formas en las distintas etapas del ciclo de vida de los productos, y dan lugar a efectos contaminantes sobre el entorno ambiental.

Por lo que respecta a esta problemática, y fundamentándose conceptualmente en el ciclo de vida completo del producto, existen diversas metodologías científicas que permiten apoyar la gestión medioambiental de estos productos, procesos o servicios. Entre estas metodologías está el análisis del ciclo de vida (ACV), el cual ha demostrado una capacidad adecuada para valorar y evaluar los impactos potenciales al medio ambiente ocurridos durante el ciclo de vida completo de un producto o proceso, además se presenta como una herramienta efectiva y de apoyo a la gestión de los aspectos medioambientales.

El objetivo de este capítulo, es hacer una síntesis crítica del estado del conocimiento sobre la herramienta de análisis del ciclo de vida - ACV- y su aplicación en el sector de la construcción, específicamente los productos cemento y clinker. En esta síntesis se analizan, en primer lugar, las fases más relevantes de esta metodología en lo referente a los aspectos conceptuales, así como sus avances técnicos. Además, de un recorrido por el complejo perfil medioambiental del cemento y las aplicaciones al sector de políticas ambientales que enmarcan los estudios que se llevan a cabo en esta tesis.

I.1 Sistemas de evaluación medioambiental.

Todos los sistemas de producción, procesos o servicios poseen un ciclo de vida que puede estructurarse de forma sistémica, con un principio y un final previamente establecido.

El **ciclo de vida** de un producto considera toda la "historia" del producto, desde su origen

como materia prima, hasta llegar al final de su vida útil cuando son llevados a vertederos. Se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución y uso. En general, este ciclo de vida, está compuesto por varios subsistemas conectados entre sí en forma de flujo progresivo.

Otra manera simple de acercarse a una correcta definición de lo que significa el **Ciclo de Vida** de un producto consiste en referir el concepto contenido en la norma internacional NC-ISO 14040, que lo define como el conjunto de “etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema del producto desde la adquisición de las materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final”.

Todo el proceso de ciclo de vida se considera el ciclo completo, y es común denominarlo desde la “cuna hasta la tumba”, entre tanto, mientras exista la posibilidad de la reutilización o reciclado, la denominación del proceso puede cambiar y asumir otra disposición, como por ejemplo de la “cuna hasta la cuna”, o desde la “cuna hasta la puerta”, etc. en dependencia de que etapas del ciclo se trabajen. Para ilustrar esto, en la figura I.1, se muestra otra visión del ciclo de vida en el proceso de la construcción. (Ecobilan Group 2000)

A lo largo de este ciclo de vida, ocurren continuas interrelaciones entre el entorno ambiental, los flujos de material y energía, y los productos y emisiones ubicados dentro o fuera de los límites del sistema considerado.

La necesidad de estudiar, desde el punto de vista medioambiental, todas estas interrelaciones exigirán el empleo de métodos fiables que cuantifiquen y valoren todas estas acciones y sus efectos. Así, a la hora de tratar este tema es necesario proporcionar las respuestas adecuadas para atender a los objetivos esperados, entonces habrá que emplear herramientas que permitan medir los diversos tipos de parámetros, tanto aquellos clasificados de cuantificables como los de difícil cuantificación.

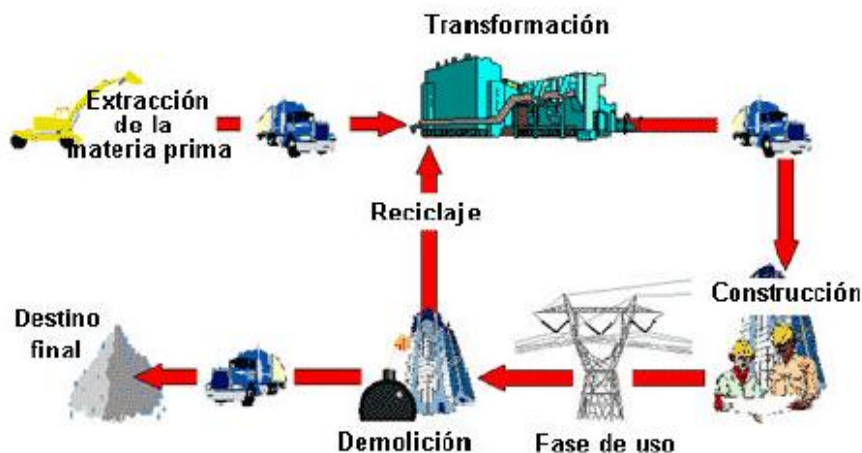


Figura I.1. Concepto del ciclo de vida del producto de la construcción (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

Entre los parámetros cuantificables están incluidos los relacionados con el consumo de materias primas, consumo de agua y energía, emisiones de efluentes líquidos, emisiones de gases a la atmósfera, residuos sólidos, generación de coproductos, etc. Estos parámetros, pueden ser tratados a través de modelos, como por ejemplo, los de la base conceptual del análisis del ciclo de vida. Mientras los de difícil cuantificación, por ejemplo, los riesgos potenciales, cambios geográficos, impactos visuales del entorno o escasez de recursos son tratados con otras herramientas desarrolladas para tal fin. (Trinius, Wolfram 1999)(Álamo, L; González, M.; Sumpsi, C. 1998).

Se debe considerar que estos instrumentos ofrecen diferentes formas de afrontar el problema y suministran diversas informaciones útiles a la hora de una toma de decisión, teniendo en cuenta que cada uno de ellos recoge, estructura y valora informaciones según determinados aspectos, resultando, en algunos casos, hasta complementarios entre sí.

En la tabla I.1 se presenta algunas de las principales herramientas hoy disponibles para la gestión medioambiental de sistemas de producción o producto según la Society of Environmental Toxicology and Chemistry, (SETAC).

Tabla I.1 Herramientas conceptualmente similares usadas en los sistemas de gestión ambiental (SETAC(Europe Working Group) 1999)

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

a) Análisis de riesgos ambientales

El análisis de riesgos ambientales abarca una amplia gama de aplicaciones. Por ejemplo, con esta herramienta se pueden evaluar los riesgos ecológicos ocasionados por fuentes puntuales o difusas de emisiones, emisiones frecuentes o accidentales. También permite evaluar riesgos para la salud humana en el ámbito laboral, así como para ambientes exteriores con un cierto foco contaminante y la selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales.

En general, esta herramienta se utiliza con enfoque analítico (cualitativo) y con criterios de probabilidad para estimar los riesgos que pueden resultar en situaciones adversas. Habitualmente se consideran los niveles de concentración y/o períodos de exposición de una determinada sustancia peligrosa en el ambiente, para luego estimar comparativamente con los criterios establecidos para definir si están ante niveles aceptables de riesgo.

La principal ventaja del análisis de riesgo es permitir pronosticar posibles impactos

reales. Sin embargo, los datos para realizar estos pronósticos, imponen ciertas limitaciones a esta herramienta con respecto al consumo de tiempo y recursos y, consecuentemente, justificando su empleo para actividades de alto riesgo. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

b) Estudio del impacto ambiental

Antes de empezar determinadas obras públicas o proyectos o actividades que pueden producir impactos importantes en el ambiente, la legislación obliga a emplear esta herramienta y hacer una Evaluación del Impacto Ambiental que producirán si se llevan a cabo. La finalidad de la EIA es identificar, predecir e interpretar dichos impactos a fin de conocer si la obra debe ser aceptada, modificada o rechazada por la Administración Pública. Considera los efectos ambientales durante el período de construcción así, como también los que ocurren durante la operación de la planta, siendo comúnmente requerido para conseguir una licencia de construcción o de operación en una planta.

En general, los datos ambientales de la EIA son detallados con respecto a un impacto específico y, frecuentemente, pueden tener en cuenta la duración y concentración de los contaminantes emitidos mediante la evaluación de su incidencia sobre el ambiente.

c) Auditoria ambiental

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

En este contexto, auditar es propio de la gestión para conseguir la “calidad total”. Aquí se incluyen chequeos de los sistemas instalados para verificar si operan como

deberían, permitiendo así una constante evaluación de mantenimiento de objetivos del conjunto operante. Sin embargo, el foco de la Auditoría ambiental se centra en la actividad que está siendo revisada y no sobre datos retrospectivos o prospectivos del proceso.

d) Evaluación del comportamiento ambiental

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

e) Análisis del flujo de sustancia

El análisis del flujo de sustancia es una herramienta que permite hacer un balance del flujo de una determinada sustancia, a lo largo de todo el ciclo de vida de un sistema, incluyendo la producción y el uso de cierto producto a través de la contabilización de todas sus entradas y salidas.

Con esta herramienta se puede mejorar la calidad medioambiental de un determinado producto a través de la aplicación de medidas de control o de reducción de una sustancia específica. Sin embargo, presenta el inconveniente de que al hacer referencia a una sola sustancia no es un método holístico y, por lo tanto, si ocurrieran cambios en el sistema como resultado del aumento del flujo de otras sustancias, éstas no podrían ser identificadas con el análisis de flujo de sustancia.

f) Análisis de material y energía

Se considera como el precursor del análisis del ciclo de vida, de hecho, las dos

herramientas se confunden, ya que conceptualmente pueden compartir la misma base de datos. Utilizan como referencia la unidad funcional del sistema y su interpretación también está basada en el impacto potencial al medio ambiente causado por ciertas emisiones.

La herramienta igualmente utiliza algoritmos para cuantificar todos los materiales y energías que entran y salen de un determinado sistema bajo estudio, admitiendo evaluar cierta etapa o fase del ciclo de vida de un producto. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

g) Gestión integral de sustancia

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

h) Análisis de línea de producto

Muy similar al análisis del ciclo de vida, utiliza como base de comparación la unidad funcional del sistema. Presenta un espectro más amplio de análisis, ya que incorpora como foco de investigación, además del análisis medioambiental, otros aspectos de tipo económico y social.

Es considerada una herramienta conceptualmente correcta, aunque en la práctica se utiliza poco. (Fullana P., Puig R. 1997)

i) Análisis del ciclo de vida

El ACV es una herramienta de gestión ambiental que identifica tanto a los recursos usados como a los residuos que se generan y se emiten a los compartimientos ambientales (aire,

agua y suelo) a lo largo de todo el ciclo de vida de un bien o un servicio específico. Permitiendo tener una visión general del proceso y eliminando la suboptimización en caso de solo enfocarse en procesos o unidades específicas. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001).

Diseñada para describir en qué manera los sistemas tecnológicos afectan al medio esta herramienta vale de soporte para tomar decisiones que mejoren los sistemas en cuanto a diseño, desarrollo de productos, compras y políticas de instrumentación, además de técnica exploratoria y de conocimiento acerca del estado de los sistemas de producción, los indicadores de desempeño ambiental, etc. La abordaremos con mayor profundidad en el consiguiente epígrafe.

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

A la hora de decidir por la selección de la herramienta más adecuada para valorar los aspectos medioambientales es necesario un análisis detallado que tenga en cuenta todos los puntos fuertes y débiles, como por ejemplo la potencialidad necesaria para alcanzar los objetivos pretendidos y así escoger la que mejor se adecue a las necesidades del usuario o promotor del estudio [SETAC, 1999]. En el Anexo I.1 se adjunta de forma resumida este análisis para cada una de las metodologías descritas basándose en la fuente del SETAC [1999]².

I.2 Análisis del Ciclo de Vida.

Se puede datar el origen del Análisis del Ciclo de Vida, (ACV) a principios de los setenta, motivados fundamentalmente por las crisis del petróleo. Se llevaron a cabo diversos

² (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

estudios energéticos en los que se valoraba la eficiencia de determinadas fuentes de energía. Más adelante se incorporaron nuevos conceptos como el consumo de recursos naturales, emisiones atmosféricas, emisiones al agua o la generación de residuos.

El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de como se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que éstos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos en una forma sustentable – desde el punto de vista ambiental– minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo (Forum Ambiental, 2003)³.

El ACV (LCA en nomenclatura inglesa), toma como punto de partida estos impactos o aspectos (variables cuantificables) y mediante un conjunto de funciones y relaciones matemáticas con base científico-técnica obtiene valores para los efectos producidos. En un ACV completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados de los consumos, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o no se puede utilizar.

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

³ (Romero Rodríguez, Blanca I. 2003)

La definición de ACV provista por la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC, 1993), organización que ha tomado el liderazgo del desarrollo científico de la metodología del ACV tanto en Europa como en Estados Unidos es la siguiente:

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

El Análisis de Ciclo de Vida se considera un método fiable para evaluar las interrelaciones entre los sistemas de producción, productos o servicios y el medio ambiente. Sus resultados entre otras funciones sirven como apoyo al desarrollo de productos considerados medioambientalmente correctos. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

El ACV ha evolucionado y se ha enriquecido progresivamente, debido a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de las distintas producciones que tienen lugar en la actualidad. Los objetivos globales que persigue según (Suppen y Bart, 2007) son:

1. Suministrar un cuadro lo más completo posible de las interrelaciones de los procesos, productos y actividades con el medio ambiente.
2. Identificar mejoras ambientales.
3. Obtener información ambiental de calidad, que facilite el dialogo constructivo entre los diferentes sectores de la sociedad preocupados por los temas de calidad ambiental.

El ACV consiste, por tanto, en un tipo de contabilidad ambiental, un balance material y energético del sistema estudiado, en que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida. Es un método objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad. De esta manera se identifican las entradas y salidas del sistema, y posteriormente se evaluarán los diferentes impactos ambientales que pueden causar, o sea, brindará la

oportunidad de conocer las posibles consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio

Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el *uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas* (International Standards Organisation”, ISO, 1997).

I.2.1 Normativa que rige el ACV.

La complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV. Dicho protocolo se haya establecido en la normativa elaborada por “International Standards Organisation”, ISO, 1993.

En 1994, se estableció dentro de ISO el comité técnico (TC) 207 relacionado con la normalización de herramientas ambientales, incluido el ACV. Dentro de la normalización ISO deberán distinguirse entre normativas e informes técnicos. Actualmente se han elaborado cuatro normativas relacionadas con el ACV:

- NC-ISO 14040 (1997): especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, no describiéndose la técnica del ACV en detalle (ISO-14040 1997).
- NC-ISO 14041 (2001): en esta normativa se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio y para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida, ICV (LCI) (ISO-14041, 1998).
- NC-ISO 14042 (2001): en ella se describe y se establece una guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, AICV (LCIA). Se especifican los requerimientos para llevar a cabo un AICV y se relaciona con otras fases del ACV (NC-ISO-14042, 2000a).
- NC-ISO 14043 (2000): esta normativa proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV, en ella no se

especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase (NC-ISO-14043, 2000b).

Además de documentos técnicos para ayudar a la elaboración de estudios de ACV como son:

- ISO TR 14047 (2002): proporciona un ejemplo de cómo aplicar la norma ISO 14042(ISO-14047, 2002).
- ISO/CD TR 14048 (2002): este documento proporciona información en relación con los datos utilizados en un estudio de ACV (ISO-14048, 2002).
- ISO/TR 14049 (1998): este informe técnico proporciona ejemplos para realizar un ICV de acuerdo con ISO 14041.

Estos ejemplos deberán entenderse como no exclusivos y que reflejan parcialmente un ICV (ISO-14049, 1998).

I.2.2 Ventajas y desventajas del Método.

El ACV no es la única herramienta para analizar la “performance” ambiental, pero su valor real 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.

Esta metodología, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares o para comparar dos o más productos alternativos, favoreciendo el desarrollo de materiales más respetuosos con el medio ambiente. Contribuye a identificar qué parámetros se deben supervisar y controlar en función de su importancia. A la vez que admite detectar situaciones en las que un determinado sistema parece “más limpio” que otro simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin un mejoramiento real desde el punto de vista global (fenómeno conocido como “problem shifting”).

El ACV puede proveer a una empresa valiosa información interna en el caso de evaluar un

sistema productivo sobre la eficiencia del uso de los recursos y manejo de desperdicios, etc.; aunque no es apropiado por ejemplo, si se quieren analizar las implicaciones sobre el cliente acerca de efectos tóxicos sobre la salud. El ACV ayuda a la organización a ganar ventajas competitivas y comparativas a través del ahorro de costos y mejora de posiciones en el mercado, incremento de ganancias y reforma de la imagen (de la empresa o de un producto determinado). (Iglesias, febrero 2005.) Y provee todos los elementos de análisis a las empresas que más tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (Ecoetiquetado). La misma “World Trade Organization”, plantea que cada vez son más las etiquetas ambientales que basan su análisis en el ACV.

Entre sus puntos fuertes se puede mencionar primeramente, su carácter globalizador, que evita el traslado del problema; por ejemplo, evita que la solución a un problema ambiental particular ocasione el deterioro de una parte del ciclo de vida, o a otro vector ambiental; y en segundo lugar muestra una relación de todos los recursos usados, así como de los residuos y emisiones generados por la unidad funcional del sistema, permitiendo así un marco de referencia común para sistematizar la nomenclatura y metodología utilizada, y poder comparar estudios medioambientales con origen diferente.

Wrisberg et al. (1997) consideran que resulta útil como herramienta para la gestión medioambiental de sistemas de producción, pues posibilita identificar el foco del problema, optimizar el uso de los recursos materiales o energéticos y gestionar los residuos producidos. Considera impactos global y regional. Posibilita estimar los impactos que en términos influyen la salud de la sociedad.

En resumen, la principal función del ACV es la de brindar soporte para tomar las decisiones que se relacionan con productos o servicios; y más específicamente, la de conocer las posibles consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio. (Romero Rodríguez, Blanca I. 2003)

El análisis de ciclo de vida del producto es, sin duda, la herramienta de gestión ambiental que se está perfilando como la más sistemática, global y objetiva para afrontar los retos

futuros. No se descarta el hecho de que, a corto plazo, el ACV será la base para evaluar aquellos productos que sean capaces de ingresar al comercio internacional, pues los países desarrollados no estarán dispuestos a financiar contaminación cuando ellos mismos están haciendo fuertes inversiones en este aspecto.

Aunque puede no ser siempre la técnica más apropiada para usar en todas las situaciones, pues es importante entender sus limitaciones. Estas limitaciones incluyen: subjetividad en la naturaleza de elecciones e hipótesis, la precisión puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de datos importantes, o por la calidad de los mismos. No es capaz de apuntar el carácter temporal o espacial de un determinado efecto, a causa de las carencias de detalles temporal y espacial en la base de datos, los impactos reales no pueden ser evaluados usando el ACV, ya que este mide únicamente impactos potenciales.

I.2.3 Definiciones conceptuales dentro de la Metodología.

A continuación se expone, siguiendo la estructura de la metodología de ACV, aspectos conceptuales relevantes para la comprensión y futuro desarrollo de la misma.

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

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

Sistema producto: El sistema de producto es uno de los componentes principales del inventario de ciclo de vida. Un sistema producto es un conjunto de procesos unitarios conectados por flujos de productos intermedios que desempeñan una o más funciones definidas. La descripción de un sistema producto comprende procesos unitarios, flujos elementales, y flujos de productos que traspasan los límites del sistema (entrando al sistema o saliendo del sistema), y flujos de productos intermedios dentro del sistema.(ISO 14041 2000)

También en esta fase se establece la **unidad funcional**. La unidad funcional describe la función principal del sistema analizado. Un ACV no sirve para comparar productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. En el caso de los sistemas agrícolas la principal función es la producción de alimentos. En estos casos, normalmente se considera como unidad funcional un kilo de producto fresco. La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático.

En la NC-ISO 14040 se hace referencia a Unidad funcional como la cuantificación de la función de un sistema producto que se utiliza como unidad de referencia en el estudio del ACV.

Factor de caracterización, según (Domínguez y González, 2008) es el Factor derivado de un modelo de caracterización que se aplica para convertir los resultados asignados del inventario de ciclo de vida a una unidad común del indicador de la categoría.

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

Las categorías de impactos medioambientales se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema. Actualmente existen metodologías realmente aceptadas para asociar datos del inventario con impactos ambientales potenciales específicos de un modo consistente y preciso. Como ejemplo se puede citar al Centro de Ciencias Ambientales (CML) de la Universidad de Leiden- Holanda - [1992], cuya clasificación de estas categorías de impacto se muestra en la tabla I.2. Estas categorías, a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: **global, regional o local**.

Tabla I.2: Categorías de impactos consideradas más relevantes (CML, 1994)⁴

Entradas	Consumo -recursos renovables
	Consumo -recursos no renovables
Salidas	Calentamiento Global
	Incidencia en la capa de ozono
	Acidificación
	Eutrofización
	Formación fotoquímica de ozono
	Contaminación del aire por partículas
	Carcinógenos
	Metales pesados

Organizadas jerárquicamente por el ámbito de acción, a continuación se describen algunas de esas categorías de impacto relacionadas con las salidas de los sistemas. Asimismo, se indican algunas de las principales sustancias que desencadenan el mecanismo de actuación de las diferentes categorías de impactos señaladas.

Efecto global

Global define el alcance del daño que se produce independientemente de donde se emitan las sustancias que los inducen. A continuación se resume el mecanismo medioambiental del calentamiento global, daño de efecto global.

Durante el proceso de irradiación de la tierra por el sol, los gases del efecto invernadero forman un “escudo” que atrapa localmente parte de la energía irradiada. Debido a ello las capas más bajas de la atmósfera se calientan, propiciando el calentamiento de la superficie del planeta. Las consecuencias, previstas por los expertos en climatología, son que se elevará de 1,4 °C a 5,8 °C la temperatura media de la tierra en los próximos 100 años. Este cambio climático traerá consecuencias diversas, entre otras, aumento de la temperatura en los polos terrestres con deshielo de los glaciares; aumento del nivel de los océanos con pérdida de territorio de algunos países insulares; propagación de enfermedades tropicales a otros países de clima temperado.

⁴ (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

Efecto regional

El efecto continental o regional se limita a una cierta superficie más o menos extensa.

Entre las categorías de efecto regional, se han elegido para ejemplificar su mecanismo dos de ellas: la Acidificación y la Eutrofización cuyos impactos medioambientales son originados, principalmente, por las emisiones del SO_2 y NO_x .

Acidificación

La acidificación conlleva, concretamente al deterioro del medio ambiente y, en consecuencia, la permanencia por tiempo limitado de las sustancias acidificantes en la atmósfera, en la zona cercana al punto de emisión; manifestándose una acelerada degradación física sufrida en los últimos años por los edificios históricos y otras instalaciones cercanas a los grandes centros urbanos suponiendo una creciente preocupación entre el sector de la construcción y las administraciones con respecto a la durabilidad de materiales estructurales pétreos y metálicos. En el sector de la agricultura, se está produciendo una disminución de zonas forestales cercanas a las zonas industriales o el ámbito sanitario, por un cambio de acidez de las aguas superficiales

El SO_2 (dióxido de azufre) constituye la sustancia principal que causa la acidificación, aunque, no resulta ser la única sustancia que provoca ese tipo de impacto al medio ambiente. Otras sustancias, entre ellas los NO_x (óxidos de nitrógeno), presentes en los subsistemas de producción son, también, potencialmente responsables de los efectos acidificantes.

La principal fuente de emisión del SO_2 corresponde al consumo de combustibles fósiles, dependiendo del contenido de azufre del combustible y de la cantidad del combustible quemado. Las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles en la generación de electricidad también constituyen una fuente considerable de esas emisiones. Otras fuentes de emisiones provienen de los equipos mecánicos y vehículos de transportes que, asimismo, consumen combustible fósil.

Con respecto a las emisiones de NO_x , éstas son atribuidas exclusivamente a los procesos

energéticos de los sistemas, y resultan, principalmente, de aquellos subsistemas que usan combustibles fósiles (hornos, maquinarias mecánicas y vehículos de transporte).

Eutrofización

Las mismas emisiones de NO_x antes mencionadas también favorecen al enriquecimiento de nutrientes de las reservas acuáticas y suelos agrícolas. La elevación en el contenido de nitrógeno que resultan de la liberación del ión NO_3^- (nitrato) en los ecosistemas causan un desequilibrio que favorece el desarrollo, sin control, de algas en las reservas hidrológicas que terminan por disminuir la cantidad de oxígeno necesario para que otros seres vivos sobrevivan en aquel hábitat. Por su parte, en los sistemas agrícolas el enriquecimiento del suelo con nitrógeno provoca el desequilibrio de la carga de sales nutrientes y pone en peligro la subsistencia de determinadas especies vegetales.

Con origen fundamentalmente en el tipo de combustible utilizado la producción de energía eléctrica, esas emisiones están asociadas directamente a los procesos energéticos empleados en los sistemas de producción.

Efecto local

El polvo constituye uno de los contaminantes del aire, de efecto local, caracterizado no solo por la degradación física y visual del entorno a la planta industrial sino también por la presencia de partículas sólidas en el aire que se respira en esta zona.

El mecanismo de impacto desencadenado a través del polvo incide perjudicialmente en la salud humana y de otros seres vivos. Alcanza a causar daños irreversibles al sistema respiratorio, entre las molestias registradas está la “silicosis”, que según informes médicos se produce en el individuo que aspira aire de atmósferas cargadas de partículas que contienen sílice (SiO_2). En los especímenes vegetales estas partículas se depositan sobre las hojas obstruyendo el sistema de respiración de las plantas.

Entre las emisiones que provocan este tipo de impacto aparece la sustancia de referencia SPM (del inglés Suspended Particle Mater), que es en realidad el polvo, el hollín u otras

partículas finas que no captan los filtros y salen por las chimeneas o se originan durante la extracción de recursos (p.ej.: en las canteras). Todas las partículas en suspensión presentes en el aire, originadas de los sistemas de producción, tienen efectos impactante sobre el medio ambiente y el mismo factor de caracterización que el polvo, o sea, el mismo grado de influencia y, por lo tanto, igual a 1. Como consecuencia de su fácil visualización, resultaron objeto de las primeras medidas de control medioambiental de zonas industriales.

Dado que con frecuencia las etapas de extracción de los áridos, la fabricación del clínker y la fabricación del cemento se encuentran en un mismo entorno físico, la repercusión de las emisiones de polvo tiene un carácter marcadamente local. El hecho de permanecer por poco tiempo en suspensión en el aire y depositarse rápidamente en el suelo, es la causa de que estas partículas, difícilmente consigan alejarse demasiado de la fuente emisora.

Cada categoría de impacto precisa de una representación cuantitativa denominada **indicador de la categoría**. La Representación cuantificable de una categoría de impacto, es decir, en qué medida se va a trabajar, trata de establecer numéricamente un valor que permita comparar a cualquier escala la categoría de impacto (Rosa Domínguez, E. y. Gonzalez Collin, M. 2008). La suma de diferentes intervenciones ambientales para una misma categoría, se hace en la unidad del indicador de la categoría. Mediante los factores de caracterización también llamados factores equivalentes, las diferentes emisiones ambientales de gases por ejemplo, también se convierten a unidades del indicador.

Después de conocer que es una categoría de impacto, se precisa estar al tanto de que es el impacto real y que es el impacto potencial. El primero es aquel que probablemente ocurrirá e impacto potencial, que pudiera darse si se consideraran una serie de circunstancias, no siempre probables que así lo pudieran provocar.(Suppen, N. y. B., 2007)

Los **métodos de análisis de impacto** son originalmente desarrollados para analizar los impactos potenciales. Sin embargo, recientemente ha habido un cierto interés en desarrollar métodos que tengan en cuenta factores como por ejemplo la localización del impacto, con el objetivo de acercarse más a la realidad.

Mecanismo Ambiental: es el sistema de procesos químicos, físicos y biológicos para una categoría de impacto, dado que relaciona los resultados del inventario de ciclo de vida a indicadores de la categoría y a los puntos finales de la misma (daños).

De acuerdo a su ubicación en el modelo de mecanismo ambiental: (Domínguez y González, 2008).

- Orientados a Punto Intermedio (impactos).
- Orientados a Punto Final (daños).

A continuación se revela en qué consisten los indicadores orientados a punto intermedio y a punto final.

Indicadores de punto intermedio.

Evalúan el impacto ambiental en puntos intermedios de los procesos ambientales, a partir de la emisión de una sustancia específica y su contribución a un problema ambiental específico, por ejemplo: acidificación, calentamiento global. (Domínguez y González, 2008).

Indicador de punto final.

Evalúan los daños que los impactos ambientales ocasionan en la salud humana, la de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos en los puntos finales de los procesos ambientales (consideran aspectos como mortalidad, morbilidad, especies desaparecidas, etc.). (Domínguez y González, 2008).

I.2.4 Soporte informático aplicado al ACV.

Los pasos operativos para que se lleve a cabo el análisis de ciclo de vida de un sistema o producto, incluyen el manejo de gran cantidad de datos de los inventarios, seguidos de diversas operaciones de cálculos que se aplican a los factores de caracterización, índices de categoría, etc., como se ha indicado en apartados anteriores. Estos aspectos serán más viables con el soporte de sistemas informáticos que faciliten las tareas a

realizar. (Josa, A.; Cardim A.; Aguado, A; y Gettu, R. 1999)

Si bien es cierto que desde buen inicio fueron desarrollados programas de ordenador para atender la necesidad específica de algunas organizaciones, en la actualidad existen diferentes aplicaciones disponibles en el ámbito comercial. Así pues, es oportuno señalar que algunos de estos programas están al alcance de usuarios de niveles avanzados (expertos en ACV); además, existen otros que procuran atender a la necesidad de usuarios con objetivos específicos (p.ej. proyectistas y arquitectos)

En el Anexo I.2, se presenta el resumen de una lista de programas de ordenadores del ACV. La presentación enfatiza solamente programas de aplicación genérica, así como, a través de sus géneros, aquellos que son específicos para la construcción de base de datos o que sirven a otros fines, mientras que toman como base la estructura conceptual del análisis del ciclo de vida.

Por lo tanto, a la hora de decidir seleccionar alguno de estos programas, deben considerarse dos aspectos importantes:

1. Inventarios que incorpora (específicamente en el ámbito en el que se quieren llevar a cabo los ACV's).
2. Calidad en la gestión de datos, incluyendo en este concepto:
 - La facilidad en la introducción de los datos de entrada para los diferentes ACV's que se planteen;
 - La flexibilidad en el uso, actualización, sustitución, adición, etc. de datos de inventarios y, en especial, la posibilidad de añadir inventarios nuevos;
 - La fiabilidad en los cálculos realizados y en el seguimiento de los mismos, siendo en este punto de vital importancia la posibilidad y facilidad de conocer el origen de cualquier resultado (trazabilidad);
 - La realización de todas las fases de cálculo de un ACV; y,
 - El tipo de salida de resultados (tablas / gráficas) y su flexibilidad.

De acuerdo con lo anterior, la calidad de los inventarios y la flexibilidad de estas bases de datos marcan la diferencia con los programas existentes, al considerar que, en buena medida, la fidelidad de estos inventarios con el sistema o producto analizado influencia directamente en la calidad de los resultados finales del ACV.(Trusty, W.B., Meil, J.K. 1999)

Según estos criterios el programa GABI 3, y el TEAM ofrecerían una buena evaluación puesto que los cumplen todos los criterios con la única excepción del dispositivo gráfico. Por lo que se impone el SIMAPRO. Este último, ya dispone de interfaz gráfica y la posibilidad de realizar un análisis de incertidumbre, resulta bastante completo.

SIMAPRO 7.0

Las últimas versiones de este programa se han actualizado con las nuevas bases de datos (BUWAL 250), e incluyen además nuevos ecoindicadores (Eco-Indicador 99) Se puede realizar un ACV completo con múltiples métodos para la evaluación de impactos. La base de datos de SIMAPRO es una de las que más variedad presenta. Los datos están completamente referenciados con su fuente, incluso con descripciones cualitativas. El método para calcular el ICV (Inventario del Ciclo de Vida) permite calcular los impactos según la metodología propuesta por la SETAC (caracterización, normalización y valoración). (Ing. Rodríguez Pérez, Berlan 2007)

También es importante subrayar que la simplicidad de uso presentada por algunos programas es una ventaja considerable para el usuario, mientras que exija un conocimiento conveniente de la metodología del ACV's, porque de lo contrario puede llevarle a resultados y conclusiones erróneas por falta de capacidad crítica sobre el tema (Josa, A.; Cardim A.; Aguado, A; y Gettu, R. 1999)

I.3 Políticas medioambientales relacionadas con el sector de la construcción.

La primera reunión de alto nivel donde científicos y políticos discutieron sobre las medidas a tomar para combatir el cambio climático fue la Conferencia de Toronto en 1988. A esta Conferencia le sucedieron varias reuniones, destacando la Segunda Conferencia Mundial

sobre el Clima en 1990 en Ginebra, la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992 y La Cumbre de Berlín en 1995. Todas han tenido como objetivo desarrollar estrategias integradas para procurar detener e invertir las consecuencias negativas que causan principalmente las actividades humanas sobre el medio ambiente.

Entre los acuerdos firmados por todos aquellos países signatarios está el compromiso de elaborar sus propias Agenda 21 y, en ellas, concretar sus políticas y planes de protección del medio ambiente, organizando, orientando y educando a los sectores productivos más representativos hacia una producción y un consumo equilibrado con el desarrollo sostenible.

Además de estos programas, recomendaron utilizar el estudio del ciclo de vida completo del producto como referencia conceptual para evaluarlo medioambientalmente. Todo ello representó un gran impulso para ofrecer la posibilidad al mercado consumidor de disponer de productos evaluados medioambientalmente. (Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

Todas estas políticas de ámbito nacional, son aplicaciones de reglas definidas en protocolos internacionales que fijaron objetivos claros para disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente, que viene causado por emisiones de sustancias transfronterizas, por ejemplo, aquellas que causan el agotamiento de la capa de ozono y las que influyen al cambio climático (sustancias del efecto invernadero).

El Protocolo de Montreal (1987) y el Protocolo de Kyoto (1997) son respectivamente dos ejemplos de acuerdos internacionales marco para estas políticas medioambientales. El primero está relacionado con las sustancias que agotan la capa de ozono que protege el planeta y en el segundo acuerdo, todos los países que fueron signatarios, se comprometieron a reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global por sí mismos debido a su carácter termoactivo: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. En ambos casos, aparecen como

fuentes emisoras las industrias manufactureras y de la construcción. [ONU, 1997]

I.4 Aplicaciones de ACV a la industria de la construcción.

Históricamente el sector de la construcción requiere un consumo elevado de materiales, lo que consecuentemente genera grandes cantidades de emisiones gaseosas, liquidas o solidas contaminantes al medio ambiente. Así pues, para evaluar medioambientalmente al sector se requiere: conocer, cuantificar, y calificar tanto los recursos utilizados como las emisiones generadas, en las diferentes etapas del proceso constructivo. El análisis de ciclo de vida ha probado su capacidad para este fin como herramienta efectiva.

A pesar de ser el ACV una herramienta que aún está en una etapa temprana de su desarrollo y de ser utilizada principalmente en el mundo desarrollado, está adquiriendo auge en Latinoamérica, y nuestro país, junto a Brasil y México.

Existen estudios sobre las cargas ambientales de determinados procesos y materiales utilizados en construcción, proporcionando inventarios de referencia para su utilización en la evaluación del ciclo de vida de productos específicos. Aunque cada caso requiere un estudio adaptado a las condiciones que le correspondan, estos inventarios dan en algunos casos valores o rangos útiles para consideraciones de tipo global. Por otra parte existen ejemplos concretos de comparación entre productos o tecnologías alternativas, como más adelante se detalla. Así mismo, se está avanzando en el desarrollo de nuevos materiales y productos teniendo en cuenta la minimización de la carga ambiental producida en toda su vida. Con respecto a productos con base cemento se indican a continuación algunos ejemplos de los primeros estudios realizados, así como algunas referencias específicas: (Josa Alejandro, Aguado Antonio 2000)

ACV's completos de productos específicos de hormigón: tuberías de saneamiento (Ankele y Steinfeldt, 1995).

ACV's completos comparando con productos de hormigón: traviesas de ferrocarril (con madera), puentes (con acero), pavimentos (con asfalto) (TNO e Intron, 1994).

ACV's parciales (ciclo de vida no completo), en el campo del hormigón: cemento, hormigón, diferentes elementos estructurales de edificación (vigas, pilares) (Vold y Rønning, 1995).

ACV's parciales (sólo parte de los impactos) en el campo del hormigón: diferentes elementos estructurales de edificación (vigas, pilares), pavimentos (Fossdal, 1995)⁵.

Con la idea de evaluar algunos de los principales indicadores de impacto ambiental y económico (Producto Interno Bruto, consumo de energía, emisión de gases de invernadero y desechos tóxicos al aire) de la construcción y el mantenimiento de las carreteras se aplicó esta herramienta de estimación cuantitativa y cualitativa en los Estados Unidos de Norteamérica pues el sector implica un gasto anual del orden de los \$ 94,000 millones de dólares, un consumo de energía de cerca de 3,300,000 Tera Julios, una emisión de gases de invernadero del orden de 275,000,000 toneladas equivalentes de CO₂.

Si aún no existen registros de una aplicación efectiva de los resultados del análisis del ciclo de vida sobre la producción de cemento, si que, se dispone de algunos inventarios de estas iniciativas. Países como Holanda, Suecia, Finlandia, Suiza, Noruega han dedicado este estudio a diferentes tipos de cementos que producen y publicado los inventarios en bases de datos como CEMBEREAU, PRÉ-Consultants que sumados a otros que integran el programa informático SimaPro 7.0, permite, en principio, realizar el análisis del ciclo de vida de cualquier producto de hormigón.

En cuanto a estudios de este tipo realizados en nuestro país se destaca La Universidad Central de las Villas, donde un grupo de doctores y másteres profundizan en la metodología y han aplicado esta herramienta en diferentes ámbitos. El Centro de estudios de Química Aplicada es el que tutela en el país la Red de Análisis de Ciclo de Vida, actualmente trabaja en el desarrollo de un programa computarizado, adaptado a las particularidades del país, para realizar la investigación referida. (Rodríguez Pérez, Berlan 2007)

⁵ Todos los ejemplos fueron tomados de:(Josa Alejandro,Aguado Antonio 2000)

Dentro del sector de la construcción existe un poco de retraso en esta dirección, aunque ya se han realizado ACV's parciales comparando con el sistema constructivo de las Petrocasas: estructuras de hormigón, bloque; ACV del proyecto Grupo Eléctrogeno de Cruces, ambos Empresa perteneciente al Ministerio de la Construcción. Retraso quizás influenciado por el hecho de que el ciclo de vida completo de los productos de la construcción es de una gran complejidad. Ello responde a las numerosas facetas espaciales y temporales que intervienen, así como a la propia estructura del sector (numerosos agentes que intervienen, etc.) lo que hace que resulte difícil elaborar un análisis completo del producto desde el punto de vista medioambiental, y justifica que ciertos estudios se concentren en determinadas fases de su ciclo de vida o que estén relacionados sólo con el ciclo de vida de algunos materiales o servicios usados en la construcción.

Todo ello justifica, la necesidad de profundizar en el conocimiento de los aspectos medioambientales que afecten al ciclo de vida de los productos de este sector, como el rigor por examinar los límites del sistema a la hora de elaborar los inventarios; para el caso de la presente tesis, del ciclo de vida del proceso de producción del cemento.

En el caso de los productos derivados del cemento, a causa de su masivo empleo en la construcción de edificios u obras civiles, intervienen numerosas variables en lo referente a su aspecto medioambiental, lo que implica una valoración sistemática y una evaluación de éste perfil a largo de todo su ciclo de vida.

I.5. Comportamiento del Sector de la construcción en Cuba.

Cuba se destaca entre los primeros países en vías de desarrollo que asumió un crecimiento de su industria del cemento. Aunque la producción de cemento se remonta al siglo XIX, el verdadero desarrollo de esta industria en el país comenzó con el proceso revolucionario, a partir de 1959. En 1980 existía ya una capacidad de producción por encima de las 4 millones de toneladas anuales, distribuida en 6 grandes plantas productoras. La crisis energética de los años 1990 deprimió la producción de cemento.

A partir de 1996, la producción industrial de cemento Pórtland ha tenido una lenta recuperación, provocada por la inserción de Cuba en el mercado caribeño y el incremento de las inversiones nacionales en áreas estratégicas como el turismo. La producción en el 2001 fue de 1,854 miles de toneladas, de las que más del 70% fue de cemento gris. Se ha introducido además la variante de exportación de clínker, con más de 500 miles de toneladas en 2001 y 627 mil toneladas en 2002. Aun así, se está usando solamente un 48% de la capacidad de producción instalada.

La tecnología de producción ha avanzado también de forma muy dinámica, sobre todo en busca de la eficiencia. De forma general se ha pasado del proceso húmedo al proceso seco, y de los hornos verticales a los hornos rotatorios. Estos están equipados con precalentadores que emplean el aire caliente que sale del horno, y muchos tienen incluso ya su propio precalcinador, que permite realizar de forma independiente la calcinación de la piedra caliza antes de que las materias primas entren al horno rotatorio. Finalmente, hay una tendencia a la reducción del empleo de combustibles fósiles no-renovables, por la utilización de los llamados “combustibles alternativos”, es decir, desechos con cierto poder calorífico que pueden ser quemados en los hornos rotatorios

La Industria del Cemento en Cienfuegos está considerada la más moderna del país después de la rehabilitación del horno uno. La modernización de los hornos, del enfriador, y mejoras operadas en los tres molinos, mantiene una situación de avanzada en el campo de ahorro de energía, adoptó el Petcoke, residuo de la refinación del petróleo, en sustitución del carbón y del crudo cubano, lo que ha significado un importante ahorro económico y en las emisiones de SO_x y otros gases, los sistemas de prehomogenización y de intercambio de calor permiten aprovechar los gases de salida del horno, paralelo a la optimización del proceso de molienda. De esta manera, la denominada "crisis de energía"- encontró a la industria en inmejorable situación con altos niveles internacionales de eficiencia técnica consiguiendo a finales del 2009 una producción de 1 023 291 toneladas de clínker y 533 689 toneladas de cemento. Demostrando su interés en insertarse en el reto mundial de lograr ser un sector con certificación ambiental.

I.6 Perfil medioambiental del cemento.

Clasificado como producto básico del sector constructivo, el cemento resulta de un proceso industrial de transformación mineral, donde el resultado de la calcinación de mezclas de materiales pétreos (calizas, margas, arcillas, etc.); producen un material primario denominado de clinker. Seguidamente el clinker es molido, en procesos complementarios, juntamente con una fracción de yeso y da lugar a un material con propiedades aglomerantes denominado cemento portland.

El siglo XX fue el de la consagración del cemento Portland como aglomerante, resultado innegable del desarrollo histórico de la humanidad, es hoy día uno de los materiales más empleados en la vida moderna incluso se asocia con el nivel de desarrollo de un país. Su precio es relativamente bajo si se compara con el de otros materiales y los buenos resultados obtenidos en sus aplicaciones han sido la causa de que hoy este aglomerante haya desplazado a todos los que le antecedieron.

Considerada una industria de tecnología universal, el sistema de producción de cemento demanda grandes cantidades de energía, básicamente en la combustión de las materias primas en el horno y en la molienda, para reducir hasta polvo el clinker. Aunque el requerimiento mínimo teórico de energía del proceso es de 1.75 ± 0.1 MJ por Kg. de cemento producido, se estima que la producción de 1 Kg. de clinker requiere, de forma efectiva, entre 3.2 y 6 MJ de energía térmica, en dependencia del tipo de proceso utilizado. El consumo eléctrico de la producción de 1 ton de clinker se estima entre 90 y 120 Kw /h. El promedio de consumo mundial es de 4.8 MJ /Kg. de cemento. Las regiones con más consumo son: Europa Oriental y la antigua Unión Soviética (5.5 MJ /Kg.), Norteamérica (5.4 MJ /kg) y el Medio Oriente (5.1 MJ /kg). (Martirena Fernando 2003). Estos elevados consumos, con consecuencias medioambientales, ha movido al sector del cemento a realizar planes ecológicos vinculados a la reducción y/o economía de estos recursos.

Las cargas ambientales resultantes de la explotación intensiva de recursos no renovables (materias primas y combustibles) se presentan, principalmente, en forma de gases emitidos a la atmósfera, como por ejemplo, dióxido de carbono (CO_2), óxidos de

nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO_2) con los efectos correspondientes en el medio ambiente.

Es sabido que la contribución de la industria cementera en las emisiones del dióxido de carbono (CO_2) es significativa, tanto por las reacciones de descarbonatación como por el uso de combustibles fósiles situándola en primer lugar de las fuentes no energéticas. La producción de 1 tonelada de libera aproximadamente 1 tonelada de dióxido de carbono a la atmósfera. En valores absolutos, esta contribución a las emisiones de CO_2 , en el ámbito mundial se puede situar en el entorno del 5% del total. Compartiendo su posición de materiales más energo intensivos con la industria siderúrgica, la química, la refinación de petróleo y la producción de papel, los cinco sub-sectores industriales mayores consumidores de energía a escala mundial.

La herramienta del análisis del ciclo de vida posibilita evaluar estas intervenciones medioambientales del cemento, suministrando la información necesaria para que los fabricantes puedan intervenir controlando, disminuyendo o eliminando determinados problemas. [Vold y Rønning, 1995; Schuurmans, et al., 1996; Nisbet y Van Geem, 1997; PR -Consultants, 1997]

La industria está comprometida con los esfuerzos que se hacen en el mundo para disminuir, o al menos detener el incremento de las emisiones de CO_2 por la producción de cemento a través del incremento de la eficiencia energética del proceso productivo, en especial en la fase de combustión de materias primas. Utilización de combustibles de más bajo contenido de carbono y de extensores que permitan disminuir el porcentaje de clínker en el cemento.

Es así como surgen los cementos con “adición”, que los transforman en productos más nobles, más económicos y les confiere propiedades que los mejoran desde el punto de vista ecológico y de la construcción. Pueden ser clase puzolánico o siderúrgico; con grado de resistencia alta o corriente. Una serie de factores inciden en la decisión de aplicar uno u otro: estabilidad química; resistencia mecánica, al deshielo, a las aguas puras; aspectos estéticos; velocidad de fraguado.

El principal destino del cemento, es la fabricación de hormigón, hoy uno de los materiales más popularmente empleados. Los estudios de ciclo de vida, ponen de relieve las múltiples ventajas de su utilización frente a otros materiales, por presentar una mayor durabilidad, un menor mantenimiento, una menor energía requerida para iluminación, menor consumo de combustibles del transporte que circula por la carretera, y brindar una mayor seguridad. Pero innegablemente es un producto con un perfil medioambiental más o menos complejo, por lo que es metodológicamente recomendable elegir fases o componentes de su ciclo de vida, cuyas repercusiones sean las más significativas sobre su perfil; avanzar en este conocimiento hasta el dominio de estos aspectos, para posteriormente poder actuar sobre todo el ciclo, mejorando o controlando su relación con el entorno ambiental. (Trinius, Wolfram 1999)

En este sentido, diversas investigaciones realizadas apuntan precisamente a la producción de cemento como fuente principal de consumo de energía y emisiones a la atmósfera. Además, indican que las cargas medioambientales asociadas a la producción de cemento y transferidas al perfil medioambiental del producto, no puede ser variados por parte del consumidor, en el cemento en sí mismo, aunque sí a través de la dosificación de cemento en el hormigón, o bien, a través del uso de cementos con perfil medioambiental optimizado por parte del productor.

No obstante, este hormigón que en un momento pareció ser tan fuerte y eterno como la misma piedra, demostró recientemente que puede ser sensible al ataque de determinados agentes agresivos, cuyo resultado puede llevar a la destrucción de la matriz completa. Este fenómeno ha generado un voluminoso trabajo de investigación sobre la durabilidad de hormigones ante el ataque de sulfatos, cloruros y ácidos. Y nuevamente los estudios han corroborado que esta depende de las propiedades del clínker del cemento Portland.

La obtención de certificados ambientales supone una prueba más de que las empresas cementeras han aumentado su preocupación por el medio ambiente en los últimos años. En la actualidad, casi el 100% de las fábricas siguen el sistema de gestión medioambiental

ISO 14001, una norma aceptada en todo el mundo, además de imponerse el reto de lograr ser un sector con certificación ambiental.

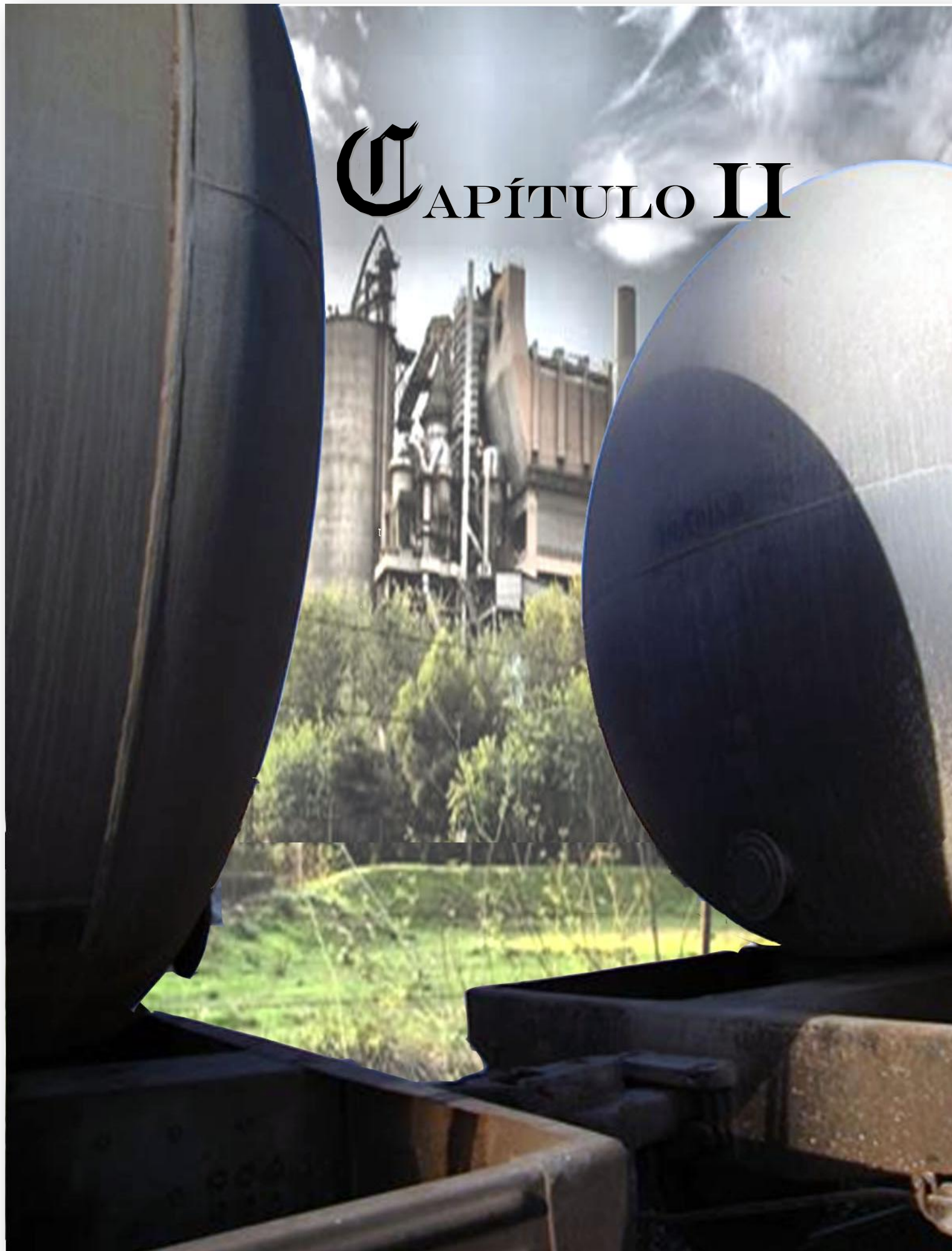
Esta industria lleva años mejorando sus procesos de producción, de manera que ha logrado un cemento de calidad con una menor cantidad de energía y materias primas y una menor emisión de CO₂. Por supuesto, queda mucho camino aun por recorrer en términos de garantizar la sostenibilidad del cemento y el hormigón en la sociedad moderna en que vivimos. Este camino pasa por buscar alternativas de disminuir las emisiones de CO₂ asociadas con la producción mundial de cemento, que representan cerca del 5% del total; pero también por buscar vías de fabricar elementos con ciclos de vida más largos, que permitan de cierta forma amortizar en el tiempo con su performance el alto consumo inicial de energía, así como buscar vías de hacer más sostenible la producción y uso actual del cemento Portland, por ejemplo reciclando desechos. Existen ya herramientas a mano que permiten de forma práctica –aun con limitaciones- poder comparar soluciones a la luz de la sostenibilidad, pensando sobre todo en el impacto ecológico. (Martirena Fernando 2003)

Del cotejo de la bibliografía consultada se desprenden las siguientes

Conclusiones parciales:

1. Para estudiar la incidencia medioambiental en la obtención de productos existen diversos métodos, entre los cuales está el análisis de ciclo de vida (ACV). Diseñada para describir en qué manera los sistemas tecnológicos afectan al medio, esta herramienta vale de soporte para tomar decisiones que mejoren los sistemas, ha probado ser efectiva y poseer la potencialidad necesaria para alcanzar los objetivos pretendidos.
2. Clasificado como producto básico del sector constructivo, el cemento resulta de un proceso industrial de transformación mineral, no es solamente uno de los materiales más energo-intensivos de la construcción sino también es responsable de una gran cantidad de gases de efecto invernadero, su contribución a las emisiones de CO₂, en el ámbito mundial se puede situar en el entorno del 5% del total.
3. La herramienta de análisis de ciclo de vida posibilita evaluar estas intervenciones medioambientales del cemento, proporcionando la información necesaria para que los fabricantes puedan intervenir controlando, disminuyendo o eliminando determinados problemas.

Capítulo II



CAPITULO II: Descripción del Objeto de Estudio y Metodología a Implementar.

“La forma ultima, la forma santa de la teoría, es la acción”

Nikos Kasantzakis.

En este capítulo se realiza la caracterización de la empresa mixta Cementos S.A y se estructura la metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del clínker establecida en la serie de normas NC-ISO 14040.

II.1 Industria del Cemento en Cienfuegos.

La Producción de cemento en la Provincia Cienfuegos comienza con el triunfo de la Revolución cubana.

En el mes de Junio de 1975, se confeccionó el expediente de Tarea de Inversión para la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, donde se planteó la localización del lugar destinado para la construcción de las instalaciones, la red de comunicación vial necesaria, las fuentes de abasto de agua y las soluciones a gestionar para la fábrica. También fueron analizados los indicadores tales como los requerimientos de abastecimiento de materias primas y factores socio - económicos para la ejecución y puesta en marcha de la industria.

El 8 de marzo de 1980 comienza la explotación del primero de los tres hornos de la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, lo cual permitió un aumento considerable en la producción nacional de este renglón. La Fábrica de Cementos “Karl Marx”, fue inaugurada por el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y el presidente de la RDA “Eric Honeker”. La Fábrica la conformaban tres líneas paralelas de producción con una capacidad instalada de

1 500 000 ton/año de clínker (tres Hornos rotatorios de 500 000 ton/año de clínker), con tecnología de producción de vía seca que se mantiene hasta hoy.

Después de 21 años de explotación., en el año 2001 se decide la constitución de la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A. que comienza con un proceso de mantenimiento general a la línea 1, continuando con la rehabilitación y modernización de la línea 3, para restablecer su capacidad productiva y alcanzar su capacidad de diseño. En noviembre del 2004 se realiza la puesta en servicio de la línea 3.

El comportamiento productivo de la Fábrica ha ido en ascenso. El año 2007 cerró con una producción superior al Millón de toneladas de clínker y se implantaron nuevos record históricos de producción para un mes. En el año 2009 se alcanzo la mayor producción registrada desde su restructuración llegando al millón ciento seis mil toneladas de clínker.

II.1.1 Ubicación, extensión y límites.

Cementos Cienfuegos S.A es una empresa mixta, perteneciente al Ministerio de la Construcción, destinada a la producción y comercialización de clínker y cemento consignados a clientes nacionales y extranjeros. En la actualidad su sistema de gestión integrado sobre las normas, NC-ISO 14001: 2004, NC- 18001: 2005 y los de NC- ISO 9001: 2008 acaba de ser certificado por la ONN.

Se ubica en el Municipio Cienfuegos, extendida sobre áreas de la Llanura de Cienfuegos a los 220 09' 20" de Latitud Norte y los 800 15' 19" de Longitud Oeste.

Esta instalación industrial, la mayor en Cuba y una de las más grandes de Latinoamérica, se encuentra muy cercana a asentamientos poblacionales tanto urbanos como rurales, entre los que se destacan:

- Al Norte, viviendas rurales dispersas, cultivo de cañas y potreros.
- Al Este, los asentamientos, Dolores, Codicia y Cumanayagua.
- Al Sur, los asentamientos, Guaos, Pepito Tey y las instalaciones del Jardín Botánico

- Al Oeste, los asentamientos, Lagunillas, La Josefa y la ciudad de Cienfuegos, ubicada aproximadamente a 14 Km de la fábrica.

Misión: Nuestro propósito es ser una empresa productora de clínker y cemento para el desarrollo de las personas, la empresa y la sociedad.

Visión: 2010: Somos una empresa de referencia fabricante de cemento en Cuba, con gestión de excelencia, rentable, con un equipo de trabajo comprometido en todas las actividades que realiza, protegiendo su personal y el medio ambiente, satisfaciendo las expectativas de sus clientes y sus accionistas.

Política: Asumimos el compromiso de producir y comercializar **CLINKER Y CEMENTO** que satisfaga las necesidades y expectativas de nuestros clientes y partes interesadas, siendo los **MEJORES DE NUESTRA CLASE EN CUBA**.

Estamos al servicio de nuestros **CLIENTES**, comprometidos con la **SOCIEDAD**, el medio ambiente y la salud de nuestros trabajadores, respetando el marco legal y normativo establecido para cada caso.

Asumimos la **MEJORA CONTINUA** en la calidad de nuestros productos, procesos y condiciones de trabajo.

Las personas constituyen el valor más importante. Por ello, deben estar cualificadas e identificadas con los objetivos de nuestra organización y sus opiniones han de ser consideradas.

Para el cumplimiento de nuestra política mantendremos un **Sistema de gestión de Calidad, Medio ambiente y Seguridad y salud ocupacional** que cumpla con los requisitos de las normas NC-ISO 9001:2001, NC-ISO 14001: 2004, NC 18001:2005.

Cementos Cienfuegos SA cuenta con un total de trabajadores distribuidos de la siguiente forma según sexo y categoría ocupacional según plantilla aprobada 2007.

Tabla II.1. Composición de la fuerza de trabajo de Cementos Cienfuegos SA

Categoría Ocupacional	Total
Obreros	150
Técnicos	51
Servicio	5
Dirigentes	34
Administrativos	4
Total	244

Principales clientes:

La producción de cemento es destinada íntegramente a la Unidad de Base Empresarial Comercializadora de Cemento (UBECOCEM); y el clinker se comercializa con Hansen Holding S.A por convenio entre las partes.

Principales Proveedores:

Geominera; Empresa de Asistencia y Servicio Cienfuegos; Empresa de Mantenimiento Cemento Vidrio; Acueducto y Alcantarillado Cienfuegos; Unidad Básica Empresarial Eléctrica Cienfuegos; CUBALUB, REFRACTECNIC, UDECAM, CUBIZA, IZAJE, SEPSA; CEDAI; COMETAL; MIMVEX; TRASMETRO; Ferrocarriles; Empresa de Transporte (ETEP); Cubana de Aviación; Cuba Control; SERVITALLE; MAMBISA; AGR; Centro Nacional para la Certificación Industrial (CNCI).

II.1.2 Descripción del entorno medio ambiental y socioeconómico.

Geología y geomorfología.

La constitución geológica del terreno donde está emplazada la fábrica, de manera predominante es de rocas carbonatadas de la Formación Cantabria, compuesta por margas de color cremoso amarillento, calizas, calcarenitas, conglomerados. El relieve del área está formado por una extensa llanura de origen fluvial, denudativa erosiva, asociada al río Caonao, con manifestaciones acumulativas y ondulaciones de alturas variables desde 60

hasta 100 m sobre el nivel medio del mar. En esta zona no se aprecian manifestaciones cársticas evidentes.

Es recomendable que una fábrica de cemento esté situada lo más próxima posible a las canteras para reducir los costes de aportación de materias primas. Cementos Cienfuegos S.A responde a esta circunstancia, con canteras de margas arcillosas y calizas que se refieren posteriormente.

Hidrología.

La instalación se localiza en los límites de las cuencas subterráneas CF 6, Cienfuegos y CF 7, Cumanayagua, estas cuencas tienen una profundidad de yacencia de las aguas entre 5 a 10 m, pudiendo oscilar hasta 2 m con el ciclo hidrogeológico. En ambas cuencas existen reservas de aguas subterráneas.

En las áreas del molino del carbón y el secador los niveles de agua subterránea se mantienen estables a 3m y de 3.5 – 4m respectivamente. Esto no interfiere con los niveles de cimentación. Con respecto a la clasificadora los niveles de agua están 8.55m por lo que la cimentación del objeto no está influida por las aguas subterráneas. (Fuente: Estudio Geotécnico para el molino, secador y clasificadora. ENIA No. 9 abril 2002)

Sobre áreas de la cuenca hidrográfica Caonao, se encuentra la mayor cantidad de instalaciones de producción y apoyo a la producción de la fábrica, constituyendo esta cuenca la de mayor incidencia ambiental negativa, sobre el medio natural y el medio social, provocadas por la elaboración del cemento, aunque es necesario señalar, que también se notan afectaciones en áreas muy cercanas a la fábrica y que se localizan sobre la cuenca del río Arimao.

Clima.

Desde el punto de vista climático, la fábrica se confina en una zona tropical poco húmeda de valle, que se caracteriza por ser caliente y lluviosa, más seca en los meses de Noviembre a Abril y húmeda de Mayo a Octubre. La zona es afectada por los sistemas de vientos

locales: las brisas de valle y una débil influencia de la brisa marina. Los vientos de mayor persistencia son los Alisios con componente ENE, predominante, en el área de interés.

Los factores climatológicos inciden en el comportamiento de la distribución del contaminante, en particular por las emisiones de gases y partículas de polvo que se generan en el proceso. Para la determinación del radio de protección sanitario de la entidad se tiene en cuenta el factor eólico, incluyendo dentro de sus parámetros la velocidad media anual del viento por rumbos, la frecuencia promedio anual del viento por rumbos, etc. Como se muestra en el Anexo II.4.

La calidad del aire en toda la zona y fundamentalmente en las direcciones W-S, se ve influenciada por el alto aporte de contaminación generada por la propia fábrica, la cual emite a la atmósfera sólidos sedimentables y en suspensión en cantidades considerables aunque por debajo de las normas permisibles, que son trasladados por los vientos, incidiendo en la calidad de vida, tanto en núcleos poblacionales como en la población dispersa y en todas las actividades de desarrollo socio- económico de los alrededores y el entorno de la instalación analizado.

Canteras en explotación.

Las materias primas empleadas para la elaboración del cemento son fundamentalmente de origen calcáreo: piedra caliza, margas y yeso; además de Zeolita y Perdigón. Cerca de la fábrica, se encuentran la mayoría de estos yacimientos.

Yacimiento Cantabria. Se encuentra al Este de la fábrica, en el municipio Cienfuegos, a una distancia aproximada de 2.0 km. Está constituido por calizas margosas y margas calcáreas, aporta Oxido de Calcio a la mezcla de cemento y se utiliza en un 70 %. Este yacimiento posee una reserva de 226.61 millones de toneladas y se encuentra en una zona donde el relieve está formado por medianas alturas de hasta 120 m sobre el nivel medio del mar. El material es trasladado hasta la fábrica por camiones y esteras transportadoras.

Yacimiento Las Pailas. Se encuentra al Noroeste de la fábrica, en el municipio Cienfuegos, a una distancia de aproximadamente 1.0 km. Está constituido por margas calcáreas y

margas, aporta a la mezcla de cemento: sílice, aluminio, hierro y calcio y se utiliza en un 25 % aproximadamente. El yacimiento posee una reserva de 55.07 millones de toneladas, se encuentra en una zona llana, donde las cotas son de 90 m sobre el nivel medio del mar. Este material es trasladado hasta el lugar del proceso por camiones.

Yacimiento Carolina. Se encuentra en el municipio Cienfuegos, está constituido por tobas litoplásticas, zeolitizadas, volcánicas, se utiliza como aditivo en la mezcla de cemento y para construcciones de poca resistencia, bloques, repellos y pisos; este material aumenta el volumen de la mezcla. El yacimiento posee una reserva de 141.68 millones de toneladas y el material se traslada por camiones hasta la fábrica.

Las arcillas y perdigones de limonita se encuentran en el municipio Rodas en el Yacimiento Palanquete, aportan a la mezcla óxido de hierro y óxido de aluminio y se utiliza de un 3 a un 5 %. Posee una reserva de 19.82 millones de toneladas. El material es trasladado por camiones hasta el ferrocarril y por ferrocarril hasta la fábrica al igual que el yeso consumido en el proceso que proviene de la provincia de Matanzas, del yacimiento Canasí y de Punta Alegre en Ciego de Ávila. Aporta a la mezcla más menos un 5 % y se utiliza como regulador para el tiempo de fraguado del cemento.

Estos yacimientos poseen Certificación de Derecho de Concesión Minera, para un período de explotación de 25 años, en ningún caso se ha llegado al nivel de explotación mínima, por lo cual todos los yacimientos poseen considerables reservas actualmente.

Los métodos de explotación más utilizados en los yacimientos son: extracción a cielo abierto, con desbroce utilizando bulldozer y perforación con voladuras.

Caracterización biótica.

La flora del territorio está compuesta por residuos de bosque semicaducifolio sobre caliza degradado, cultivos agrícolas, áreas de pastos y residuos de palmares, siendo además, característico, que aparezcan árboles frutales y maderables en grupos o individuos aislados en casi todo el territorio. Hay importantes especies afectadas, tanto por ser abundantes, frutales, maderables, o por su incidencia ecológica.

Atendiendo a la sensibilidad de las especies y a los contaminantes que emite la fábrica, las afectaciones pueden llegar a ser, en muchos casos, irreversibles. Entre las especies faunísticas autóctonas más importantes están los peces Lisa (Mujil curema), Biajaca (*Cychlasoma tetracantha*) y Mapo (*Dormitator maculatus*); los reptiles Majá de Sta. María (*Epicrates angulifer*) y Jubo Criollo (*Alsophis cantherigerus*); las aves Pedorrera (*Todus multicolor*), Zunzún (*Chlorostilbon ricordii*) y Gavilán de Monte (*Buteo jamaicensis*); y los mamíferos Venado (*Odocoileus virginianus*) y Murciélago Frutero (*Artibeus jamaicensis*).

Caracterización socio - demográfica del entorno de la fábrica. Población expuesta.

El entorno socioeconómico de la fábrica se caracteriza por la presencia de un sistema de asentamientos, desarrollado sobre la base de la presencia de núcleos, tanto urbanos, como rurales, así como la existencia, de pequeños núcleos de población dispersa. La población residente, posee en la zona varias fuentes de empleo, destacándose las actividades, agrícolas, pecuarias, industriales, científico - educativas, turísticas y sociales.

La tenencia de la tierra está muy relacionada con su uso, cultivos varios, frutales, viandas y hortalizas, otras con presencia de ganado, uso industrial con instalaciones como Planta de Asfalto, Calera, Complejo Agro - Industrial “Pepito Tey” y la propia Fábrica de Cemento, áreas como el Jardín Botánico de interés científico - educativo y la Facultad de Agronomía de "La Colmena", donde se conjugan las actividades de investigación de la ecología y la biodiversidad, con objetivos educativos, turísticos y de interés para la comunidad. Es de destacar también, la reciente creación del Área Protegida de Guanaroca, la cual se encuentra dentro del área de influencia de la fábrica y donde predominan los bosques naturales con diferentes tipos de vegetación, flora y fauna asociadas. Que pueden ser impactados por las emisiones de polvos que se generan.

Las partículas de polvo que salen calientes flotan en el aire mucho más por el día, debido a las corrientes ascendentes, siendo mayor su dispersión. La mayor deposición por área se produce en horas de la noche, debido a la disminución de las temperaturas y el aumento de la humedad.

Se sitúan dentro de los factores más afectados los que se relacionan a continuación en orden descendente: salud, productividad de los cultivos, mantenimiento y belleza del entorno.

En visitas de terreno y entrevistas al personal técnico-administrativo de las zonas aledañas. Es evidente que hay una afectación sobre la productividad en biomasa vegetal, aunque no se conoce su dimensión.

El sistema de asentamientos humanos acoge a la población y a su vez a la fuerza de trabajo que aporta el desarrollo de las actividades socio - económicas del territorio, Guabairo, Guaos, Pepito Tey, Lagunillas, Loma Abreu, El Rosario (zona más afectada por la contaminación), San Antón, el Sanatorio del SIDA (ubicado en el Km 141/2 de la Carretera de Cumanayagua, en el asentamiento Lajitas y aproximadamente a 3 Km de la Fábrica de Cemento) y la ciudad de Cienfuegos. En los puntos de monitoreo de los alrededores de la fábrica el CITMA reporta valores elevados de las deposiciones, principalmente en los tres puntos más cercanos: Guabairo, Patio de Carbón, Entrada de la Fábrica. Para las estaciones más alejadas: Sanatorio, Guaos, Caonao y Jardín Botánico, los valores determinados son muy similares entre sí, con bajos niveles de deposición. La población de donde se han recibido más reclamaciones al respecto es aquella más cercana al perímetro de la fábrica.

Las quejas principales se refieren a cubrimiento por partículas en las ropas de las tenderas y al polvo que se encuentra en suspensión, refiriéndose molestias ocasionadas por estados gripales frecuentes, corizas e irritación en las vías respiratorias, refieren que las explosiones que se producen en la cantera que abastece de caliza, principal materia prima del proceso productivo, a la fábrica, provocan sobresalto y preocupación debido al deterioro de algunas viviendas que por las vibraciones presentan filtraciones de cubierta.

La exposición a agentes tóxicos generados por el proceso productivo de la planta es mínima. Las patologías atendidas con más frecuencia en consulta son las Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA) con períodos de altas y bajas que se corresponden con la población en general.

Los más afectados son los órganos respiratorios y a la piel, las afecciones cutáneas se corresponden con la micosis superficial seguida de la dermatosis por otras causas, además de conjuntivitis alérgica, dichos agentes se incorporan al organismo por vía tópica o inhalatoria, por lo que es necesario tener un control epidemiológico sobre ello.

II.1.3 Evaluación Medioambiental Preliminar.

Descripción del proceso productivo.

Para la producción de cemento Portland se requiere del empleo de las materias primas fundamentales (caliza, marga y arcilla o correctores), que dan origen al clínker y el uso posterior de aditivos (yeso y puzolana, toba), las cuales al triturarse y molturarse con éste resultan en el producto final, cemento, el cual puede ser de varios tipos, según la resistencia a la compresión. Existiendo así, cemento de resistencia normal, media y cemento de alta resistencia.

La caliza y la marga son los materiales que se utilizan en mayor cantidad y contienen un alto por ciento de Carbonato de Calcio, además Oxido de Alúmina, sílice, potasio, sodio. Para producir el cemento se necesita una composición química que los elementos de la marga y la caliza, por sí solos no poseen en la cuantía porcentual exigida, lo cual obliga a tener que introducir una materia prima adicional, la arcilla; que incorpora la alúmina, la sílice y el óxido férrico deficitarios en los primeros para el completamiento de dicha composición. Antes del proceso productivo estas materias primas reciben los siguientes tratamientos, que se pueden ver también en el Anexo II.1.

La caliza es extraída por explosivos, transportada, triturada y almacenada. La marga también es extraída a voladura, posteriormente transportadas, trituradas, secadas, almacenadas y finalmente dosificadas. Los correctores se extraen con Buldozer (generalmente) y son transportados a la fábrica siguiendo el mismo curso que la marga. Estos son los procesos que a continuación manejaremos como Cantera y Trituración y secado.

Una vez establecidas las proporciones, los materiales son dosificados, triturados, molturados y secados a fin de eliminar la humedad residual, en lo que se denominará, proceso de Preparación del crudo.

De los silos de almacenaje, este crudo para clínker es conducido a la parte superior del precalentador, donde comienza a ponerse en contacto con los gases calientes provenientes de la combustión del Petcoke. El calor suministrado provoca la descarbonatación del Carbonato de Calcio, que se descompone en CaO y CO_2 ; y la elevación de las temperaturas hasta los 1700°C aproximadamente provoca la pérdida de agua de constitución de la arcilla que proporciona la alúmina y sílice; la zeolita aporta el aluminio, la fundición de óxidos de hierro. Alcanzadas estas condiciones, los óxidos se combinan en distintas formas entre sí, con lo cual se obtiene el clínker, como producto final a la salida del horno. Todo este conjunto de operaciones se nombra en la fábrica Piroproceso.

El clínker producido en el horno se muele y mezcla, normalmente en molinos de bola, junto con yeso para la obtención del cemento. Es usual agregar otros componentes a la mezcla, tales como puzolana, toba, consideradas como adiciones activas, o calizas.

Además de la molienda del clínker y demás componentes del cemento, en el proceso se realizan otras operaciones de reducción de tamaño: la caliza, marga, perdigón, yeso y combustibles sólidos son desmenuzados por distintos tipos de trituradoras. Las mezclas de las materias primas se muelen en molinos horizontales de bolas y los combustibles sólidos en un molino vertical de rodillos.

II.1.3.1 Composición química de las Materias Primas.

Esta información aparece organizada en las tablas II.2 y II.3.

Combustible tecnológico: Petcoke. De procedencia Venezuela. Es un residuo del proceso de refinación del petróleo y sustituye la utilización de crudo.

Tabla II.2: Composición química de las Materias Primas Principales.

Materia Prima	COMPOSICIÓN QUÍMICA					
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	Pérdidas por ignición (PPI)
Caliza	49,25	5,52	1,09	2,06	0,42	41,27
Marga	28,71	34,61	2,36	4,35	-	-
Perdigón	0,41	39,57	27,76	15,78	-	-
Yeso	26,75	9,23	2,47	2,59	36,65	20,09
Toba	6.95	52.71	6.44	11.48	-	

Tabla II.3: Composición química del Petcoke.

Parámetro	Valor típico
Humedad % máx.	8,91
Carbón fijado % (base seca)	85,1
Cenizas %	1,00
Material volátil %	1,90
Azufre %	4,5
Poder calórico neto (Kcal/Kg)	8506

Combustible Gas Óil (Diesel). Combustible utilizado como recurso auxiliar en los hornos para el precalentamiento. El consumo es aproximadamente durante 10 horas a partir del arranque.

Las características de este combustible, según las especificaciones de CUPET, se muestran en la tabla II.5.

Tabla II.5: Características físico- química del diesel utilizado.

Parámetro	Valor Típico
Densidad a 15 0C	0.8592 (g/cm ³)
BSW	< 0.05 (% v/v)

Azufre	0.68 (% m/m)
Corrosión al Cu	3:18
Viscosidad a 40 0C	3.74 (mm ² /g)
Cenizas (% m/m)	0.006 (% m/m)
Valor calórico inferior de trabajo	10 120.5 Kcal/kg.

II.1.4 Focos contaminantes potenciales y latentes de la Fábrica.

Ecosistema

Las fábricas de cemento, necesitan materias primas que se encuentran a flor de tierra, por lo que al extraerlas no se pueden evitar interferencias en el paisaje circundante, afectando a los recursos naturales, geología y relieve principalmente.

Emisiones de gases de la combustión (SO_x, NO_x y CO₂).

Durante la extracción y trituración de las materias primas del cemento, cal y yeso, realizadas normalmente en canteras, no se producen gases de escape.

Las materias primas del cemento se suelen secar al mismo tiempo de su preparación y molienda, por lo que la humedad presente se desprende en forma de vapor de agua inocuo. Durante la cocción de las materias primas, u obtención del cemento, tiene lugar, por desprendimiento del dióxido de carbono (CO₂) contenido en la piedra caliza, la transformación de carbonato cálcico en óxido cálcico. Así pues, las emisiones gaseosas de la cocción están formadas por el CO₂ de la descarbonatación, los gases de escape de los combustibles y también vapor de agua en pequeña cantidad. En el gas desprendido pueden aparecer también compuestos de azufre (generalmente en forma de SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Las emisiones de vapor se evitan en el proceso normal por adsorción de los contaminantes en el producto combustible.

Las emisiones de vapor de agua y de CO₂ son inherentes al proceso, mientras que la aparición de compuestos de azufre ha sido reducida drásticamente con el uso de materias primas y combustibles adecuados y el control del proceso de combustión. La contribución del dióxido de carbono (CO₂) en el calentamiento global se sitúa entre el 98,8% y el 100%

del total, es decir, es el principal causante del mismo, lo cual justifica que la producción de cemento sea una fuente relevante de CO_2 , y por lo tanto, del efecto invernadero.

Aguas residuales

Las fábricas de cemento son a veces grandes consumidores de agua, pero el proceso tecnológico no produce contaminación del agua. La mayor parte de esta agua se encuentra en circulación, por lo que sólo hay que reponer las pérdidas. En las instalaciones que trabajan con el método seco, que es el caso que se analiza, también se consume agua para la refrigeración de los gases de escape de los hornos, pudiéndose calcular un consumo neto aproximado de $0,4 \text{ m}^3$ de agua por tonelada de cemento.

El abasto del agua industrial a la fábrica se realiza del río Arimao, por medio de una estación de bombeo ubicada en las márgenes del río, a través de una conductora de agua con una longitud de 9.2 Km y un caudal de 60.0 l/s. Al llegar a la fábrica es almacenada en dos tanques de $2\,500 \text{ m}^3$ cada uno, el agua pasa por la planta de tratamiento, donde se efectúa la coagulación, sedimentación, filtración y suavización por intercambio iónico. El caudal nominal de esta planta es de $93 \text{ m}^3/\text{h}$. además de que cada área potencialmente peligrosa cuenta con un sistema de tratamiento, Trampa de hidrocarburos, Fosa séptica.

Para el tratamiento final de los sistemas de los residuales líquidos se utiliza una laguna de oxidación ubicada en las coordenadas N 220 09 465' W 800 19 306, asociada a la Cuenca Caonao. Los efluentes se disponen a las aguas superficiales. Ver Anexo II.2.

Desechos sólidos (basura). Desechos sólidos peligrosos.

En la planta de cemento la tecnología y el proceso son muy apropiados para la reutilización o destrucción de una variedad de materiales residuales, incluyendo desperdicios peligrosos, manejando así sus propios desechos sólidos y enviando lo que puede ser reciclable a materias primas. Ver Anexo II.3.

Ruido

Las fábricas de cemento ocasionan impacto sonoro. En la extracción de materias primas pueden producirse durante corto tiempo molestias de ruido a causa de explosiones y las consiguientes sacudidas. Durante la preparación surgen ruidos molestos producidos, por ejemplo, por quebrantadoras de impacto y molinos para el desmenuzamiento de materiales duros. La mayor parte de molinos de materias primas y de cemento producen un ruido intenso por lo que no hay puestos de trabajos permanentes. Las instalaciones de cocción necesitan numerosos ventiladores de gran tamaño que originan ruidos muy penetrantes, por lo que se han tomado medidas contra el ruido, como medios de protección y exámenes médicos periódicos específicos para este riesgo (Profilactorio Nacional). Además del tráfico pesado que este tipo de instalaciones generan.

Con el objetivo de juzgar cuantitativamente este impacto se realizaron mediciones de los niveles de ruido en las distintas zonas de trabajo de la fábrica con la respectiva comparación con las Normas Cubanas Vigentes. Ver Anexo II.4.

Emisión de polvo

Durante la obtención y elaboración de cemento, el proceso produce polvo en diferentes fases de trabajo incluyendo el transporte de materiales polvorientos o pulverizados desde la cantera de piedra caliza, hasta el embarque del producto terminado para envío. Las partículas son la causa más importante del impacto ambiental negativo. En el cemento este polvo es una mezcla de piedra caliza, óxido cálcico, minerales del cemento y a veces también cemento totalmente cocido. El control del polvo que resulta del transporte de los materiales es uno de los desafíos más difíciles; las bandas transportadoras, pilas de acopio, y caminos de la planta, pueden ser causas más importantes de degradación de la calidad del aire, que las emisiones del molino y el horno. Se emplean recolectores mecánicos de polvo donde es práctico, por ejemplo, en los trituradores, transportadores y el sistema de carga.

Por los valores actuales de las emisiones comparados con las normas de Calidad del Aire el polvo no resulta nocivo, pero si genera afectaciones para la salud, productividad de los cultivos, mantenimiento y belleza del entorno y cría de animales además de ser muy molesto. Se pudo comprobar que el polvo llega a cubrir gran parte de la superficie foliar de

las plantas. El contacto con el rocío y los aumentos de humedad relativa, seguidos del calentamiento luego de la salida del Sol, conducen a la formación de una capa sólida que cubre la cara expuesta de las hojas, las yemas terminales y las flores. Esto afecta el proceso de fotosíntesis, ocasiona la muerte del tejido en las yemas y flores; abortando la fructificación y el crecimiento de las plantas. El polvo, además, obstruye los estomas, afectando el proceso de transpiración, lo cual, por tratarse de un área tan extensa puede tener repercusión en el clima de la localidad y provocar, a largo plazo, transformaciones en la composición de la vegetación, con aparición de elementos xeromórficos.

Entre las mayores fuentes de la fábrica están: ver Anexo II.5.

- Molienda y mezclado de la materia prima,
- Cocción del cemento,
- Molienda del cemento

Con el uso adecuado de instalaciones de aspiración y grupos separadores de polvo eficaces, como precipitadores electrostáticos, filtros textiles, y, frecuentemente combinados con estos últimos, ciclones se ha garantizado que las partículas emitidas se reduzcan a niveles no significativos logrando una gestión apropiada de la fábrica y evitando que los costos por desgaste de las máquinas asciendan drásticamente, al tiempo que el alto porcentaje de polvo que afecta a los puestos de trabajo y supone también una pérdida de producción se mantenga controlado. La mayor parte del polvo separado se reconduce al proceso teniéndose una media de 230 841. 45 ton recuperadas por el sistema de desempolvado.

Estos filtros de alta calidad permiten actualmente en la industria del cemento, obtener aire de escape con un contenido de polvo inferior a 25 mg/Nm³.

II.2 Metodología a utilizar.

De acuerdo con la metodología propuesta por la normativa NC- ISO 14040 un proyecto de ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación. Esta norma especifica la estructura general, principios y requisitos para la realización y presentación de los estudios de análisis

de ciclo de vida. No describe en detalle la técnica del análisis de ciclo de vida. Por lo que esta metodología se propone delinear los aspectos fundamentales a abordar para la aplicación de la misma en la Empresa Cementos Cienfuegos S.A.

Tal y como ilustra la figura II.1 estas cuatro fases no son simplemente secuenciales. El ACV es una técnica iterativa que permite ir incrementando el nivel de detalle en sucesivas iteraciones. Por lo tanto, el alcance del estudio puede necesitar ser modificado durante la realización del mismo a medida que se disponga de información adicional.

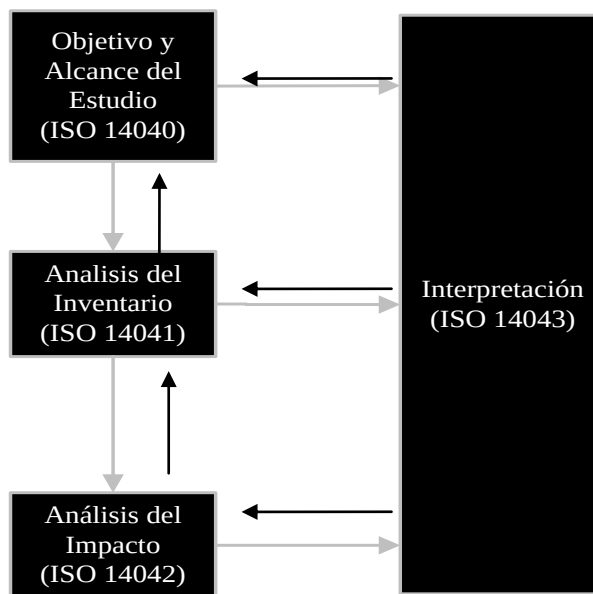


Figura II.1. Las fases de un ACV de acuerdo a ISO 14040

II.2.1 Objetivo y alcance del estudio

El primer elemento del ACV debe esclarecer sin ambigüedades las metas del estudio y la definición del ámbito del estudio. Por lo que este sería el primer paso de la metodología:

II.2.1.1 Definir el objetivo y alcance del estudio.

El objetivo y alcance de un estudio de ACV debe definir claramente y ser consistente con la aplicación que se persigue, las razones para realizar el estudio y a quiénes se prevé comunicar los resultados del estudio. Respondiendo a interrogantes como: ¿cuáles son las intencionalidades de uso de este estudio?

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente:

Las funciones (características de desempeño) del sistema producto, o en el caso de estudios comparativos, los sistemas; la unidad funcional, pues describe la función principal del sistema analizado; el sistema producto a estudiar; los procedimientos de asignación; los tipos de impacto y la metodología de evaluación de impacto, así como la consiguiente interpretación a utilizar; los requisitos de los datos; los límites del sistema producto. Para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio son compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo del mismo.

El establecimiento de límites responde a que debido a su naturaleza global un ACV completo puede resultar muy extenso. Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios deberán incluirse dentro del ACV; determinados por factores como: la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y el destinatario previsto. Los criterios utilizados para fijar los límites del sistema deben dictar el grado de confianza necesario para garantizar que los resultados del estudio no estén comprometidos y que el objetivo del mismo será alcanzado.

Este proceso también tiene en cuenta el hecho de que a menudo no es práctico modelar cada entrada y cada salida en el sistema producto así que el objetivo es identificar las entradas significativas asociadas a cada uno de los procesos unitarios. En la práctica, varios criterios son usados en el ACV para decidir las entradas a estudiar, incluyendo: masa, energía y pertinencia ambiental. También pueden ser utilizados para identificar las salidas que conviene trazar al medio ambiente, incluyendo los procesos de tratamiento final de residuos. Todas las entradas seleccionadas e identificadas por este proceso deben tomarse en cuenta como flujos elementales.

II.2.2 Inventario (ICV)

Esta fase comprende la recolección de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar las entradas y salidas relevantes asociadas a la unidad funcional.

II.2.2.1 Recolección de Datos.

Los datos cualitativos y cuantitativos para su consideración en el inventario deben obtenerse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema. Los procedimientos utilizados para la obtención de los datos pueden variar dependiendo del alcance, proceso unitario o aplicación del estudio. Las limitaciones prácticas en la obtención de los datos deben considerarse en el alcance y reflejarse en el informe.

Guinée, et al. [1998] en la revisión de la Guía del ACV del Centro de Ciencias Ambientales -CML, de la Leiden University-, basándose tanto en consideraciones de la norma NC-ISO 14.041 de 1998, como en otras referencias, recomienda que se cumplan inicialmente algunos pasos prácticos. Entre estos:(Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

- Partiendo del principio que los procesos fluyen siempre a otros procesos o al entorno ambiental, trazar un diagrama de flujo inicial del proceso, permitir que de forma gráfica se aprecien los flujos del sistema con todas sus entradas y salidas más relevantes, reuniéndose, de este modo, los datos necesarios.
- La construcción del diagrama de flujo sobre el proceso debe iniciarse a partir del sistema de producción de la unidad funcional, agregando inmediatamente, los procesos adyacentes correspondientes, entre los que se encuentran: los procesos auxiliares, el transporte y el suministro de energía.

II.2.2.2 Construir los diagramas de Proceso.

Lindeijer [1999] y Trinius [1999] afirman que remontar todos los flujos de entradas y salidas puede significar una regresión infinita en alguna parte del sistema. Por este motivo, construir el diagrama del proceso servir a de apoyo para redefinir los límites del sistema en estudio, y ayudaría a tomar decisiones a la hora de incluir o excluir determinados sistemas auxiliares que demuestren cierta importancia en el sistema analizado.

Sobre esta cuestión, en la norma NC-ISO 14 041, bajo título de Procesos pertinentes y no pertinentes, se recomienda que se tome como base la importancia económica y/o la estimación de la relativa contribución a los impactos medioambientales producidos para definir los límites del sistema, estableciendo un análisis de sensibilidad con la intención de excluir todos aquellos procesos que demuestren poca influencia en el ciclo de vida del producto analizado. (Lindeijer, E.; Huppel, G. 1999)

Con estas consideraciones, otros procedimientos suplementarios deben constituir la fase de análisis de inventario en la práctica del ACV. Deben considerarse globalmente los siguientes:

- Refinamientos en los límites del sistema establecido;
- Compilación de los datos y procedimientos de cálculos; y
- Validación de estos datos con respecto a los objetivos y alcance definidos para el estudio.

II.2.2.3 Estructuración de los datos.

Los datos reunidos, sean medidos, calculados o estimados, son utilizados para cuantificar las entradas y salidas de un proceso unitario. Con esta definición se incluyen tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc. Constituyen el “corazón” del método.

Entre las principales dificultades encontradas para realizar un ACV figuran el disponer de inventarios que sean representativos del sistema objeto de estudio. Además, lo recomendado en esta fase, es tener mucho cuidado al escoger la base de datos, pues esta opción influye de forma determinante en los resultados de la valoración, de aquí que se demande una buena relación de fidelidad entre la base de datos y el sistema estudiado.

Según la NC-ISO 14041, es necesario definir claramente los métodos que se utilizarán para recoger y componer datos, así como sus aspectos cuantitativos/cualitativos; aquí debe establecerse el nivel de fiabilidad y de representatividad de estos inventarios. Además de fijar otros parámetros de representatividad, como el tiempo de validez, la zona

geográfica y la tecnología que incluye el inventario, de igual modo que los requisitos cualitativos definidos en los objetivos y en el alcance del ACV propuesto.

Por su parte a la hora de preparar la presentación de los datos del inventario, debe tenerse en cuenta que la claridad de la información desempeña un importante papel a la hora de manejarlos en las distintas fases del ACV. Según sugiere la NC-ISO 14041, la estructuración debe ser clara y los datos asociados a cada flujo de entrada y salida de cada unidad del proceso o producto y sus valores deben indicarse debidamente.

Requisitos de calidad de los datos.

La calidad de los datos utilizados en el análisis de inventario se reflejará notoriamente en la calidad final de los resultados de la evaluación. La NC-ISO 14041 plantea los requisitos adicionales de calidad de los datos siempre considerados con un nivel de detalle que dependerá de la definición del objetivo y alcance.

Cuando se concluye la compilación de los datos, son necesarios procedimientos de cálculo con el fin de producir los resultados del inventario del modelo definido para cada proceso unitario y para la unidad funcional del sistema producto a modelar.

A continuación se dan algunas consideraciones importantes sobre los procedimientos de cálculo:

- Los procedimientos de asignación son necesarios cuando se trabaja con sistemas que impliquen varios productos (ej. productos múltiples de la refinación de petróleo). Los flujos de materia y energía, así como las emisiones al ambiente asociadas deben asignarse a los diferentes productos de acuerdo con procedimientos claramente establecidos, que deben ser documentados y justificados.
- El cálculo del flujo de energía debería considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía.

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

II.2.3 Evaluación del Impacto en el Ciclo de Vida (EICV)

Esta fase tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales para comprender mejor su significación ambiental. En general, ese proceso implica la asociación de datos del inventario con impactos ambientales específicos y tratando de valorar dichos impactos. La fase EICV modela cuestiones ambientales seleccionadas, denominadas categorías de impacto, y usa indicadores de categoría para resumir y explicar los resultados del ICV.

Su estructura viene determinada por la normativa ISO 14042:2000, distinguiendo entre una fase técnica considerada obligatoria por la metodología y elementos opcionales de carácter político.

Los elementos considerados obligatorios son:

- 1. Selección** de las categorías de impacto teniendo en cuenta su ámbito de acción, indicadores de categoría y modelos.
- 2. Clasificación** En esta fase, asentándose en correlaciones experimentales o teóricas, se asignan la totalidad de los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.

La fase puede incluir, entre otros, elementos como:

- Asignación de los datos del inventario a categorías de impacto (clasificación);
- Modelación de los datos del inventario dentro de categorías de impacto (caracterización);

- Posible agregación de los resultados en casos concretos y sólo cuando proceda (valoración).

3. Caracterización. Consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto. Cada categoría de impacto, ej. Acidificación, precisa de una representación cuantitativa, denominada indicador de la categoría, ej. Emisión de dióxido de azufre (SO₂) equivalente. La suma de diferentes intervenciones ambientales para una misma categoría se hará en la unidad del indicador de la categoría (figura 2.2). Mediante los factores de caracterización, también llamados factores equivalentes, las diferentes intervenciones ambientales, emisión de gases, por ejemplo, se convierten a unidades del indicador.

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

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV:

1. Normalización. Se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal.

2. Agrupación, clasificación y posible catalogación de los indicadores

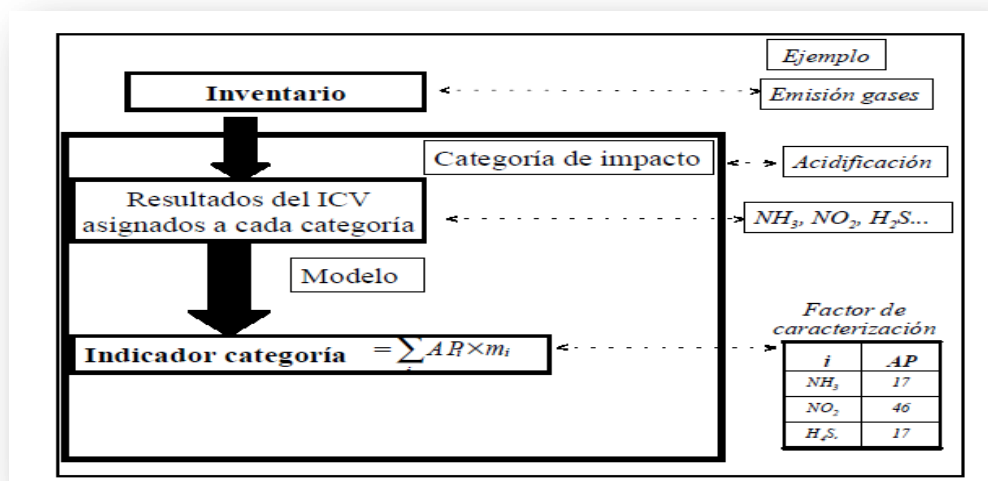
3. Ponderación. Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.

4. Análisis de calidad de los datos, ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del AICV.

La aplicabilidad de los factores de caracterización dependerá de la precisión, validez y

características de los modelos utilizados.

Figura 2.2. Esquema de la clasificación y caracterización en la fase del AICV. Ejemplo para la categoría de acidificación. Fuente: (<http://www.tdr.cesca.es.pdf>)



II.2.3.1 Selección de los métodos de evaluación de impactos.

Una diferencia importante entre los diferentes métodos de evaluación de impactos reside en la opción de analizar el efecto último del impacto ambiental, "endpoint", o bien, considerar los efectos intermedios, "midpoints". Las categorías de impacto ambiental intermedias se hallan más cercanas a la intervención ambiental, permitiendo, en general, modelos de cálculo que se ajustan mejor a dicha intervención. Las categorías de impacto finales son variables que afectan directamente a la sociedad, por tanto su elección resultaría más relevante y comprensible a escala global.

Entre las metodologías que miden categorías de daño y de impacto se toman Ecoindicador 99, IMPACT 2002+ y EcoSpeed por estar enfocadas a punto final y punto intermedio.

Eco-indicador

Objetivo principal: comparar las diferencias relativas entre sistemas y sus componentes. Se enfoca a categorías finales o de daños. Determina un solo valor que indica el impacto ambiental total basado en los efectos calculados (ICV). Cumple con los requisitos de las

normas ISO 14 040 –14 044. Los valores de los eco-indicadores son cifras sin dimensión. Como base se utiliza el punto Ecoindicador (Pt). El valor de 1 Pt representa una centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio europeo.

El método de evaluación para calcular el Eco-indicador se enfoca en los efectos de emisiones en el ecosistema. Los objetivos se basan en datos científicos sobre daños medioambientales. El valor de los objetivos son relacionados a tres tipos de daños medioambientales: deterioro de ecosistemas, deterioro de la salud humana, daño a recursos minerales y fósiles; y 11 categorías de impacto que son:

- Carcinógenos,
- Respiración de orgánicos,
- Respiración de inorgánicos,
- Cambio climático,
- Radiación,
- Agotamiento de la capa de ozono,
- Ecotoxicidad,
- Acidificación,
- eutrofización,
- Uso de la tierra, minerales y combustibles fósiles.

Caracterización

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

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

Donde:

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

Normalización

Consiste en 2 pasos:

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

Para calcular los Ecoindicadores es necesario seguir tres pasos:

1. Inventario de las emisiones relevantes, la extracción de recursos y el uso del suelo de todos los procesos incluidos en el ciclo de vida de un producto. Es un procedimiento estándar de los LCA.
2. Cálculo de los daños que pueden causar esos flujos a la salud humana, a la calidad del Ecosistema y a los recursos.
3. Ponderación de las tres categorías de daño.

Impact 2002+

Es una metodología originalmente desarrollada en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, esta metodología propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños, vincula todos los tipos de resultados del inventario de ciclo de vida con cuatro daños de categorías (salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos) a través de 14 puntos intermedios:

- Efectos respiratorios,
- Toxicidad humana,
- Oxidación fotoquímica,
- Deterioro de la capa de ozono,
- Ecotoxicidad acuática y terrestre,
- Acidificación,
- Eutrofización,
- uso de la tierra,
- Calentamiento global,
- Extracción de minerales,
- Energías no renovables, y
- Radiaciones ionizantes.

Caracterización

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

Normalización

La idea de normalización es analizar la parte respectiva de cada impacto al daño total por aplicar factores de normalización a puntos intermedios o clases de impactos de daños para

facilitar la interpretación. El factor normalizado es determinado por el radio de impacto por unidad de emisiones dividido por el total de impactos de todas las sustancias de la categoría específica para la cual existen factores de caracterización, por persona por año. La unidad de todos los factores de punto intermedio o daño normalizado es por lo tanto el número de personas equivalentes afectadas durante un año por unidad de emisión.

Eco-Speed

EcoSpeed debe su nombre al uso de funciones de velocidad de agotamiento en la mayoría de sus categorías de impacto. Este método presentado por Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Cubana de Análisis de Ciclo de Vida, aplica técnicas de estimación para el completamiento de las categorías de impacto, incluyendo en ellas la mayor cantidad posible de sustancias identificadas por otros métodos como Eco-Indicador 99 (en sus tres versiones), Impact 2002+, TRACI y EDIP, de las cuales se pudieron establecer estimaciones de sus factores de caracterización para el modelo USETox, que afectan el mecanismo ambiental medido por la misma.

Caracterización

Eco-Speed cuenta con 3 categorías de daño, las que son afectadas por 13 categorías de impacto que se presentan relacionadas en la Tabla II.6. En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, recurriendo a una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado, para cada una de las categorías de daño y de impacto obteniéndose además una representación de la velocidad de agotamiento del recurso analizado.

Tabla II.6 Relaciones entre las categorías de Impacto y de daño en el método Eco-Speed

Exterminación de la población (Human Extermination)	Consumo de los recursos (Resources Consumption)	Contaminación de La Tierra (Earth Contamination).
Carcinogénicos en el aire.	Uso del Agua.	Ecotoxicidad del Aire.
No Carcinogénicos en el aire.	Uso del Suelo.	Ecotoxicidad del Agua.

Carcinogénicos en el agua.	Uso de la Energía.	Ecotoxicidad del Suelo.
No Carcinogénicos en el agua.	Uso de los Minerales.	Calentamiento Global.
Carcinogénicos en el Suelo.		Capa de Ozono.
No Carcinogénicos en el Suelo.		

Categoría de daño: Exterminación de la población (Human Extermination)

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

$$HE = CA + NCA + CW + NCW + CS + NCS \quad (0.1)$$

Donde: HE: Indicador de daños a las personas en función del agotamiento (Human Extermination)

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

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

Para el cálculo de la categoría de impacto uso del agua, se tienen en cuenta las entradas y salidas al sistema de producto analizado, a partir de cada uno de los posibles orígenes, o fuentes de abasto. Para el impacto del uso del suelo se ha considerado proponer una ponderación en dependencia del cambio de uso que se realice al utilizar el suelo. Se basa en las clasificaciones de su productividad, donde se utilizan 4 clasificaciones, muy productivo, productivo, poco productivo y muy poco productivo; clasificaciones utilizadas por las agencias que proveen los datos para el cálculo del indicador de la categoría (Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba 2009)(EUROSTAT, European comisión 2008), por eso se mantienen como tal.

Categoría de daño: Contaminación de La Tierra (Earth Contamination).

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

Los factores de caracterización para cada sustancia representan la fracción potencialmente afectada que provocada por cada Kg de las sustancias emitidas al aire, su unidad de medida está dada por PAF/Kg. El cálculo de los efectos potenciales que producen las sustancias conocidas como contribuyentes al efecto invernadero y las probadas como agotadoras de la capa de ozono, resulta de la multiplicación de la masa emitida por su correspondiente factor de potencial de calentamiento global y de potencial de agotamiento del ozono, estos factores son dados a conocer por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y la organización meteorológica mundial respectivamente.

II.2.3.2 Presentación de los resultados del Análisis del Inventario.

II.2.4 Interpretación de los resultados.

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados de análisis del inventario con la evaluación de impacto. Permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cual presenta un mejor comportamiento ambiental.

II.2.4.1 Propuesta de mejora y análisis de factibilidad.

Por lo tanto, en esta última fase del ACV, los resultados anteriores deben ser reunidos, estructurados y analizados. Aquí debe confeccionarse una estructura de análisis de los resultados, con un análisis de sensibilidad e incertidumbres, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones,

que pueda dar respuestas a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

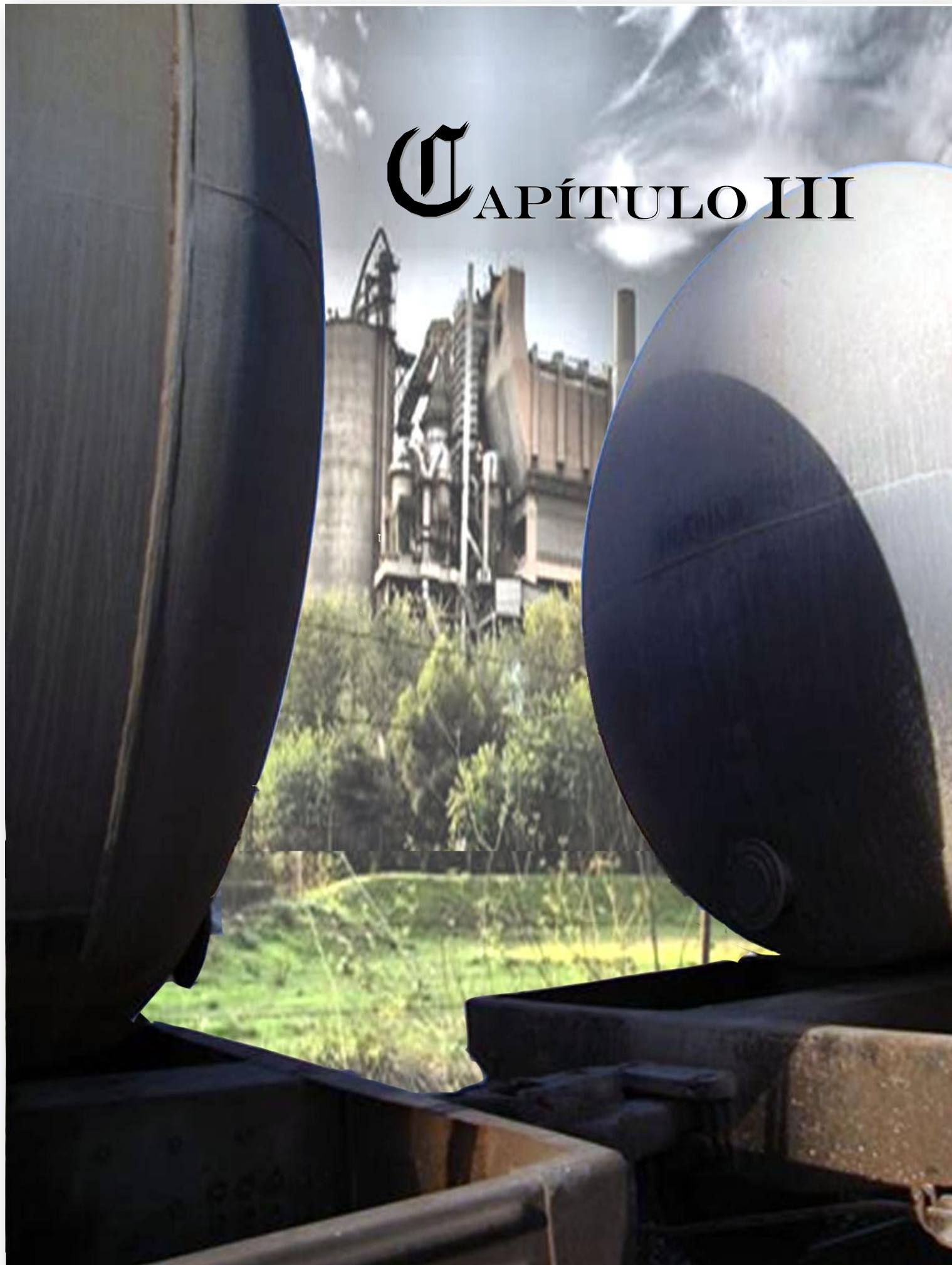
En el reporte de la investigación deben definirse:

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

Conclusiones parciales:

1. Se hace una caracterización general de la Fábrica de Cementos Cienfuegos S.A abordando aspectos que inciden directamente sobre el medio circundante y describen el nivel de gestión implementado en favor del reconocimiento social por parte de trabajadores y comunidad. Incluye una descripción detallada del proceso productivo por subprocesos y una relación de las características de las materias primas fundamentales que involucra.
2. Los problemas ambientales que enfrenta el ciclo de vida de la producción de cemento están asociados con los contaminantes generados por los consumos de energía, combustibles, funcionamiento de los hornos, emisión de gases y polvo.
3. La Fábrica no tiene concebido como cuantificar el impacto ambiental de sus procesos, esto conduce a la necesidad de aplicar una metodología que permita evaluar la producción de cemento a partir de un enfoque que considere todos los componentes involucrados desde la extracción de la materia prima hasta la elaboración y uso del producto final, e identificar y cuantificar los principales impactos generados en el proceso. Utilizando para ello la metodología descrita, propuesta por la serie NC-ISO 14 040 y aplicando el software Sima pro 7.1.
4. Se consideran varios métodos de evaluación de impacto seleccionando Ecoindicador, Impact 2002+ y EcoSpeed por su adecuación para vincular categorías de impacto y daño en un amplio rango, y estar enfocados a puntos intermedios y finales.

CAPÍTULO III



CAPÍTULO III: Aplicación del ACV en la fabricación del cemento en Cementos Cienfuegos S.A.

*“El hombre cauto jamás deplora el mal presente:
emplea el presente en prevenir las aflicciones futuras”*

William Shakespeare.

El objetivo principal de este capítulo es aplicar la metodología anteriormente desglosada y analizar los resultados obtenidos en busca de potenciales mejoras o soluciones que respondan a los factores principales identificados como causas de los potenciales impactos medioambientales producidos por las cargas asociadas a las entradas y salidas del proceso.

III.1 Definición de Objetivos y Alcance.

Los objetivos que se persiguen en este estudio son los siguientes:

1. Construir un Inventario de la fabricación de cemento en la Fábrica Cemento Cienfuegos S.A, para llevar a cabo un balance cuantitativo completo de la energía y los recursos consumidos (entradas), y de las emisiones y residuos generados (salidas) durante el proceso de fabricación de 1 tonelada de cemento.
2. Desglosar el inventario con el máximo detalle operativo según las fases de fabricación del cemento para poder asignar a cada fase las entradas y salidas correspondientes así como los impactos ambientales asociados.
3. Evaluar y cuantificar los impactos asociados a los datos obtenidos a lo largo del ciclo de vida analizado.
4. Valorar variantes de mejoras para reducir dichos impactos ambientales.

El sistema analizado se define como la fabricación de 1 tonelada de cemento portland, y engloba desde la obtención de las materias primas o el transporte hasta el lugar de su manipulación, la preparación de los componentes, y finalmente, la obtención del clínker y el cemento a punto para ser distribuido en el mercado.

Los límites del sistema responden al tipo de análisis de cuna a puerta ya que se concluye cuando el clínker y el cemento ya está listo para la carga a granel y principia con la obtención de sus materias primas. Esto es, en el momento de la extracción de los áridos de las canteras (caliza, marga); el corrector de hierro, y la zeolita se contabilizan a partir del transporte desde el punto de suministro hasta la fábrica de cemento. En los límites no se incluye la incorporación del cemento como materia prima del hormigón.

Las entradas del sistema que se computan son las principales materias primas consumidas, el total del consumo energético, el consumo de agua e insumos relacionados con impactos ambientales; como salidas: los principales residuos y emisiones al medio (aire, agua y suelo); y como producto: el clínker y el cemento portland.

Otras materias primas consideradas como los explosivos utilizados en las canteras y el ladrillo refractario, no se evalúan desde el inicio de su propia producción sino que se contabilizan desde el producto como tal, porque se considera, como criterio, que no resulta relevante en el proceso en estudio.

Por lo que respecta a los portadores energéticos indirectamente también se toman en consideración.

La unidad funcional como se refiere anteriormente es 1 tonelada de cemento, para cada proceso unitario se define una unidad funcional específica:

- Cantera: tonelada de material extraído.
- Trituración y Secado: tonelada de material triturado y secado.
- Preparación del Crudo: tonelada de crudo.
- Piroproceso: tonelada de clínker.
- Producción de Cemento: tonelada de cemento.

Para el estudio se ha utilizado como soporte informático el SimaPro 7.1, una herramienta desarrollada por Pré Consultants para el Análisis de Ciclo de Vida que analiza y compara

los aspectos medioambientales de un producto de una manera sistemática siguiendo las recomendaciones de las normas ISO serie 14 040.

III.2 Análisis del Inventario (ICV)

Recolección de Datos. Diagramas de Proceso.

En este apartado se describe detalladamente la construcción de la parte clave del ACV: el inventario.

Los datos de base a partir de los que se ha elaborado se han facilitado en valor absoluto y han sido recalculados a partir de consideraciones que se exponen más adelante, hasta mostrarlos como un resultado referenciado a la unidad analítica de cada proceso unitario.

Las fases de producción que se tienen en cuenta son todas las que se siguen en la fábrica en estudio. En el Anexo III.1 se encuentra la descripción gráfica del sistema considerado, de forma detallada y con el formato de diagrama de flujo que permite el seguimiento real del proceso. A continuación se relacionan los datos de entrada y de salida correspondientes a cada subproceso del sistema.

Cantera; correspondiente a la extracción de las materias primas (caliza, marga, perdigón, zeolita), con origen y final en la misma. Las entradas de material de este subsistema están definidas por los explosivos (SENATEL), combustibles para las herramientas mecánicas (perforadoras, palas mecánicas, motoniveladoras, y más), lubricantes y grasas, en cantidades menores. Las salidas vienen representadas por el material resultante de las voladuras del macizo rocoso. La emisión característica de este subsistema es el polvo originado en la retirada de estéril, voladura, carga y desplazamientos de los vehículos de transporte por caminos internos del área. Otras emisiones al aire (CO_2 , NO_x , SO_x) resultan de combustión de los equipamientos y vehículos utilizados. El proceso de transporte en este caso corresponde al desplazamiento de la materia prima al punto de tratamiento posterior (externo). El transporte interno se realiza a través de bandas

transportadoras.

Trituración y Secado: Las entradas de materiales de este subsistema son: caliza, marga, perdigón y zeolita, procedentes de las canteras. Mientras que las entradas energéticas corresponden al consumo de energía eléctrica por la trituradora, el secador y equipamiento auxiliar (cintas transportadoras, ventiladores, motores, filtros.); combustibles tecnológicos, diesel y Petcoke para el secador. La salida del sistema es la cada materia prima triturada y secada que se envía a silos o almacén según corresponda. Las emisiones de este subsistema son gases (dióxido de carbono (CO_2), óxidos de azufre (SO_x) y óxidos nitrosos (NO_x), además de partículas sólidas pulverulentas. El transporte de esta etapa es interno, usualmente, mediante cintas transportadoras.

Preparación del crudo; correspondiente a la dosificación y molienda de las materias primas para su alimentación posterior a los hornos de clínker. Las entradas de materiales de este subsistema son: caliza, marga perdigón y zeolita, procedentes del subsistema anterior. Mientras que las entradas energéticas corresponden exclusivamente al consumo de energía eléctrica utilizada en los molinos y equipamiento auxiliar (cintas transportadoras, etc.). Las salidas vienen representadas por el crudo para clinker, resultante de la molturación, secado y homogenización de las materias primas.

Como emisiones de este subsistema están, el polvo originado en la molienda, emisiones de gases de combustión provenientes del horno, (resultantes de la quema de combustibles fósiles), desechos peligrosos (aceites y lubricantes). El proceso de transporte en este caso es, principalmente, de tipo interno (cintas transportadoras, sistemas neumáticos, sistemas mecánicos). Este subsistema es claro desde el punto de vista conceptual, si bien su repercusión es pequeña, por lo que se podría integrar en uno más amplio denominado producción de clínker.

Piroproceso; correspondiente a la producción de clínker, abarca las operaciones en el precalentador del horno, molino de carbón, horno de clínker y enfriador. Las entradas de materiales de este subsistema son, principalmente: crudo para clinker resultante del subsistema anterior, combustibles tecnológico: diesel para el calentamiento y Petcoke, lo cual representa en el entorno el 96% de la energía requerida, siendo el otro 4 %, energía

eléctrica utilizada en el funcionamiento del equipamiento eléctrico, tales como: motores, filtros, extractores, etc. Estos combustibles son recursos no renovables derivados del petróleo. La salida del sistema es el clínker que se envía a los silos de almacenamiento. Este subsistema es de gran repercusión desde el punto de vista de las emisiones, resultan las más significativas de todo el sistema, centrando su origen en las reacciones químicas de formación del clínker y por la combustión de los combustibles utilizados. Las emisiones principales son gases (dióxido de carbono (CO_2), óxidos de azufre (SO_x), óxidos nitrosos (NO_x), monóxido de carbono), además de partículas sólidas pulverulentas. El transporte de esta etapa es interno, usualmente, mediante cintas transportadoras y elevador de cangilones.

Producción del Cemento; correspondiente a las etapas dosificación, mezclado y molienda, está compuesto principalmente, por unidades electromecánicas de básculas, cintas transportadoras y molinos. La entrada de material es clínker, yeso, puzolana y aditivos que se puedan considerar, en función del tipo de cemento que se esté produciendo; mientras que la salida del sistema es cemento a granel y envasado listo para su distribución. El transporte de esta etapa se considera interno (bandas transportadoras y sistemas neumáticos), no se incluye el transporte externo de la fábrica de cemento a donde se requiera su consumo. El consumo energético corresponde, principalmente a energía eléctrica, es pequeño, situándose en el entorno del 20-25 % de todo lo requerido en el sistema global visto. Como emisiones de este subsistema están, el polvo originado en la molienda del cemento y desechos peligrosos (aceites y lubricantes).

III.2.1 Datos de Entrada

Recursos Materiales.

A continuación se presentan algunas consideraciones importantes.

A partir de los informes iniciales suministrados por los analistas de producción de la fábrica, y teniendo en cuenta los rangos de variación, se exponen los valores resultantes del consumo de recursos naturales antes mencionados, referenciados a la unidad: una tonelada de clínker, en las tablas III.1, III.2 y III.3: Los cálculos para obtener

estos valores se encuentran en el Anexo III.2.

Un aspecto interesante a señalar es la magnitud de consumo de caliza, el cual se sitúa alrededor de 1.2 ton/ tonelada de clínker. Este factor es importante, dado que la emisión de CO₂ está influenciada principalmente por la cantidad de caliza que se transforma en la fabricación del clínker.

Tabla III.1: Consumo de Materias Primas.

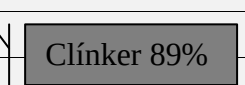
Materiales	Crudo para Clínker	Cemento PP250	Cemento P350
Caliza	75%		
Marga	22.5%		
Perdigón	2%		
Zeolita	2.3%		
Yeso		5%	5%
Puzolana		20%	6%

Tabla III.2: Consumo de Recursos Auxiliares por tonelada de clínker.

Recursos Auxiliares	UM	Real	Índice
Agua	m ³	412640	0.403247952
Ladrillo refractario	kg	2046582	2
SENATEL	kg	453050.2	0.27
Grasas	kg	5249482.83	5.13
Lubricantes	kg	920961.9	0.9

Tabla III.3: Consumo de Materias Primas por tonelada de clínker.

Materiales	UM	Cantidad Real	Índice (t/t de clínker)	kg/t clínker
Caliza	ton	1231562	1.204	1203.531
Marga	ton	368672	0.360	360.281
Perdigón	ton	33354	0.033	32.595
Zeolita	ton	37442	0.037	36.590
Harina Homogenizada	ton	1641024	1.604	1603.673

La variación de la relación: toneladas de crudo consumidas para fabricar 1 tonelada de clínker oscila entre el 1,6 - 1,62 t crudo /t clínker.

Por tanto, como se está evaluando el cemento portland con hasta un 20% de adiciones y un 5% de yeso, la relación entre clínker y cemento queda: 0.75-0.87 ton clínker por cada 1ton cemento.

Recursos Energéticos:

Por lo que respecta al consumo energético, cabe distinguir entre energía eléctrica (kWh) y térmica. La energía térmica corresponde principalmente a la utilizada en el secador de materias primas y en los hornos de fabricación del clínker. Suelen emplearse recursos fósiles no renovables: diesel para el calentamiento y Petcoke, este último es un residuo del proceso de refinación del petróleo compuesto por 85% carbón, con un contenido de azufre de 4.5% , de manera que el combustible resultante tiene un poder calorífico de 8506 Kcal/kg. Los datos del consumo energético del Horno han sido proporcionados por los técnicos de la fábrica. (Véase tabla III.4).

Tabla III.4: Consumo de térmico del quemador del horno.

Quemador del Horno	Petcoke (ton/ton de clínker)	Diesel (kg/ton de clínker)	Kcal/kg de clínker
Línea 3	0.1013	0.4132	790
Línea 1	0.1282		1000

Así pues, de la misma forma que se ha hecho con el consumo de recursos materiales, a partir de los datos iniciales se han obtenido los valores del consumo energético de las áreas productivas referenciado en la unidad 1 tonelada de clínker que puede verse en el Anexo III.3.

A partir de estas tablas, tomando los valores medios se ha configurado el gráfico 3.1, donde se aprecia que de todas las fases, las que más consumen (de forma diferenciada) son las de la trituración del crudo, cocción del crudo y preparación del cemento, debido al elevado consumo eléctrico del molino de crudo, horno y los molino de cemento respectivamente.

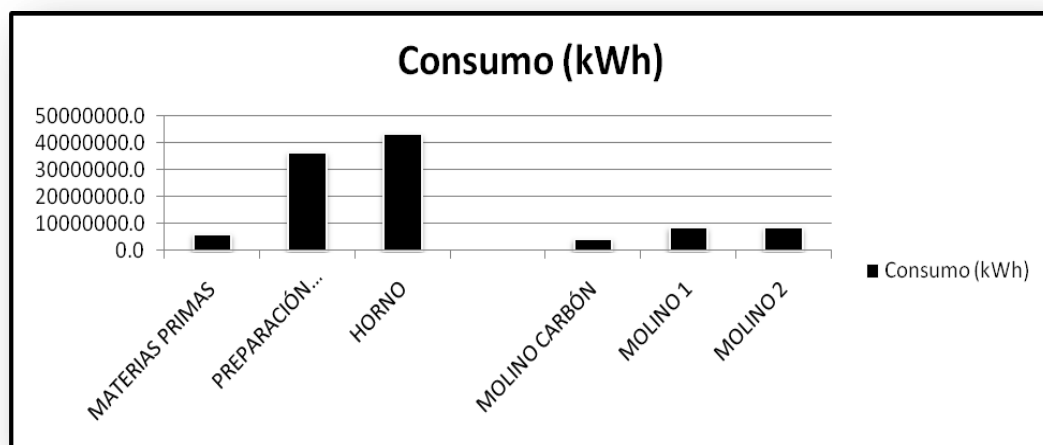


Grafico 3.1: Consumos eléctricos por área productiva.

III.2.2 Datos de Salida.

Emisiones.

Las emisiones de gases y compuestos, en general, se producen básicamente por dos factores:

1. El consumo de combustible en equipos de transporte, en los hornos y operación del secador de materias primas.
2. Las reacciones químicas que sufren las materias primas y el combustible, principalmente cuando se encuentran dentro del horno, durante la clinkerización. En particular, la descarbonatación de la caliza.

Este último genera una producción de 0.95 kg de CO₂ por tonelada de clínker, entre otros gases, correspondiendo el 40 % al combustible y el 60 % a la descomposición de la materia prima, lo que da una producción aproximada de 978 000 ton de CO₂ al año.

No se consideran otras fuentes de emisión tales como los combustibles utilizados en cantera durante la extracción de los áridos o los utilizados en los transportes internos, ni el ruido en las instalaciones porque sus niveles son relativamente bajos.

Los compuestos liberados son capaces de causar impactos ambientales en mayor o menor grado, según la cantidad que se haya emitido. El criterio seguido en el momento de escoger los que se van a tener en cuenta en el presente estudio es el siguiente: se ha escogido el CO_2 por su importante influencia en el efecto invernadero (cambio climático) y el carácter global del mismo, NO_x y SO_x por su influencia en la acidificación y eutrofización, y la contaminación del aire por partículas debido a su importante repercusión visual y directa sobre la imagen y salud del entorno y sus habitantes. Conociendo que proverbialmente, en los estudios sobre la fabricación del cemento siempre se han considerado como principales el CO_2 , los NO_x y los SO_x básicamente por dos razones:

La primera porque son los gases que se emiten en mayor cantidad absoluta a la atmósfera. Pero éste es un criterio discutible (ante todo por lo que respecta a los NO_x y al SO_x , ya que las emisiones de CO_2 sí son comparativamente muy altas) puesto que las cantidades absolutas de dos compuestos diferentes no se pueden comparar. La emisión de un compuesto más tóxico que otro puede ser más perjudicial aunque se liberen menos gramos por metro cúbico. Como ejemplo se puede citar el CH_4 , que produce un efecto invernadero a 20 años 35 veces superior al del CO_2 , a igualdad de masa.

La segunda razón es la falta de datos. Como la normativa existente hasta ahora sólo ha limitado las emisiones de SO_x , de NO_x y las de partículas, además del CO_2 regulado como convenio en el Protocolo de Kioto, tan solo se han controlado éstas.

Emisiones durante las reacciones químicas en el horno.

Los gases que salen del horno de cemento contienen principalmente nitrógeno N_2 , dióxido de carbono CO_2 , oxígeno O_2 y vapor de agua H_2O . Además, pueden contener pequeñas cantidades de compuestos de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO , NO_2), monóxido de carbono (CO) y ácido sulfhídrico (H_2S). (Labahn et al., 1985)

El azufre que contienen las materias primas y el combustible se oxida en forma de SO_2 a temperaturas por encima de 1000°C , en presencia de exceso de aire. Este compuesto

reacciona con los álcalis del crudo que se volatilizan simultáneamente formando sulfatos alcalinos, con menos volatilidad y que se descargan del horno con el clínker o las partículas de polvo. Si existe un exceso de álcalis, una alta proporción del azufre total (88-100%) introducido en el sistema del horno se combina con el clínker del cemento y el polvo del horno, de modo que en tal caso sólo una pequeña proporción (menos del 12%) se emite como SO_2 . (Labahn et al., 1985)

El monóxido de carbono CO y el sulfuro de hidrógeno H_2S se forman únicamente en condiciones de combustión incompleta, con todo, en pequeñas cantidades. Con exceso de aire se pueden formar óxidos de nitrógeno, especialmente el NO y el NO_2 , en una proporción volumétrica de 90 y 10%, respectivamente.

Los datos relacionados a las emisiones, correspondientes a las reacciones químicas en la fábrica en estudio han sido facilitadas por los técnicos de la fábrica, y los cálculos convenientes a la emisión de CO_2 por descarbonatación de la caliza, como los de NO_x y SO_x se han realizado estequiométricamente, o sea, mediante la reacción de equilibrio químico, ver Anexo III.4.

El control real de las emisiones liberadas por los gases del horno se hace, en la práctica, mediante mediciones constantes (on line) de la concentración a través de analizadores de gases. Es importante puntualizar que este control es parcial, ya que tan solo se controlan determinados compuestos.

En las tablas III.6 y el gráfico 3.2, se presentan las emisiones de los parámetros citados, en cantidad real año 2009 y con respecto a la fabricación de 1 ton de clínker. De acuerdo a las etapas de Reacción química en el horno de obtención de clínker y Combustión de los combustibles en Horno y Secador.

Cumpliendo con la obligatoriedad de unidades filtrantes y un control riguroso del nivel de emisión los resultados respecto a las emisiones de polvo se presentan en la tabla 3.7 y el gráfico 3.3.

Tabla III.6: Emisiones de gases en las diferentes fases de fabricación del cemento

HORNO	COMBUSTIÓN				DES CARBONATACIÓN	
	PETCKE		DIESEL		REAL	(t/t de clinker)
	REAL	(t/t de clinker)	REAL	(t/t de clinker)		
CO ₂ (t)	396942.33	0.387	873986.66	0.854	565511.53	0.552
SOX (t)	9743.13	0.009	5243.92	0.00512		
NOX (t)	33.59 ton		3.28277E-05 (t/t de clíner)			

SECADOR	COMBUSTIÓN			
	PETCKE		DIESEL	
	REAL	(t/t de material)	REAL	(t/t de material)
CO ₂ (t)	14424.66	0.009	727210	0.435
SOX (t)	354.06	0.00021	4363.26	0.0026

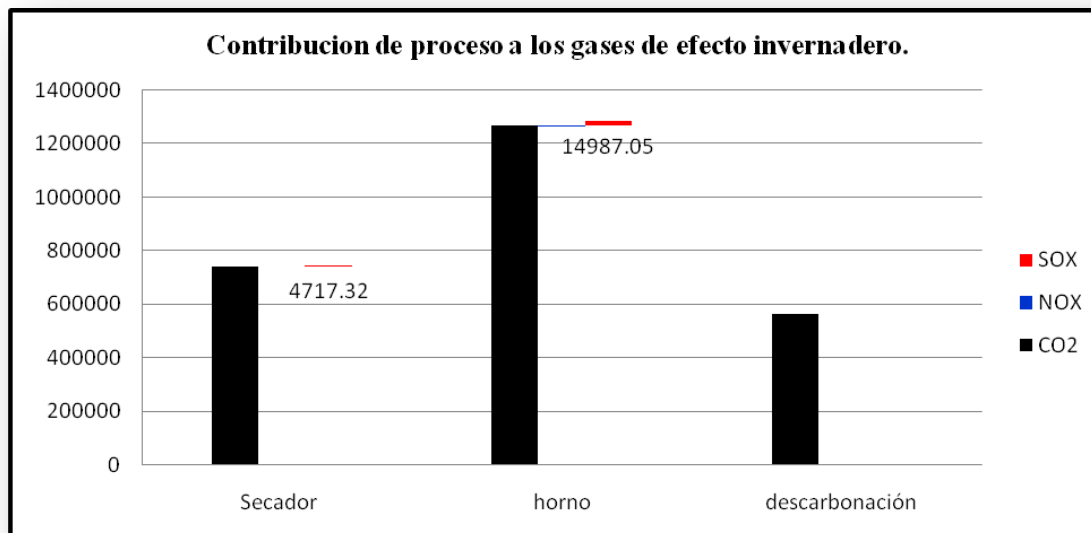


Gráfico 3.2 Procesos que contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero.

Tabla III.7: Emisiones de polvo en las diferentes fases de fabricación del cemento

Emisiones de Polvo	Toneladas	g/t de clinker
Materia Prima	61.29613807	59.90098425
Preparación de crudo	162.8258832	159.1198234
Piroproceso	117.0076782	114.3444809
Silos de clinker	4.076217	3.983438729
Molino carbón	14.6610243	14.18007194
Molinos cemento (g/t cemento)	31.91805	59.80646032

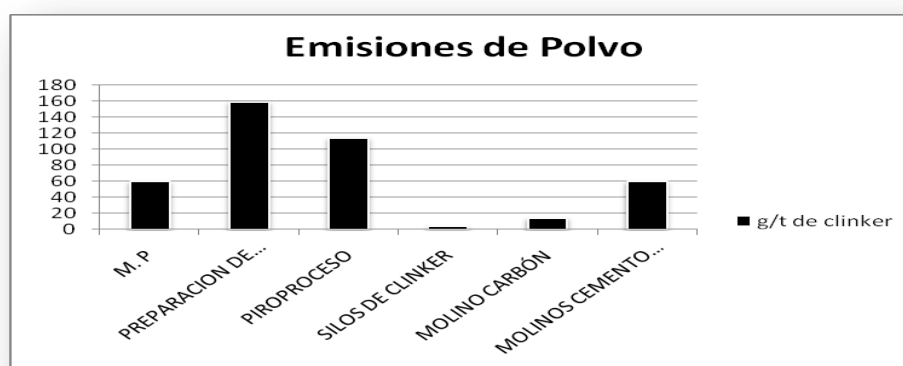


Grafico 3.3: Emisiones de polvo por área productiva.

El polvo que se genera en las canteras es importante pero no se ha contabilizado porque no se puede hacer ningún tipo de control puesto que se produce en grandes espacios al aire y la mayor parte se vuelve a depositar dentro del sitio de la cantera.

Es evidente después de este análisis que la clinkerización es la fase clave; es la fase en la que se produce un consumo energético mayor y en la que tienen lugar las emisiones principales del proceso. Así, el porcentaje de clíinker que contiene el cemento pasa a ser el factor decisivo en lo que respecta a su impacto ambiental, será la llave para conocer en qué grado se consume energía o se liberan compuestos por tonelada de cemento.

Otros compuestos también son liberados al agua, a la atmósfera y al suelo, es necesario advertir que no son mencionados por su poca relevancia, ya sea por la exigua toxicidad de la sustancia o porque se emite una cantidad ínfima.

III.3 Evaluación del Impacto.

Selección de los Métodos de evaluación de impacto.

Se procede a realizar una evaluación preliminar con los tres métodos analizados: Eco-indicador, Impact 2002+ y EcoSpeed a través del software SimaPro 7.1; con el objetivo de cotejar los resultados. Ya que cada uno posee ventajas técnicas innegables. El método Eco-indicador 99 incluye todos los aspectos necesarios a analizar pero tiene el inconveniente de que no analiza por separado la categoría cambio climático. El método Impact 2002+ es capaz de vincular las categorías de impacto con daños en un amplio rango y con mayor especificidad el cual le da un amplio poder de análisis incluyendo por separado la categoría de daño cambio climático. Aunque para determinar los efectos en el ecosistema de las emisiones asociadas a los resultados del inventario se presentaron los resultados concluyentes según EcoSpeed, respondiendo a las ventajas que implica su acomodamiento al caso específico de Cuba. Valorando que incluye la categoría Uso del agua que no se contempla en los demás.

III.3.1 Presentación de los resultados del Análisis del inventario.

Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida con Ecoindicador 99.

Resultantes de la aplicación de este método se muestra en las tablas que aparecen en el Anexo III.5, la comparación entre los procesos llevados a cabo para la producción de cemento, en las distintas categorías de impacto y categoría de daño, respectivamente.

Los resultados apunta a que el proceso de mayores afectaciones sobre las categorías de impacto es la producción de **clínker (Piroproceso)**, seguido muy de cerca por la producción de cemento P-350 y PP-250 debido al alto contenido de clínker que poseen estas mezclas. El proceso de **Trituración y Secado de caliza** impacta por el consumo de combustibles del secador y por las significativas cantidades de este árido a utilizar en la

producción de 1t de clínker. **Preparación del crudo** también tiene un consumo de electricidad considerable por concepto de trituración y molienda del crudo.

El gráfico 3.4 homologa la puntuación que tiene cada uno de los procesos en las distintas categorías de impacto, donde las más relevantes son: Combustible Fósil y Respiración de Inorgánicos, además de Cambio climático. El Anexo III.5 refleja este mismo estudio, pero la puntuación es por categorías de daño y concuerda con el anterior, debido a que las mayores incidencia se reflejan en el proceso de clínker sobre los recursos naturales por consumo de combustible fósil y sobre la salud humana por una fuerte influencia de las partículas en suspensión generadas.

Evidentemente todo el análisis hecho a través de este método, indica que el proceso que más perjuicios genera en la producción de cemento es Piroproceso. Incidiendo en las categorías de impacto y de daños fundamentalmente sobre los elementos: Combustibles fósiles, Respiración de inorgánicos y Cambio climático; afectando principalmente los Recursos y la Salud humana. En las tablas y gráficos del Anexo III.5 se muestran los principales procesos y sustancias causales de dichos efectos, estos son los relacionados con los Aceites y lubricantes, la producción de Energía eléctrica y la generación del Petcoke. Resultando problemáticos por las emisiones al aire de SO_x , partículas en suspensión, NO_x principalmente.

Determinándose que las sustancias de mayor impacto son generadas por el mismo uso de estos combustibles y el alto consumo energético del proceso. La emisión de SO_x , NO_x , CO_2 , etc. son un producto mayormente de la combustión, y la descarbonatación de la caliza en los hornos y secadores.

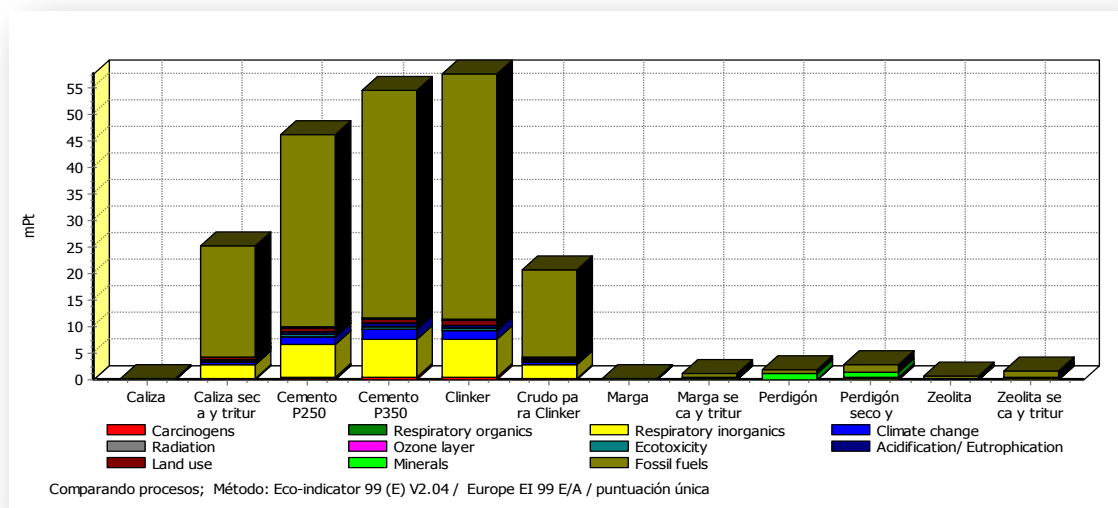


Gráfico 3.4: Comparación de procesos según el método Eco-Indicador 99 (E) V2.04 / Europe EI 99 E/A. Indicador: puntuación única por categoría de impacto.

La producción de cemento se realiza fundamentalmente a partir de clínter, a su vez para la producción de 1 tonelada de clínter la materia prima de mayor contribución es el crudo para clínter, un producto que físicamente tiene la consistencia de la harina y contiene la dosificación de minerales exactas para dar lugar al clínter. Otro material con una importante contribución de 31.5% es el Petcoke, usado como combustible en los hornos y el secador; como se muestra en la red del Anexo III.6.

Para lograr mayor exactitud y certeza de la información reunida hasta aquí se realiza el mismo análisis anteriormente expuesto a través del método Impact 2002+, este método utiliza una combinación de enfoque punto medio/daños.

En las tablas y gráficos del Anexo III.7 se exponen la ponderación por categorías de impacto y de daños. Sin embargo, en el gráfico 3.6 a continuación, se detalla de forma más clara y precisa este mismo razonamiento; corroborando que el proceso **clínter** es el que más impacta, seguido por **cemento P-350 y PP-250** por las características que se explicaban anteriormente, principalmente en las categorías Energía no renovable, Respiratorios inorgánicos y Calentamiento global, después de estos, Trituración y Secado de la caliza y Crudo para clínter impactan en menor medida a las mismas condiciones. La comparación

por categorías de daño de igual forma, refleja el proceso de clinker como el de mayores incidencias sobre los recursos naturales por consumo de combustible fósil, sobre la salud humana por una fuerte influencia de las partículas en suspensión generadas y cambio climático.

En el Anexo III.7 se figuran los procesos y sustancias que más inciden en las categorías de impacto sobresalientes. Donde se observa que el 50% del impacto total sobre el calentamiento global se imputa al consumo de aceites y lubricantes y Petcoke que generan importantes emisiones de dióxido de carbono. La influencia del consumo de energía eléctrica es considerable ocasionado, principalmente, por el consumo en los procesos de molienda (61% del consumo eléctrico total), variando en función de la dureza de los materiales y, en general, de sus propiedades mecánicas.

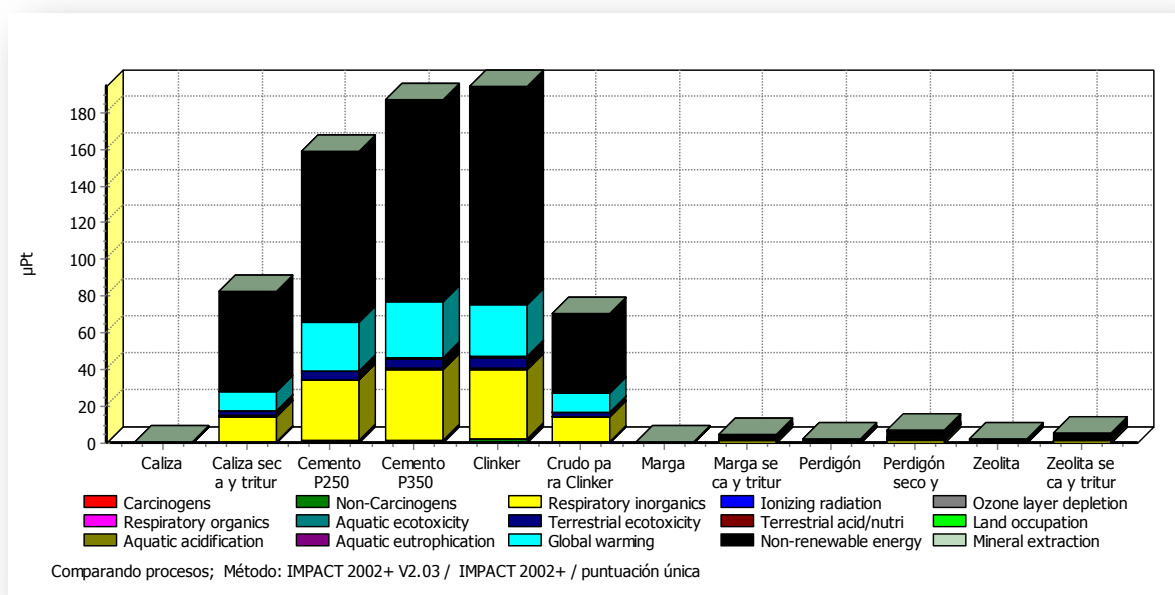


Gráfico 3.5: Comparación de procesos según Método IMPACT 2002+. Indicador: Puntuación única por categoría de impacto.

Por último, el análisis efectuado a través de Eco-Speed se muestra en las tablas y gráficos que aparecen en el Anexo III.8: la comparación entre los procesos llevados a cabo para la producción de cemento, en las distintas categorías de impacto y categoría de daño,

respectivamente. Los resultados coinciden con los anteriores (ver gráfico 3.6), el proceso de mayores afectaciones sobre las categorías de impacto es la producción de **clínker (Piroproceso)**, seguido muy de cerca por la producción de cemento P-350 y PP-250 las cuales arrastran con el impacto del clínker que es su producto intermedio. Le suceden el proceso de **Trituración y Secado de caliza** y **Preparación del crudo** por los motivos antes expuestos. Aunque en el grafico se aprecia un ligero incremento en el cemento P-350 con respecto al clínker es solo una prueba más de que este último método es capaz de registrar hasta el incremento del uso de la energía en los molinos de cemento. Pero como se puede ver en el grafico 3.6 las categorías de impacto son diferentes, las más relevantes son: Carcinógenos en el aire, (categoría dentro de la cual se encuentra contenida la Respiración de Inorgánicos y Orgánicos); Uso de la Energía y Calentamiento Global. Además de una incidencia sino relevante por lo menos apreciable sobre el Uso del agua, que se utiliza en los sistemas de enfriamiento y no se consideran problemáticas porque el sistema permite su reutilización en un circuito cerrado que no presenta pérdidas significativas.

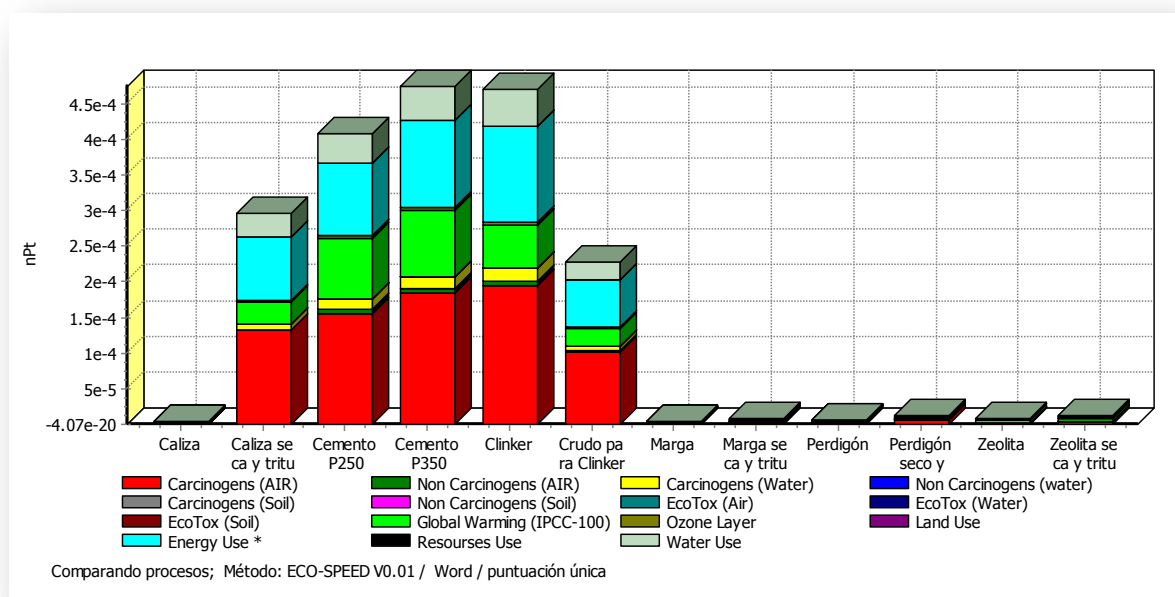


Gráfico 3.6: Comparación de procesos según Método Eco-Speed. Indicador: Puntuación única por categoría de impacto.

III.4 Propuesta de mejora y análisis de factibilidad técnica.

A modo de resumen los impactos manifestados por el Análisis de Ciclo de Vida, se ordenan de acuerdo a la prioridad que le concede cada método y se presentan en el Gráfico 3.8 a través de un Diagrama de Pareto. Las categorías de agrupan de esta forma:

1. Carcinogens (AIR), Non-renewable energy, Fossil fuels.
2. Energy Use, Respiratory inorganics, Respiratory inorganics.
3. Global Warming (IPCC-100), Global warming, Climate change.
4. Water Use, Terrestrial ecotoxicity, Land use.
5. Carcinogens (Water), Non-Carcinogens, Ecotoxicity.

Donde es posible comprobar que las categorías de impacto causantes del impacto ambiental que genera la producción de 1t de clínker son, en orden de prioridad, el uso de energías no renovables, la respiración de sustancias inorgánicas y el calentamiento global.

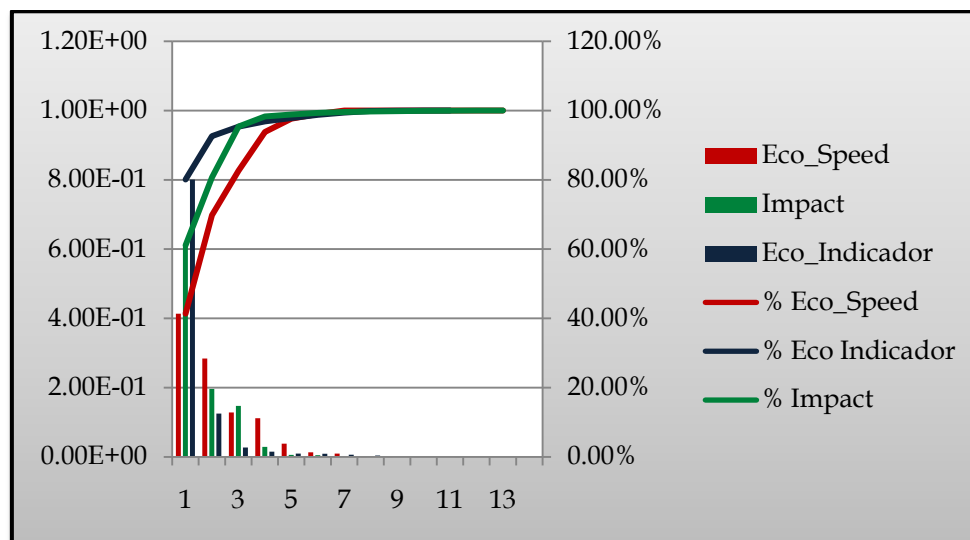


Gráfico 3.8: Diagrama de Pareto resumen con la ponderación obtenida para las categorías de impacto por los tres métodos seleccionados.

Siendo el sector de la construcción una industria que genera tanto volumen de residuos y tantos consumos la posibilidad de diseñar y construir miembros estructurales que duren 500

años o más en lugar de 50, representaría un incrementando sustancial de la productividad de sus recursos. El cemento ocupa un papel predominante con respecto a los demás materiales y procesos en el trazado del perfil medioambiental del hormigón y el continuo desarrollo de otros materiales (cerámicos, plástico, acero), hace que la investigación y desarrollo del cemento y del concreto, busque implementar nuevas técnicas para no perder competitividad. En este orden de ideas, el uso de las adiciones se convierte en un factor clave para el desarrollo de productos sostenibles. Aquí radica el futuro inmediato de los cementos.

La activación alcalina es una de las principales líneas de trabajo a nivel global. El desarrollo de la investigación de aditivos dirigido a mejorar las propiedades del cemento se ha venido incrementando en la actualidad. La presente proposición responde a los resultados obtenidos y está dirigida a mejorar el impacto ambiental del cemento actualmente producido en la fábrica de cementos Cienfuegos. S.A a través del aumento del % de adiciones puzolánicas al cemento creando una nueva oferta con similares propiedades físicas, que implicaría la reducción del factor clínker, y por ende la reducción de los impactos asociados.

Debido al amplio campo de posibilidades de las adiciones minerales activas, este trabajo se concentrará solamente en algunas de las clasificadas como “puzolánicas”, en específico las puzolanas naturales. Puzolana, según el criterio de Lea⁶ es el material silíceo que no siendo aglomerante por sí mismo -o en muy baja magnitud- contiene elementos que se combinan con la cal en presencia del agua, a temperaturas ordinarias, formando compuestos de escasa solubilidad que presentan propiedades aglomerantes.

En el país existe un gran potencial de puzolanas naturales, con numerosos yacimientos de rocas zeolitizadas y de vidrio volcánico diseminado por prácticamente todo el territorio nacional, las cuales generalmente muestran una elevada actividad puzolánica.

⁶ ("Proceedings of the Symposium on the Chemistry of Cement". Lea FM Stockholm - 1938)

Le Chatelier en 1897 había ya notado que cuando el cemento portland se hidrata se libera cierta cantidad de óxido de calcio (cal hidratada) que daña la resistencia y puede ser removida por el agua. Los materiales silíceos, como la puzolana, al ser finamente pulverizados reaccionan con dicho hidróxido de calcio formando silicato de calcio hidratado. Las puzolanas, incorporadas dentro del CPP (cemento portland puzolánico) tienen la capacidad de formar productos de hidratación a través de una reacción secundaria donde se combinan con el $(OH)_2Ca$ formado durante la hidratación del clínker, denominada primaria, resultando compuestos SCH (sílico-calcáreos-hidratados). Durante la hidratación de las puzolanas no hay generación de $(OH)_2Ca$.

En el mismo sentido, a medida que avanza el proceso de hidratación, la cal libre disminuye, lo que indica la formación de productos de hidratación (en su mayor parte SCH y aluminosilicatos de calcio en menor medida) a partir de la puzolana. Es evidente que el uso de una puzolana asegura, no solamente una menor cantidad de cal libre en la pasta de cemento(fija la cal libre, eliminando así un peligro en ambientes agresivos) sino que además se obtiene un mayor volumen de productos SCH por lo cual adquiere –a igual relación agua/cemento- una elevada densidad que se traduce en una menor porosidad de la pasta debido a un refinamiento de poros y, consecuentemente, menor permeabilidad respecto del CPN (cemento portland normal) producido a partir del mismo clínker portland. Esto significa la obtención de una pasta de cemento más compacta, resistente y durable. Precisamente sobre estas características de los cementos vamos a abundar a continuación.

III.4.1 Prescripciones físicas y mecánicas de los cementos.

Las características físicas y mecánicas más importantes son: fraguado, expansión, finura de molido y resistencia a compresión. (Gili Gustavo 2000)

a) Fraguado

La velocidad de fraguado de un cemento viene limitada por las normas estableciendo un período de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual deben producirse el principio y el fin del fraguado. Ambos conceptos se definen de un modo convencional, mediante la aguja

de Vicat, ya que el fraguado es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento sin solución de continuidad. Según la Norma Cubana (95-2001) el fraguado final debe ser menor a 10h.

El fraguado es tanto más corto y rápido en su comienzo cuanto más elevada es la finura del cemento. La meteorización de éste (almacenamiento prolongado), aumenta la duración del fraguado. La presencia de materia orgánica (que puede provenir del agua o de la arena) retrasa el fraguado y puede llegar a inhibirlo. A menor cantidad de agua de amasado, así como a mayor sequedad del aire ambiente, corresponde un fraguado más corto.

b) Expansión

Los ensayos de estabilidad de volumen tienen por objeto manifestar, a corto plazo, el riesgo de expansión tardía que puede tener un cemento fraguado debida a la hidratación del óxido de calcio y/o del óxido de magnesio libres. Según la Instrucción para la Recepción de Cementos, RC-9, la expansión de cualquier tipo de cemento no debe ser superior a 10 milímetros.

c) Finura de molido

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que, en general, resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a la aguas agresivas. Pero siendo así que las resistencias mecánicas aumentan con la finura, se llega a una situación de compromiso: el cemento portland debe estar finamente molido, pero no en exceso. Lo deseable es que un cemento alcance sus debidas

resistencias, a las distintas edades, por razón de calidad del clinker más bien que por razón de finura de molido. La nueva normativa, tanto europea como española, no incluye en sus Pliegos prescripciones para la finura de molido.

La superficie específica Blaine de los distintos cementos está comprendida, generalmente, entre 2500 y 4000 cm²/g. El cemento debe tener no más de 10% de retenido en mallas de 90 micras (4900 huecos por cm²).

d) Resistencias mecánicas

Como resistencia de un cemento se entiende la de un mortero normalizado, amasado con arena de características y granulometría determinadas, con relación agua/cemento igual a 0,5, en las condiciones que especifica la Norma UNE 80.101, que es análoga a la europea EN 196-1.

Las probetas son prismáticas de 4 x 4 x 16 cm³. Se rompen primero a flexotracción con carga centrada y luego, cada uno de los trozos resultantes, se rompe a compresión sobre superficie de 4 x 4 cm². Las roturas se efectúan normalmente a 3, 7 y 28 días.

La resistencia mecánica de un hormigón será tanto mayor cuanto mayor sea la del cemento empleado. Pero esta característica no es la única que debe buscarse, ya que por sí sola no garantiza otras igualmente necesarias, o incluso más, como por ejemplo la durabilidad.

Actualmente la fábrica produce cemento portland Tipo I y Tipo II de acuerdo a la Norma Cubana 95-2001, comercialmente conocidos como P-350 y PP-250, el producto se designa con las letras que inician el nombre, separadas por un guión del valor numérico de la resistencia a la compresión a los 28 días expresada en kgf/cm².

Los cementos portland (tipo I) se obtienen por molturación conjunta de clinker portland, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y, eventualmente, hasta un 5% de adiciones. Estas adiciones pueden ser una o varias entre puzolana natural.

Los cementos portland con adiciones (tipo II), tienen un comportamiento intermedio entre los portland tipo I, por un lado, y los cementos de horno alto o puzolánicos, por otro. Estos

cementos tienen las mismas clases resistentes que los cementos tipo I pero contiene hasta un 20% de puzolana. En el Anexo III.6 proporciona algunas recomendaciones, de carácter general, para la utilización de los distintos tipos de cemento, con indicación de sus características principales y sus limitaciones.

III.4.2 Variante I

Se propone la implementación de un cemento muy similar físicamente al P-350 denominado PP-350, portland puzolánico, con una composición de 80% de clinker, 5% de yeso como regulador de fraguado y 15% de toba zeolítica como aditivo. Y la producción de un cemento alternativo al PP-250 denominado PZ- 250 con diferente composición química: 57% de clinker, 5% de yeso como regulador de fraguado y 38% de toba zeolítica como aditivo.

La posibilidad de sustituir clinker en fábrica tiene sus límites físicos, para evitar que se afecten las propiedades del producto. Por lo que para garantizar que ambos cementos conservarán similares propiedades físicas a los actuales a pesar de su variación química, se incrementará ligeramente la finura de molido a más de $3400 \text{ cm}^2/\text{g}$ en busca de una mayor superficie específica de reacción, que hace aumentar la reactividad del cemento, y por ende su resistencia inicial

Este nuevo cemento PZ-250 clasificaría entre los Cementos puzolánicos según la Norma cubana 96:2001.

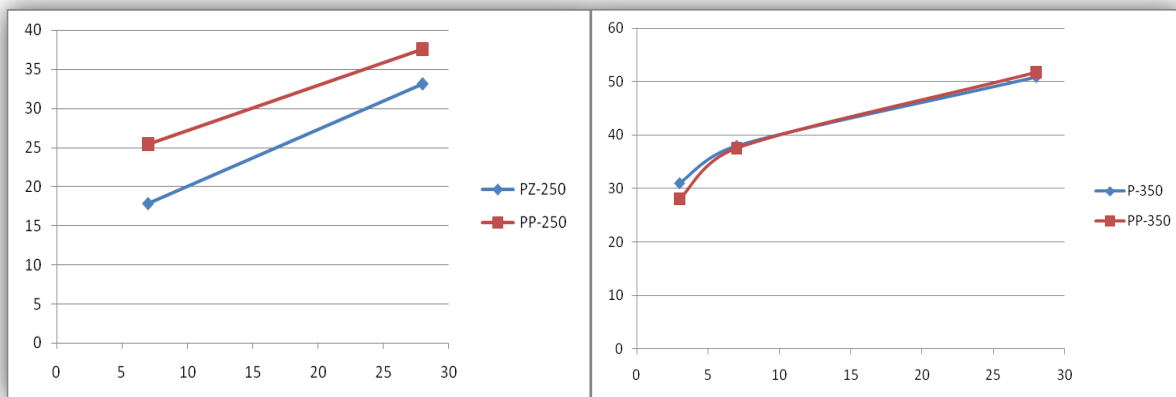
La Norma Cubana NC 96-2001. Cemento Portland con adición activa. Especificaciones, establece dos grados de calidad para el cemento Portland Puzolánico: Cemento Portland Puzolánico 250 (PP 250) y Cemento Portland Puzolánico 350 (PP 350), ambos con un % adición a entre 6 y 20. Además una sola calidad para el Cemento Puzolánico 250, PZ 250, con una cantidad de adición activa entre 21 y 40 %. (Véase características en el Anexo III.8).

Los cementos mencionados, a nuestro juicio, si bien pueden usarse indistintamente en muchas obras, tienen campos propios donde ofrecen ventajas técnicas indiscutibles y

superan económicamente los actuales, como lo prueban los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados a la probetas de los cementos PP-350 y PZ-250 y cuyos resultados se presentan en el Anexo III.9 y se pueden visualizar en el gráfico 3.9.

Las ventajas técnicas a las que se hace referencia pueden resumirse de esta forma: el cemento puzolánico mejora la docilidad del concreto, permitiendo su fácil puesta en obra (encofrados), disminuye la exudación de las mezclas y la tendencia a la segregación, produce concretos más plásticos, de alta resistencia final, baja permeabilidad, reducido calor de hidratación y gran durabilidad pero, en contraposición requiere más agua de mezcla que los portland normales para la misma consistencia y exhibe mayor retracción durante la hidratación. El hormigón elaborado a partir de CPP mayor resistencia a los sulfatos, presenta un desarrollo de resistencia más “lento” que las otras opciones, no obstante luego de 90 días de edad, iguala la resistencia del CPN y la superará a partir de esa edad. (Becker Edgardo 2002)

Grafico 3.9: Desarrollo de resistencia a la compresión en el tiempo para ambos cementos.



Además el Ministerio de la Construcción desarrolló hace unos años una investigación sobre la durabilidad en ambiente marino de hormigones elaborados con el cemento P-350 y PP-250 de la fábrica Mártires de Artemisa, en la que se demostró que el cemento PP-250 de la fábrica Mártires de Artemisa puede ser utilizado en hormigones armados con resistencia característica a compresión de hasta 25 MPa, que van a estar expuestos al ambiente marino,

con aditivos superplastificantes y relaciones agua/cemento de 0,4. Siempre que se cumplan las exigencias técnicas establecidas en el Reglamento Técnico de Control de Calidad del Hormigón y en la Norma Cubana NC 120:2004 “Hormigón hidráulico – Especificaciones”. La producción y comercialización de estos nuevos cementos: PP-350 y PZ-250 acarrearía una disminución de un 10% y un 20% respectivamente en el consumo de clínker, que por ser el proceso clave del ciclo de producción implicaría significativos ahorros económicos, energéticos y ambientales. Fundamentados en que el costo de los aditivos es sustancialmente inferior al costo del clínker; casi el 90 % de la energía consumida en el sistema corresponde a la producción de clínker consecuentemente los cementos que utilizan menores cantidades de clínker consumen menos energía y luego como también las emisiones de SO_x , NO_x , CO_2 dependen del tipo de cemento, o mejor dicho, de la cantidad de clínker que tiene el cemento, impactaría positivamente en las categorías de impacto que se analizaron anteriormente. Como se demuestra en los Gráficos 3.9 y 3.10.

Como se puede apreciar las disminuciones de los impactos son proporcionales a la reducción de clínker. El impacto a Carcinógenos Aire en la variante del cemento PP-250, (por emisiones de CO_2) por ejemplo, experimenta una disminución de 0.000156Pt a 0.000122Pt, equivalente a un 22%; calentamiento global (por emisiones de CO_2) disminuye de $8.54 \cdot 10^{-5}$ Pt a $7.48 \cdot 10^{-5}$ Pt. Se concluye que con esta medida se estrecha considerablemente el impacto ambiental al reducir el uso de energía no-renovables de 0.000102Pt a 0.0000785Pt, equivalente a una disminución de 23%. Interpretado esto en unidades de masa se dejan de emitir a la atmósfera 8 065t de CO_2 y con respecto al PP-350, 31 055t de CO_2 .

En esta variante el impacto continúa dependiendo sustancialmente de las emisiones al aire, mayormente por la combustión y la descarbonatación, aspectos sobre los que se deben realizar futuras investigaciones. En busca de nuevas tecnologías y de otros residuos de procesos industriales que puedan ser utilizados con los mismos fines. Evaluando siempre su composición en cuanto a azufre, metales pesados, las posibles emisiones que puedan generar, para así seguir disminuyendo el impacto ambiental del ciclo de vida del cemento y optimizar la eco-eficiencia y sostenibilidad de dicha producción.

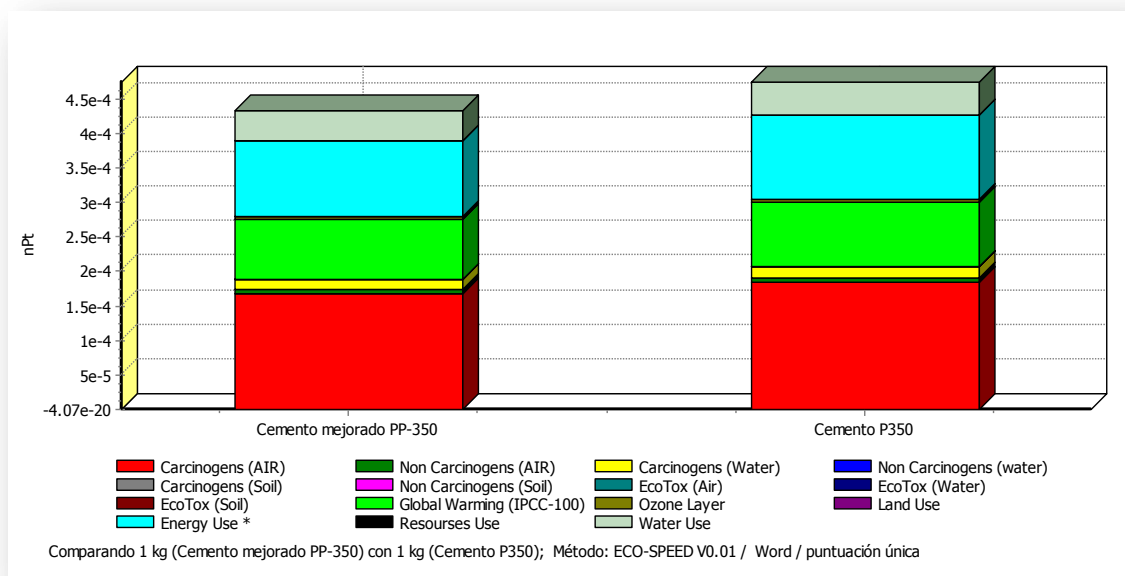


Gráfico3.9: Comparación del proceso de producción de Cemento P-350 y PP-350 según Método Eco-Speed: Puntuación única por categoría de daño.

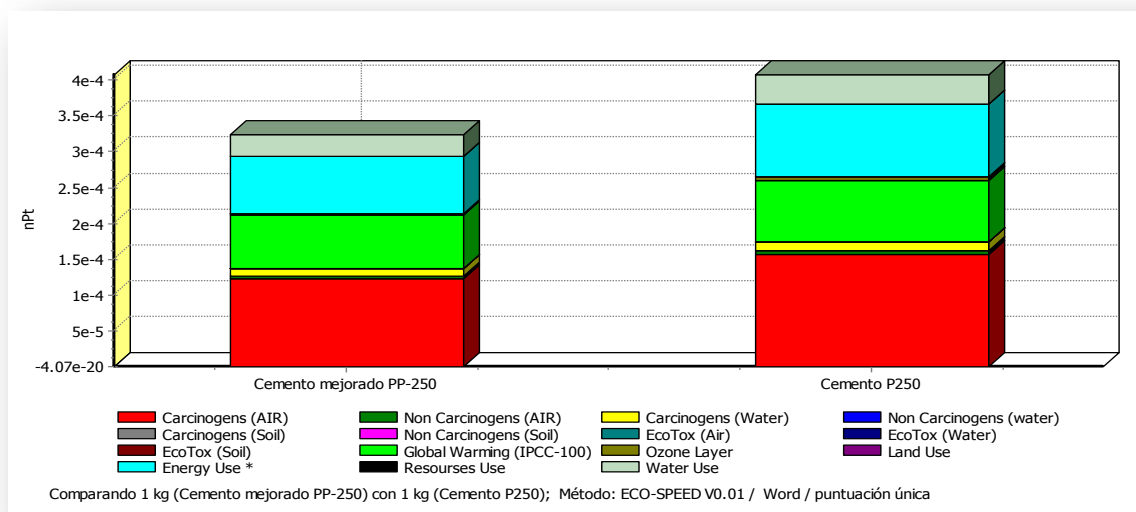


Gráfico 3.10: Comparación del proceso de producción de Cemento PP-250 y PZ-250 según Método Eco-Speed. Indicador: Puntuación única por categoría de daño.

A continuación se dan los elementos necesarios para demostrar la factibilidad técnica y **económica** de la solución planteada.

III.4.3 Impacto Económico

En todos los casos la unidad de cemento puzolánico tendrá un menor costo que el correspondiente normal, por cuanto se ha reemplazado un elevado porcentaje de clinker por puzolana que tiene un costo de fabricación muy inferior.

Esta acción de mejora no involucra cambio tecnológico ni nuevas inversiones, aunque si implicaría un aumento de aproximadamente un 2.5% del consumo eléctrico de los molinos de cemento e incrementos de los costos en el proceso de materia prima, por trituración y secado de la puzolana. Constituyéndose aun así una alternativa factible económica, tecnológica y ambientalmente. En la tabla III.9 se presenta el ahorro en unidades producto de la rebaja del factor clinker con respecto a los consumos reales del año 2009.

Tabla III.9: Disminución de los consumos concernientes a la producción de cementos.

Disminución	10%	18%
Consumo de clinker (t)	40,862.10	10,612.08
Consumo eléctrico hasta clinker (kwh)	3,730,709.73	968,882.90
Consumo calórico (t)	4,494.83	1,167.33
Consumo de combustible (kg)	17,570.70	4,563.19
Emisión de CO ₂ (t)	38, 819.00	10,081.48
Emisión de NO _X (t)	1.34	0.35
Emisión de SO ₂ X(t)	786.84	204.34

Esta disminución de un 10% y un 20% respectivamente en el consumo de clinker habría significado en el año 2009 alrededor de 51 000 toneladas de clinker menos a producir, implicando un ahorro de 2 148 630 millones de dólares, paralelo a 49,220.06 toneladas menos de CO₂, 1.69 toneladas menos de NO_x y 991.18 toneladas menos de SO_x a la atmosfera además de los correspondientes ahorros energéticos.

Si este año 2010 se balanceara la producción planificada de cemento de la forma que se propone a continuación implicaría un ahorro a la empresa en el orden de los millones. Como se muestra en la tabla III.10.

Propuesta de distribución de la producción de cementos.

P-350 30%	PP-350 70%	PP-250 50%	PZ-250 50%
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Este mismo análisis en otra dirección podría considerar: mantener fijas las cantidades de clínker destinada a la producción de cemento. Esto redundaría en un aumento de la producción en el orden de las 44 160 toneladas de cemento que reportarían un beneficio por su venta, considerando hacerlo aun al precio más bajo, que es de \$71,5 la tonelada, de 3 157 444.63 CUC.

Podemos ultimar así que la minimización del uso de materiales, la maximización de la durabilidad del producto, y la reducción del costo incrementará no solamente la satisfacción del cliente y el valor del producto, sino también el beneficio de la empresa y del medio ambiente.

Tabla III.10: Análisis de la variación de los consumos y costos de la producción en el año 2010 con respecto a la propuesta en estudio.

	CEMENTO P350		CEMENTO PP250		Totales	Diferencia	Precio Unit.	Importe
	P-350	PP-350	PP-250	PZ-250				
Producción Propuesta	124,809	291,222	68,167	68,167	552,365			
Producción Planificada 2010	416,031		136,334		552,365			
Consumo de clínker Propuesta	112,067	235,341	51,125	41,923	440,457	33,425	42.13	1,408,212
Consumo de clínker Plan 2010	370,268		103,614		473,882			
Consumo eléctrico hasta clínker Propuesta	10,414,415	21,870,271	4,751,069	3,895,877	40,931,632	3,106,223		
Consumo eléctrico hasta clínker Plan 2010	34,409,005		9,628,849		44,037,854			
Consumo calórico Propuesta (t)	12,301	25,833	5,612	4,602	48,348	3,665	98.28	
Consumo calórico Plan 2010 (t)	40,641		11,373		52,013			
Consumo de combustible Propuesta (t)	80,240	168,504	36,606	30,017	315,367	24	1,264.2	30, 256
Consumo de combustible Plan 2010 (t)	265,112		74,188		339,300			
Consumo eléctrico del molino Propuesta (kwt)	5,090,971	12,175,906	2,780,532	2,850,045	22,897,455	336,487		
Consumo eléctrico del molino Plan 2010	16,969,904		5,561,064		22,530,968			
Nueva Producción de CO2 Propuesta	107,160	225,035	48,886	40,087	421,168	31,962		
Nueva Producción de CO2 Plan 2010	354,053		99,077		453,130			
Nueva Producción de NOX Propuesta	3.68	7.73	1.68	1.38	14.46	1.10		
Nueva Producción de NOX Plan 2010	12.16		3.40		15.56			
Nueva Producción de SOX Propuesta	2,157.30	4,530.32	948.16	807	8,478.79	646.23		
Nueva Producción de SOX Plan 2010	7,129.84		1,995.18		9,125.02			
Consumo de Puzolana Propuesta	5,972	43,683	13,634	25,903	89,192	-41,783	2.85	-119,082
Consumo de Puzolana Plan 2010	24,184		23,225		47,409			

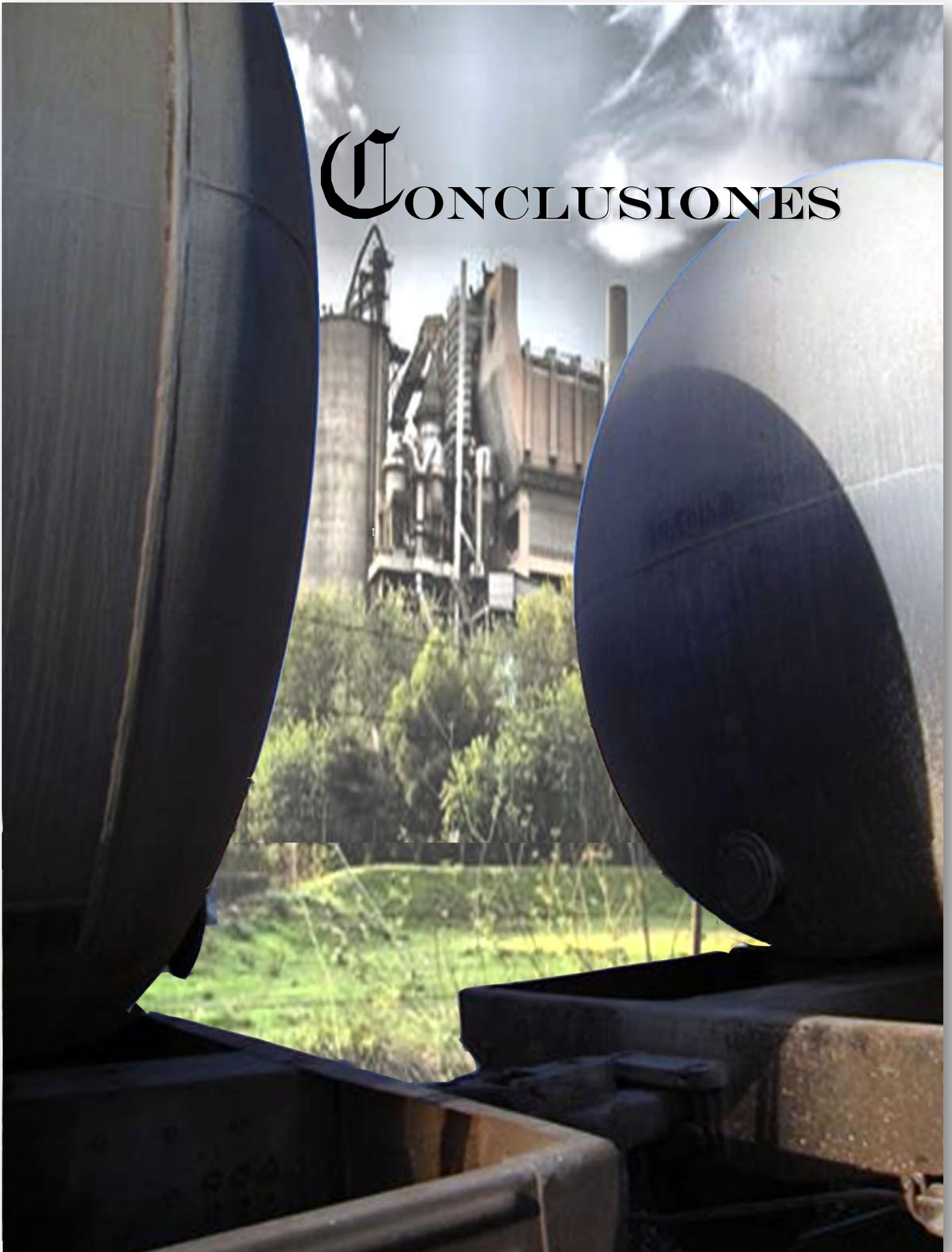
Conclusiones parciales:

1. La caracterización de los impactos ambientales originados en la fabricación de 1 tonelada de cemento de diferentes tipos, realizada de acuerdo a la metodología de ACV, con el uso del software SimaPro 7.1; demostró que las categorías de impacto más afectadas son: Carcinógenos en el Aire, el calentamiento global y el uso de energías no-renovables, lo que implica que las categorías de daño más afectadas sean la salud humana, los recursos y el cambio climático.
2. Por lo que respecta a las fases de fabricación del cemento, el área Piroproceso es el punto de mayor repercusión, por el hecho de que es donde se produce proporcionalmente el mayor consumo energético y la mayor parte de las emisiones. Es el horno, durante este proceso que da lugar a la transformación del material crudo en clínker, responsable por el 87% del consumo energético de todo el proceso y el 95% de las emisiones del CO₂.
3. Las emisiones de CO₂ son cuantitativamente importantes y se sitúan en el orden de los 0.9ton de CO₂ emitidos en la producción de 1 ton de clínker, superando en órdenes de magnitud a las otras fuentes; tanto por las reacciones químicas que se originan, como por la quema de los combustibles fósiles. Lo cual justifica que la producción de cemento sea una fuente relevante de CO₂, y por lo tanto, del efecto invernadero.
4. En el caso de la respiración de sustancias inorgánicas, los principales contribuyentes son el SO₂, el polvo de crudo y Petcoke, también originados mayoritariamente en la producción de clínker. Las emisiones de SO₂ se sitúan en el orden de los 16 kg por tonelada de clínker.
5. Como variante de mejora ambiental se propone la implementación de un cemento alternativo al P-350 denominado PP-350, portland puzolánico; y la producción de otro cemento muy similar al PP-250 denominado PZ- 250, con similares propiedades físicas de los actuales a pesar de su diferente composición química.
6. Comprobándose con esta variante que se reducirá, en alrededor de un 28%, el consumo actual de clínker para hacer cementos, dejándose de emitir al año

alrededor de 31 962 ton de CO₂ y 646.23 ton de SO₂⁷. Demostrándose la factibilidad técnica, económica y ambiental de esta propuesta, que favorecería a la empresa con un beneficio de 1 917 771 dólares y un ahorro de electricidad de 2 739 736 kWh

⁷ Datos en función de la producción planificada para el año 2010.

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES GENERALES

1. El ACV de la producción de cemento con el uso del software SimaPro 7.1 y los métodos Ecoindicador , Impact 2002+ y Eco-Speed, mostró que el proceso de mayores cargas ambientales *es la producción de clínker*; donde se produce proporcionalmente el *mayor consumo energético* y la *mayor* parte de las *emisiones de gases* que impactan al medio ambiente, tanto por las reacciones químicas que origina la descarbonatación de la caliza, como por la quema de los combustibles fósiles.
2. Las categorías de impacto más afectadas son: uso de energías no renovables, respiración de sustancias inorgánicas y calentamiento global. Lo que implica que las categorías de daño más afectadas sean los recursos, la salud humana y el cambio climático.
3. Como variante de mejora ambiental se propone la implementación de un cemento alternativo al P-350 denominado PP-350, portland puzolánico; y la producción de otro cemento muy similar al PP-250 denominado PZ-250, con una variación en su composición química que contiene como aditivo tobas zeolíticas de un 20-38%. Los cementos mencionados, si bien pueden usarse indistintamente en muchas obras, tienen campos propios donde ofrecen ventajas técnicas indiscutibles y superan económicamente los actuales.
4. Se estima con esta variante que se reducirá, en alrededor de un 28%, el consumo actual de clínker para hacer cementos, dejándose de emitir al año alrededor de 31 962 t de CO₂ y 646.23 t de SO₂. Demostrándose la factibilidad técnica, económica y ambiental de esta propuesta, que favorecería a la empresa con un beneficio de 1, 679,607 CUC y un ahorro de electricidad de 2, 739,736 kWh.

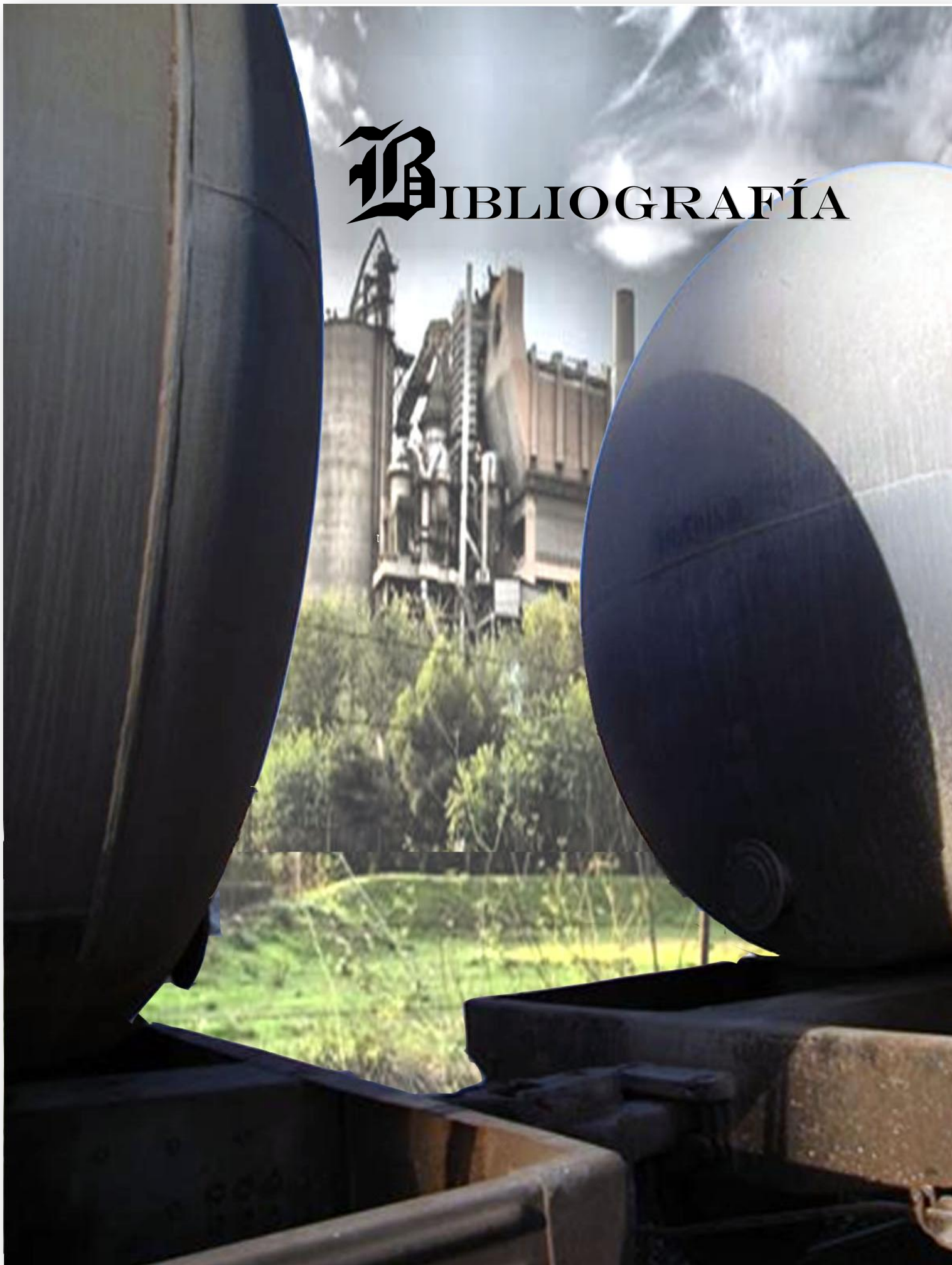
RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

1. Promover o profundizar estudios en el territorio nacional en busca de residuos industriales hábiles para el uso como combustibles alternativos en los hornos de clinker y en cantidad significativa para corresponder a la demanda actual de las fábricas de cemento. Propiciando la disminución del consumo de combustibles fósiles y las importaciones.
2. Suscitar que la tendencia en la normativa actual sea a que los cementos se controlen por desempeño, para determinar que efectivamente se están produciendo para que cumplan con las características de obra o de necesidades.
3. Propiciar que la industria de conjunto con el gobierno, acompañe el desarrollo de nuevos mercados internos para estos cementos más limpios y económicos, aprovechando necesidades específicas o simplemente visualizando o creando necesidades.
4. Evaluar alternativas para el desarrollo prospectivo de la industria del cemento en las condiciones que se avizoran en el futuro mediano e inmediato, teniendo en cuenta las limitantes de la producción en lo relativo a materias primas, combustible, y sobre todo al impacto ambiental. Estas alternativas deben dirigirse no sólo a la actividad industrial, sino a todo el espectro de esferas desde las cuales pueden surgir soluciones al grave reto que enfrenta esta industria.

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

AFCP - ASOCIACIÓN de FABRICANTES de CEMENTO PORTLAND ::: Available at: <http://www.afcp.org.ar/index2.php?IDM=14> [Accessed May 24, 2010].

Análisis de ciclo de vida -- EcoDiseño Centroamérica. Available at: <http://www.cegesti.org/ecodiseno/ciclo.htm> [Accessed May 24, 2010].

Analisis Del Ciclo De Vida. Available at: <http://www.mitecnologico.com/Main/AnalisisDelCicloDeVida> [Accessed May 24, 2010].

Cementos Especiales. Available at: <http://www.arqhys.com/articulos/cementos-especiales.html> [Accessed May 24, 2010].

Definición de Eutroficación - Diccionario de Medio ambiente acuático - Glosario. Available at: <http://www.vitalis.net/Glosario.htm#Recursos%20Naturales> [Accessed May 25, 2010].

El Protocolo de Montreal. Available at: [Accessed May 25, 2010].

Evaluación del ciclo de vida (LCA). Available at: http://www.scienceinthebox.com/es_ES/sustainability/lifecycleassessment_es.html#one [Accessed May 24, 2010].

Impacto Ambiental. Available at: Monografias.com [Accessed May 26, 2010].

Impactos Ambientales y Actividades Productivas - Cemento, Cal y Yeso. Available at: http://www.estrucplan.com.ar/Nuestros_Servicios/ISO14000.asp [Accessed May 24, 2010].

Impactos ambientales/Cemento - Wikilibros. Available at: http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales/Cemento#Impactos_ambientales_potenciales [Accessed May 24, 2010].

1993. *Informe de Cuba a la Comisión de Desarrollo Sostenible*, Ciudad de la Habana.

Kioto, contra el cambio climático . Available at: ELPAÍS.com [Accessed May 25, 2010].

LCA (Análisis de Ciclo de Vida). Available at: <http://www.setac.org/> [Accessed May 24, 2010].

MoranoA-Espana.pdf (Objeto application/pdf). Available at: http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/06_Cementos/MoranoA-Espana.pdf [Accessed May 24, 2010].

Protocolo de Kioto sobre el cambio climático - Wikipedia, la enciclopedia libre. Available at: <file:///D:/Rosi/escuela/Tesis%2014%20ABRIL/Tesis%20de%20rosy/capitulo%201/protocolo%20de%20kioto%20y%20montreal/Protocolo%20de%20Kioto%20sobre%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico%20-%20Wikipedia,%20la%20enciclopedia%20libre.htm> [Accessed May 25, 2010].

Randa Group S.A. - Análisis del Ciclo de Vida. Available at: <http://www.randagroup.es/esp/ma/acv/acv1.htm> [Accessed May 24, 2010].

Spanish_Battelle_Study_brochure.pdf (Objeto application/pdf). Available at: http://www.cemex.com/espa/pdf/cc/Spanish_Battelle_Study_brochure.pdf [Accessed May 24, 2010].

Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Available at: <file:///C:/Users/Jesus%20Germ%C3%A1n/Desktop/nuevo/Utilizaci%C3%B3n%20del%20An%C3%A1lisis%20del%20ciclo%20de%20vida%20en%20la%20evaluaci%C3%B3n%20del%20impacto%20ambiental%20del%20cultivo%20bajo%20invernadero%20mediterr%C3%A1neo.htm> [Accessed June 3, 2010].

XIII.5 Cemento. Available at: <http://www.mx1.cetys.mx/Deptos/Vinc/BC/s37vf.htm> [Accessed May 25, 2010].

Aitcin Pierre-Claude,, 2000. Cements of yesterday and today. Concrete of tomorrow. In *Cement & Concrete Research Issue No. 9, Vol. 30*. pp. 1349-1359.

Álamo, L; Gonz les, M.; Sumpsi, C., 1998. Sistemas de gestión ambiental. In *Medio ambiente y tecnología*. Universitat Politècnica de Catalunya, pp. 187-199.

Asociación Europea de Fabricantes de Cemento - Cembureau - Project Group of Cement Technology Experts (CEMBEREAU), 1999. *Environmental Benefits of Using Alternative Fuels of Using Alternative Fuels in Cement Production*, Bruselas.

Bakeas, S. M., 2006. Análisis de Ciclo de Vida. Available at: www.bakeas.org www.compraverde.org. [Accessed May 25, 2010].

Becker Edgardo, 2002. *Cementos Portland Puzolánico.*, Available at: www.lomanegra.com.

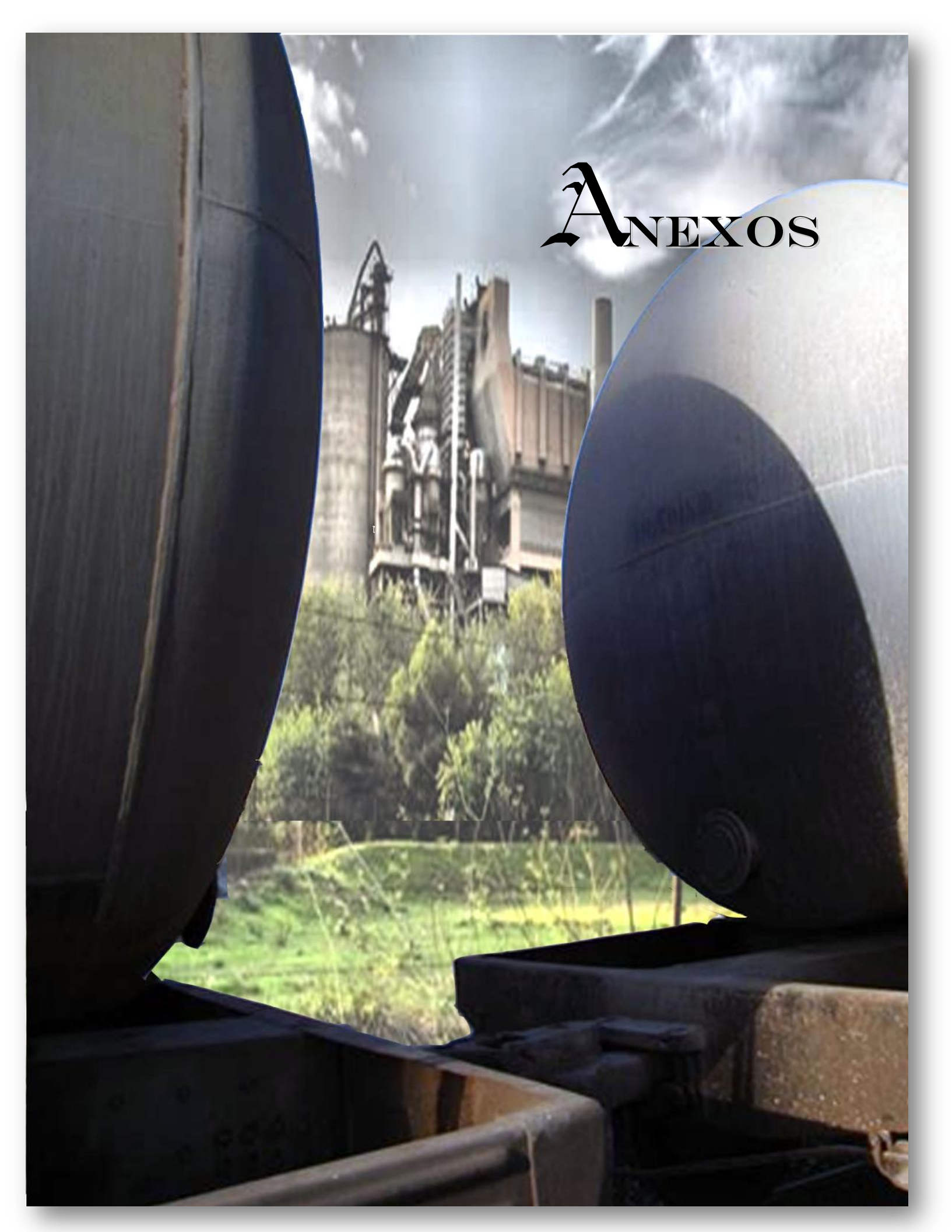
C. Urcelay, 2001. "Valorización material y energética de residuos en la industria del cemento". In Bilbao.

- C. Urcelay, Dtor. de Inversiones y Medio Ambiente de Cementos Lemona, “Reciclado de escombros de demolición para la fabricación de cemento”. Available at: <http://www.icce.es/icce/articulo29.htm> [Accessed May 25, 2010].
- Cardim de Carvalho Filho, A., 2001. *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Available at: <http://www.tdx.cat/TDX-0731101-125703>.
- CEMBUREAU, Activity Report 2001. Informe publicado por la Asociación Europea del Cemento. Available at: www.cembureau.ce.
- De la Cueva Toraya, Juan, 1993. La Industria Cubana de Materiales de Construcción. Ministerio de la Industria de Materiales de la Construcción.
- De Melgar y Oliver Manuel, Cemento, un sector comprometido en la sostenibilidad y en la lucha contra el cambio climático. Available at: <http://www.cinama.org/documentos/262.pdf>.
- Díaz Peña M., 2009. “*Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de alcohol: ejemplo de caso ALFICSA*”. Universidad de Cienfuegos Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.
- Domínguez, E. R. y. G., Mireya, 2008. Modelación avanzada de Análisis de ciclo de vida. In *Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida*.
- Ecobilan Group, 2000. LCA applied to Building. Available at: http://ecobalance.com/service/project/proj_bld.html. [Accessed May 25, 2010].
- ESPÍ, José Antonio y SEIJAS, Eduardo, 2002. *EL Análisis del Ciclo de Vida aplicado a los materiales de construcción: “El granito de la comunidad de Madrid”*. Escuela T.S.I. de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. Available at: http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/09_Ambiental/Espi.pdf.
- Fullana P., Puig R., 1997. *Análisis del Ciclo de Vida*, Barcelona: Rubes.
- Gili Gustavo, 2000. Cementos. Hormigón Armado. Available at: http://www.ingenieria rural.com.cu/search?hl=es&q=cementos+puzolanicos&btnG=Buscar&aq=o&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai= [Accessed May 24, 2010].
- Glavind, M. and Munich-Petersen, C., 2000. Concrete in Denmark. In *Structural Concrete*. pp. 19-25.

- Gómez Darío, Dawidowski Laura, 2004. Inventario nacional de gases de efecto invernadero sector procesos industriales.
- González de la Cotera M., Cementos Portland Puzolánico. Tendencias actuales en la fabricación y aplicación.
- Hendriks C.A, et al, 1998. Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry. In Interlaken,
- I. M. Sobrini, C. Martín, B. Gaite, 2006. Evaluación de impacto ambiental de una molienda de clínker y fábrica de cemento, por el método de escenarios comparados. *Informes de la Construcción*, 58, 504, 19-27.
- Iglesias, D. H., 2009. *Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario*, Available at: <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>.
- Ing. Rodríguez Pérez, Berlan, 2007. ANÁLISIS DE DISTINTAS HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.
- ISO 14042, 2001. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. EVALUACION DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA.
- ISO 14001, 1996. Sistemas de gestión ambiental Especificación con orientación para su uso.
- ISO 14040, 1999. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. PRINCIPIOS Y ESTRUCTURA.
- ISO 14041, 2000. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. DEFINICION DEL OBJETIVO Y ALCANCE Y ANALISIS DEL INVENTARIO.
- ISO 14043, 2001. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. INTERPRETACION DEL CICLO DE VIDA.
- Josa Alejandro, Aguado Antonio, 2000. Construcción Y Medio Ambiente. Evaluación ambiental de productos derivados del cemento. Aplicación a pavimentos de hormigón. *2º Congreso interamericano de pavimentos de concreto*. Available at: www.cfia.org.cr/.../articulo%20acv%20cemento%20Alejandro%20josa/ACV%20general%20i%20paviments%20-%20colombia.
- Josa, A.; Cardim A.; Aguado, A; y Gettu, R., 1999. Considerations in the life assessment of precast concrete products. In Venezia.

- Klees, Delia R. - Coccato, Cecilia A., Ciclo de vida sostenible de los materiales de construcción. - 1º Etapa -.
- Labahn, O. y Kohlaas, H., 1985. *Prontuario del cemento*, Barcelona.: Editores Técnicos Asociados.
- Leiro López, Angel, Características específicas de los cementos puzolánicos y especiales - Dialnet. Available at: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=117474> [Accessed May 24, 2010].
- Lindeijer, E.; Huppel, G., 1999. Portioning economic in-and outputs to product systems.
- Lopez Hernández Ll., 2009. *Evaluación de Impacto Ambiental del Proyecto Grupo Electrogeno de Cruces con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida en la Empresa de Ingeniería Diseño y Arquitectura de Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.
- M. Larrión, C. Urcelay, J.F. Cambra, C. Gutiérrez-Cañas, “Revisión estratégica del proceso de producción del cemento Pórtland (ACV)”.
- Martirena Fernando, 2003. *Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínker de cemento Pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa*”.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1989. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. 3º ed., Madrid.
- NORMA CUBANA 95, 2001. CEMENTO PORTLAND. ESPECIFICACIONES.
- NORMA CUBANA 96, 2001. CEMENTO CON ADICION ACTIVA - ESPECIFICACIONES.
- ONU- WCED, 1997. Our Common Future.
- Programa Nacional de Auditoria Ambiental, 2008. Auditoria Ambiental. *PROFEPA. La ley al Servicio de la Naturaleza*. Available at: www.profepa.gob.mx [Accessed May 25, 2010].
- Romero Rodriguez, Blanca I., 2003. El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Boletín II-E*. Available at: <http://www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf>.
- Schmidt, M., 2002. Secondary Fuels and Raw Materials for Cement. Benefit for the environment and cost reduction. In Santa Clara. Cuba.
- SETAC(Europe Working Group), 1999. Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes. In p. 28.

- Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 1993. A Conceptual Framework for Life-Cycle Impacts Assessment - Guidelines for Life-Cycle Assessment. In Bruselas.
- Suppen, N. y. B., 2007. "Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño". Available at: www.lcamexico.com [Accessed May 29, 2010].
- Tocados G. Gil, Manrique Plaza A., Fernández Vozmediano J.M, Aspectos generales del cemento.
- Trinius, Wolfram, 1999. *Environmental Assessment in Building and Construction*, Kungliga Tekniska Högskolan, Estocolmo.
- Trusty, W.B., Meil, J.K., 1999. Building Life Cycle Assessment.
- Capítulo 3: Metodología del Análisis de Ciclo de Vida.PDF. Available at: http://www.tdr.cesca.es.TESIS_UPC/AVALIABLE/.../04CAPITULO3.pdf.
- Vanderley M. John., 2002. On the sustainability of the Concrete.
- Wrisberg, N. et al., 1997. A Strategic Research Programme for Life Cycle Assessment. In *From Life Cycle Assessment to Tolls for Chain Management*. Leiden.



ANEXOS

Anexos I.1: Aspectos generales de las herramientas para la gestión ambiental. Fuente:
(Cardim de Carvalho Filho, A. 2001)

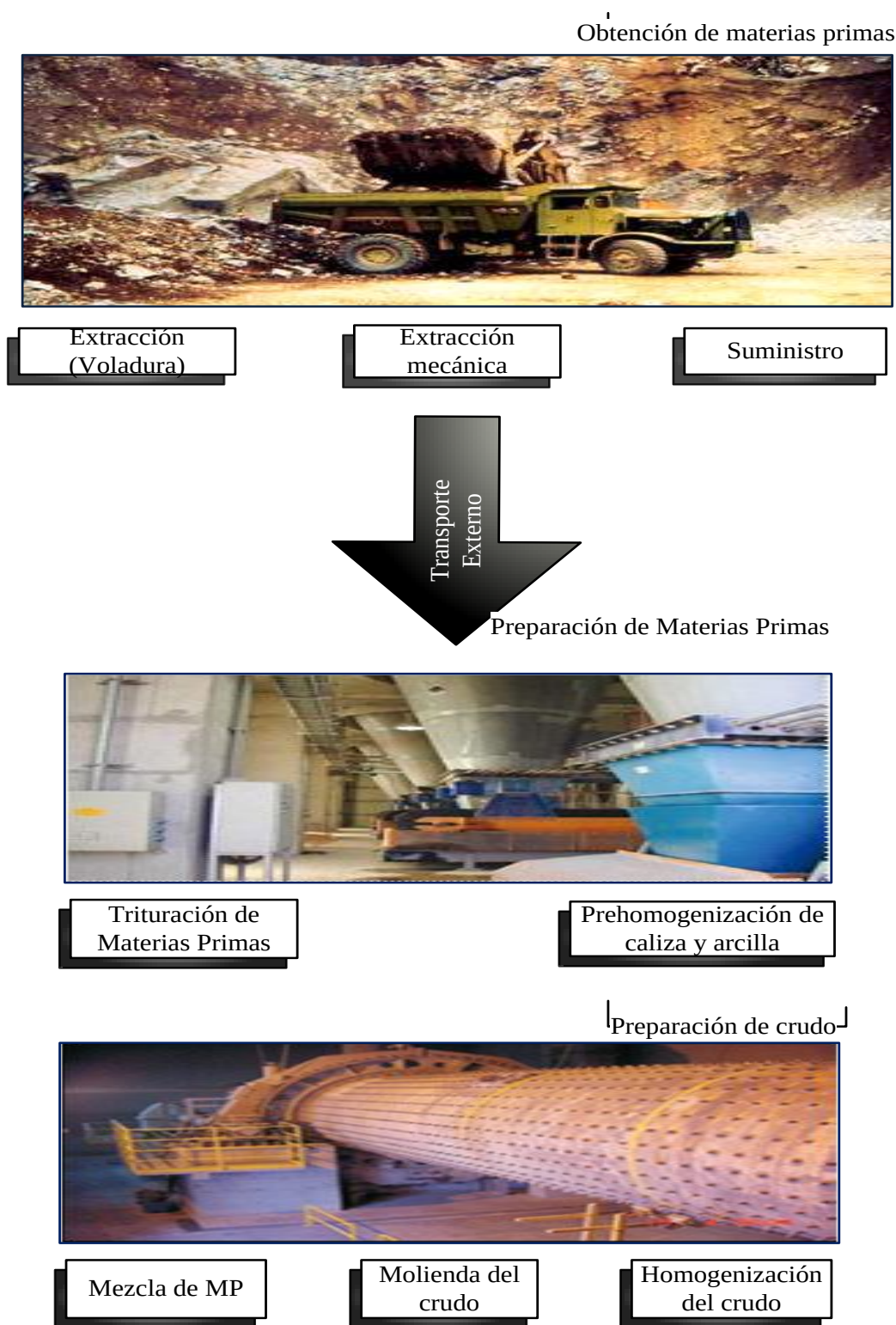
Herramientas	Objetivos generales	Puntos fuertes	Puntos débiles
RA	Valorar los efectos adversos asociados a una situación específica de riesgo y sus interrelaciones con la salud humana y el medio ambiente.	Evalúa los efectos locales y regionales bajo condiciones específicas	Es capaz de consumir mucho tiempo y recursos. No es capaz de apuntar la ubicación del riesgo a lo largo del ciclo de vida
EIA	Evaluar los impactos positivos y negativos sobre el medio ambiente de un determinado proyecto planteado.	Calcula tanto efectos positivos como negativos. Considera los impactos locales de un proyecto	No es capaz de apuntar fácilmente la ubicación de un efecto global / regional o otros efectos a lo largo del ciclo de vida
EAu	Verificar la conformidad con determinados requisitos normativos vigentes, por medio de chequeo realizado por tercera parte.	Proporciona una manera para que una tercera parte, independiente, compruebe los resultados.	Enfoca una conformidad y enfatiza en término medio de más débil que de mejoría.
EPE	Proporcionar una información fiable, objetiva y comprobable a cerca del desempeño medioambiental de una determinada organización.	Promociona coeficientes de desempeño medioambiental asociándolos a políticas objetivas y metas preestablecidas.	Promociona coeficientes de desempeño relativo y no absoluto.
SFA	Contabilizar el suministro y la demanda de una sustancia específica que fluye a través del proceso de producción.	Toma en consideración un impacto potencial determinado a lo largo del ciclo de vida.	El enfoque sobre una única sustancia puede apuntar falsos resultados.
EMA	Calcular el balance energético y material asociado con una operación específica.	Promociona una v a estructurada de identificación y valoración de un impacto potencial de operaciones, etc.	Enfoca solamente una fases del ciclo de vida

ISCM	Calcular y reducir globalmente el impacto medioambiental de una determinada sustancia asociada.	Permite hacer consideraciones integradas entre económicas y medioambientales en una misma herramienta.	Emplea una valoración simplificada que puede dar respuestas demasiado simplificadas.
PLA	Evaluar potencialmente el impacto medioambiental, social y económico de un bien o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida.	Integra aspectos medioambientales, económicos y sociales dentro de una sola herramienta.	No puede valorar específicamente impactos locales
ACV	Entender el perfil medioambiental de un sistema. Identificar prioridad de mejoras. Asegurar mejor as con fundamento en el ciclo de vida.	Considera impactos global y regional. Posibilita estimar los impactos que en términos influyen la salud de la sociedad.	No es capaz de apuntar el carácter temporal o espacial de un determinado efecto.

Anexo I.2: Programas de ordenadores para el ACV de productos o sistemas genéricos.
Fuente:

PROGRAMA	ORGANIZACIÓN	GENERO	PAIS DE ORIGEN
SimaPrp 4.0	PRé Consultants	Análisis de inventarios y evaluación de impactos	Holanda
IVAM data base	PRé Consultants	Base de datos	Holanda
GaBi 3.0	Universidad de Stutgard	Análisis de inventarios y evaluación de impactos	Alemania
KCL-ECO	The Finnish Pulp and Paper Research institute	Análisis de inventarios	Finlandia
LCAiT	Chalmers Industriteknik	Análisis de inventarios	Suecia
PEMS	Pira International	Análisis de inventarios y evaluación de impactos	Reino Unido
PIA	PRé Consultants	Análisis de inventarios y evaluación de impactos	Holanda
TEAM™	Ecobalance, Inc	Análisis de inventarios	USA

Anexo II.1: Proceso de Producción del cemento. Fuente: Elaboración propia.



—Producción de Clinker—



Preparación del Petcoke



Cocción del crudo

—Producción de Cemento—



Mezcla de componentes

Molienda del Cemento

—Expedición—



Almacenado

Empaquetado o carga a granel

Anexo II.2: Caracterización actualizada (últimos dos años) de afluentes y efluentes.

Análisis de resultados de laboratorio.

Punto	pH	CE μmhos/cm	Nt mg/l	Pt mg/l	DB O5 mg/l	DQ O mg/l	ST ml/l	S. sed mg/l	STS mg/l	Grasa y aceites mg/l
Entrada de la laguna	7.47	643	<LC	0.07	42.5	<LC	393	14	53	23.2
Salida laguna	8.0	660	<LC	<LC	12.5	<LC	300	<LC	4.3	8.5
Salida laguna (kg/día)	-	-	9.66	0.07	43.4	89.2	168	-	2.41	4.77
% remoción	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6	-	91.8	63.4

El sistema de tratamiento cuenta con tres lagunas de oxidación conectadas en serie:

Entrada al sistema tratamiento primera laguna / Salida del sistema tratamiento última laguna

Hora	PH	CE (μs)	Hora	PH	CE (μs)
9.00 am	7.38	609	9.00 am	7.55	504
10.00	7.37	581	10.00	7.53	502
11.00	7.38	527	11.00	7.59	500
12.00	7.35	453	12.00	7.71	489
13.00	7.45	494	13.00	7.73	477
14.00	7.36	555	14.00	7.84	474
15.00	7.32	576	15.00	7.93	467



ESTADO ACTUAL LAGUNA DE OXIDACIÓN

Testimonio bibliográfico.



Anexo II.3: Residuos sólidos no peligrosos.

Tipo de Desecho	PROCESO Generador	Descripción	Cantidad Anual (ton)	Recuperación, Utilización		Tratamiento	Desechos acumulados (ton)	Deposición final
				¿Dónde y cómo?	Valor Econ. CUC			
Materiales ferrosos y No ferrosos	Mtto.	Metales desechados en los mantenimientos.	20	Recuperación y reinstalación en las instalaciones (R4)	5 000	Venta como chatarra clasificada a materias primas	30	Ventas a Materias Primas
Papel, cartón, plásticos	Todos los procesos	Desechos de oficinas	0.5	No	No	Quema en los hornos (D10)	No	-
Madera	Compras Producir clínker	Embalajes de equipos	2	Facilidades temporales, estructuras auxiliares	2 000	Quema en los hornos (D10)	No	-
Material de proceso	Materias Primas Clínker Cemento Despacho	Derrames y fuera de parámetros de calidad	100	Reincorporación de los derrames al proceso tecnológico	-	Envío a la escombrera	5 000	Escombrera
Desechos de la canalización fecal	Todos los procesos	Desechos provenientes de sanitarios	-	-	-	Tratamiento en laguna de oxidación (D4) y posterior Vertido a la cuenca Caonao (D6)	0	Laguna de oxidación

Tipo de Desecho	PROCESO Generador	Descripción	Cantidad Anual	Recuperación, Utilización		Tratamiento	Desechos acumulados	Deposición final
						Pretratamiento en fosas sépticas (materias primas, patio de carbón) y su posterior envío a la laguna	0	
Aerosoles	Materias primas, clinker Cemento Despacho	Emisiones de polvo generados en los sistemas tecnológicos	330 600	Recuperación en los sistemas de desempolvado	450000 0	Separación mecánica y electrostática del polvo y los gases	0	Sistema tecnológicos
Gases de combustión y des carbonatación	Materias Primas	Combustión en secador y hornos. Des carbonatación en el precalentador y horno (L1)	-	No	-	No existe tratamiento, aunque su emisión puede optimizarse mediante el control de la combustión	-	-

Productos químicos, combustibles, lubricantes

Tipo	Cantidad	Requisitos de uso	Almacenamiento	Estado general de almacenamiento
Combustibles:				
Petcoke	22 000 ton	Como combustible tecnológico en los hornos y el secador después de triturado en el molino de carbón	Almacén de combustible a cielo abierto, en pilas cónicas truncadas para evitar la erosión, con sistema contra incendio (4 cañones monitores), zona inífuga de 10 m alrededor del almacén, con sistema de contención contra derrames y sistema de tratamiento de residuales de escorrentías. Se encuentra en proceso de modernización el sistema de humectación de las pilas para evitar la dispersión del combustible con el viento.	El almacén presenta buenas condiciones de almacenamiento.
Diesel				
Tanque de diesel del secador	61057 litros	Arranque del secador	Tanque cilíndrico metálico horizontal dentro de un sistema de contención, con sistema de tratamiento de residuales, presenta sistema contra incendios (extintores), Limitación de acceso	Buenas condiciones de almacenamiento
Tanque de diesel del horno Línea III		Arranque del Horno de Línea III	Tanque cilíndrico metálico horizontal dentro de un sistema de contención, situado en un local con buena ventilación, bajo la plataforma de	Buenas condiciones de almacenamiento

			quema de la Línea II, presenta sistema contra incendios (extintores) y buena iluminación, el acceso está limitado.	
Tanque de grupo electrógeno del secador	1887 litros	Combustible del sistema de emergencia del secador	Tanque cilíndrico horizontal situado en el local del sistema de emergencia del secador, buena ventilación con sistema de extinción de incendio, el acceso está limitado.	Buenas condiciones de almacenamiento
Tanque de grupo electrógeno de planta		Combustible del sistema de emergencia de planta	Tanque cilíndrico horizontal situado en el local del sistema de emergencia de planta, buena ventilación con sistema de extinción de incendio	Buenas condiciones de almacenamiento
Crudo cubano	3200 m3	Combustible del horno Línea I actualmente no se utiliza	Tanque cilíndrico vertical situado dentro de un sistema de contención con tratamiento de residuales de drenajes, con sistema contra incendio (rociado del tanque)	Buenas condiciones de almacenamiento aunque en deshuso.
Tanque de fuel ligero		Arranque de la caldera	Tanque horizontal con sistema de contención y tratamiento de drenajes	Actualmente se usa para los arranques periódicos de la caldera.

Desechos peligrosos

Tipo de Desecho	PROCES O Generador	Clasificación			Tratamiento		Desechos acumulados	
		Categoría Y/A	Descripción	Cantidad anual	¿Dónde?	¿Cómo?	Cantidad anual	Deposición final
Etilenglicol.	Servicio de Laboratorio	Y6/3150	Reactivo líquido de laboratorio resultante de ensayos de cal libre	120 l	Como desincrustante de bolas en los molinos de crudo y cemento	Dosificándolos en los Molinos de crudo y cemento (D9)	0	-
Tubos de rayos x con berilio	Servicio de Laboratorio	Y20/A1020	Con ventanas de berilio de equipos VRA	-	no	En custodio (D12)	5 u	Almacén de Desechos peligrosos
Sustancias Químicas caducadas	Servicio de Laboratorio Compras	Y14	Reactivos químicos para ensayos que han vencido, sin etiquetas o sin posibilidades de uso	Según se generen	no	Destrucción en el horno de L3, bajo autorización del CITMA fecha 13.09.2008 (D10)	0	-
Ácidos y bases	Servicio de Laboratorio	-	Resultados de ensayos del laboratorio	6 l	no	Neutralización en el propio laboratorio (D9)	0	-
Luminarias fluorescentes	Todos los procesos	Y29	Luminarias fluorescente	100 u	no	Recolección y entrega a materias primas	30	-

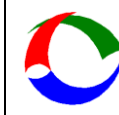
Cartuchos de impresoras		Y12	Cartuchos de impresoras	80	no		10	-
Cartucho de fotocopioador a		Y12	Cartuchos de fotocopioadoras	30	no		8	-
Solución de Peróxido de de hidrógeno degradado	Producir Clinker Materias Primas	Y34	Generado en depuración de gases antes de analizadores	4 000 l	no	Quema en el horno (D10)	0	-
Grasas y Lubricantes.	Servicio de Mantenimi ento	Y9	Grasas y aceites lubricantes	510 kg.	Combustibles en el horno Calera de Pepito Tey	Quema en el horno (D10)	0	-
Materiales no ferrosos impregnados en hidrocarburos		A4060	Trapos, papel, cartón impregnados en hidrocarburos	2 ton	no	Quema en el horno (D10)	0	-
Baterías de UPS con cadmio o plomo	Todos los procesos	Y26/1 180	Baterías utilizadas en los sistemas informáticos y automática	20 u	no	Entrega a materias primas	50	-
Baterías de plomo	Servicio de Mantenimi ento	Y31	Baterías del transporte automotor y	50 u	no			-

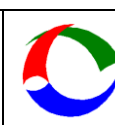
			alimentación de emergencia					
Combustibles sólidos	Producir Clinker	Y11	Rechazos del molino de carbón contaminados con materiales extraños, derrames	5 ton	no	Almacenamiento temporal en CCSA	2 ton	Destrucción en el horno línea III (D10)
Mezcla de Combustible sólido y agua	Producir Clinker	Y9	Aguas de escorrentías del patio de carbón	-	Combustible sólido en la trampa (R1)	Decantación de sólidos combustibles en los compartimientos del Sistema de tratamiento	0	Pilas de combustibles
Desechos peligrosos de otras empresas	Empresas del Territorio, Universidad Central de las Villas	Y14	Reactivos químicos para ensayos que han vencido, sin etiquetas o sin posibilidades de uso, medicamentos vencidos	Según solicitud	no	Destrucción en el horno de LIII, bajo autorización del CITMA (D10)	0	-
Neumáticos desechados	Todos los procesos		Transporte	Según reposición	no	Enterramiento en la mina	20 u	

Anexo II.4: Niveles de ruido en las diferentes áreas.

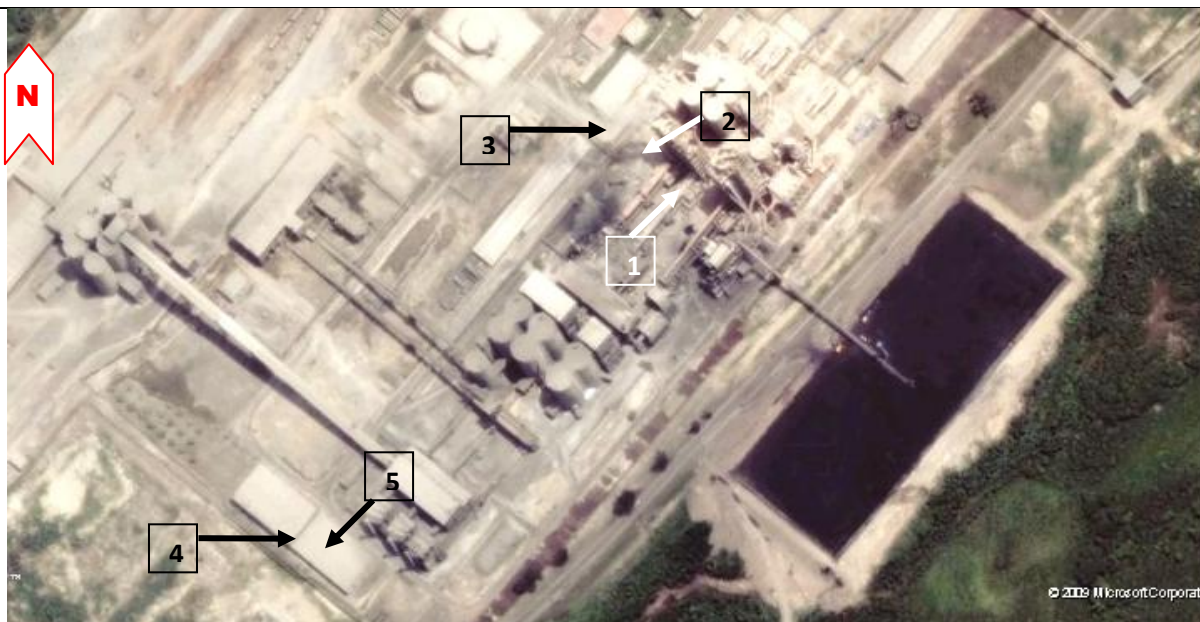
Área de trabajo	Nivel de ruido registrados (dB)(A)	Número Trabajadores por turno	Nivel de ruido normados (dB)(A)
Área de dosificación de clínker	86	2	85
Molino de crudo, Motor y reductor.	99	2	85
Molino de impacto.	97	1	85
Área de compresores y sopladores (planta baja). Compresor #1. Compresor # 2. Compresor # 3. (planta alta). Soplador # 1. Compresor # 2. Compresor #3.	100 98 98 95 98 98	2 2 2 2 2 2	85 85 85 85 85 85
Enfriadero de clínker.(línea III) Área de ventiladores	93	1	85
Molino de cemento.(línea I) Punto #1	100	1	85
Área de empaque de bolsas de cemento.	95	3	85

Anexo II.5 Mapas de dispersión del contaminante. Puntos de Emisión.

 Ministerio de la Industria Básica	 Cementos Cienfuegos SA	GERENCIA DE CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE
PLAN GENERAL DE UBICACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO		
		
Ubicación geográfica		220 09' 20" de Latitud Norte 800 15' 19" de Longitud Oeste.
Clima		
Dirección predominante de los vientos		
ENE	FEB	MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC
ene	ene	ene ene ene sso ene ene ene ene ene ene ene
Días con rocío		
29	25	29 28 28 27 29 29 28 29 29 30
Indicadores climáticos		
Temperatura media anual		24.5 OC Humedad relativa media 1:00 pm 58%
Temperatura máxima media		30.4 OC Humedad relativa media 78 %
Temperatura mínima media		20.0 OC Humedad relativa máxima media 95%
Velocidad media		7.57 km/h Humedad relativa mínima media 52%
Presión atmosférica		1014.9 hPa Humedad relativa media 7:00 am 92%
Nubosidad media		3 octanos de cielo cubierto
Precipitación período poco lluvioso		250 - 300 mm
Precipitación período lluvioso		1100 - 1200 mm
Precipitación total		1400 - 1500 mm

 Ministerio de la Industria Básica	 Cementos Cienfuegos SA	GERENCIA DE CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE
---	--	--------------------------------------

FUENTES PRINCIPALES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES



Características de las fuentes de emisión

Fuente No.	1	2	3	4	5
Ubicación	Precalentadores		Molinos de Cemento		
	L III	L II	LI	L I	L II
Altura de la fuente (m)	96	80	80	37	37
Diámetro interior (m)	2.8	2.3	2.3	2.3	2.3
Temperatura de salida (0C)	150	150	150	60 - 80	60 - 80
Flujo de gases (m3/h)	540000	200000	200000	60 540	60 540
Velocidad salida de los gases (m/s)	9.03	2.00	2.00	5.86	5.86
Tipo de material	harina	harina	harina	cemento	cemento

Ministerio de la Industria Básica

Cementos Cienfuegos SA

GERENCIA DE CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE

FUENTES PRINCIPALES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES



Características de las fuentes de emisión

Fuente No.	6	7	8	9	10
Ubicación	Torres de Transferencias			Materias Primas	
Altura de la fuente (m)	28	28	28	13.8	36
Diámetro interior (m)	0.5	0.5	0.5	0.71	2.8
Temperatura de salida (C)	40	40	40	60	110
Flujo de gases (m3/h)	9608	9608	9608	15600	123060
Velocidad salida de los gases (m/s)	14	14	14	9	1.38
Tipo de material	caliza, marga, perdigón, zeolita				

Ministerio de la Industria Básica

Cementos Cienfuegos SA

GERENCIA DE CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE

MAPA DE DISPERSION DE CONTAMINANTES

<

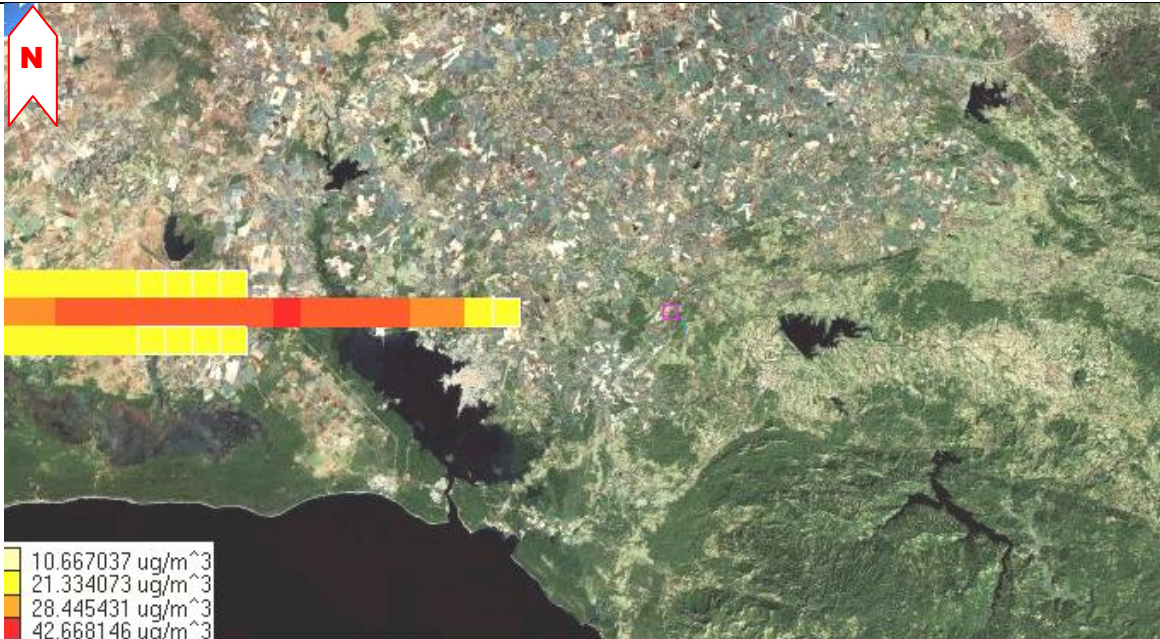
Ministerio de la Industria Básica

Cementos Cienfuegos SA

GERENCIA DE CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE

MAPA DE DISPERSION DE CONTAMINANTES

N



10.667037 ug/m³

21.334073 ug/m³

28.445431 ug/m³

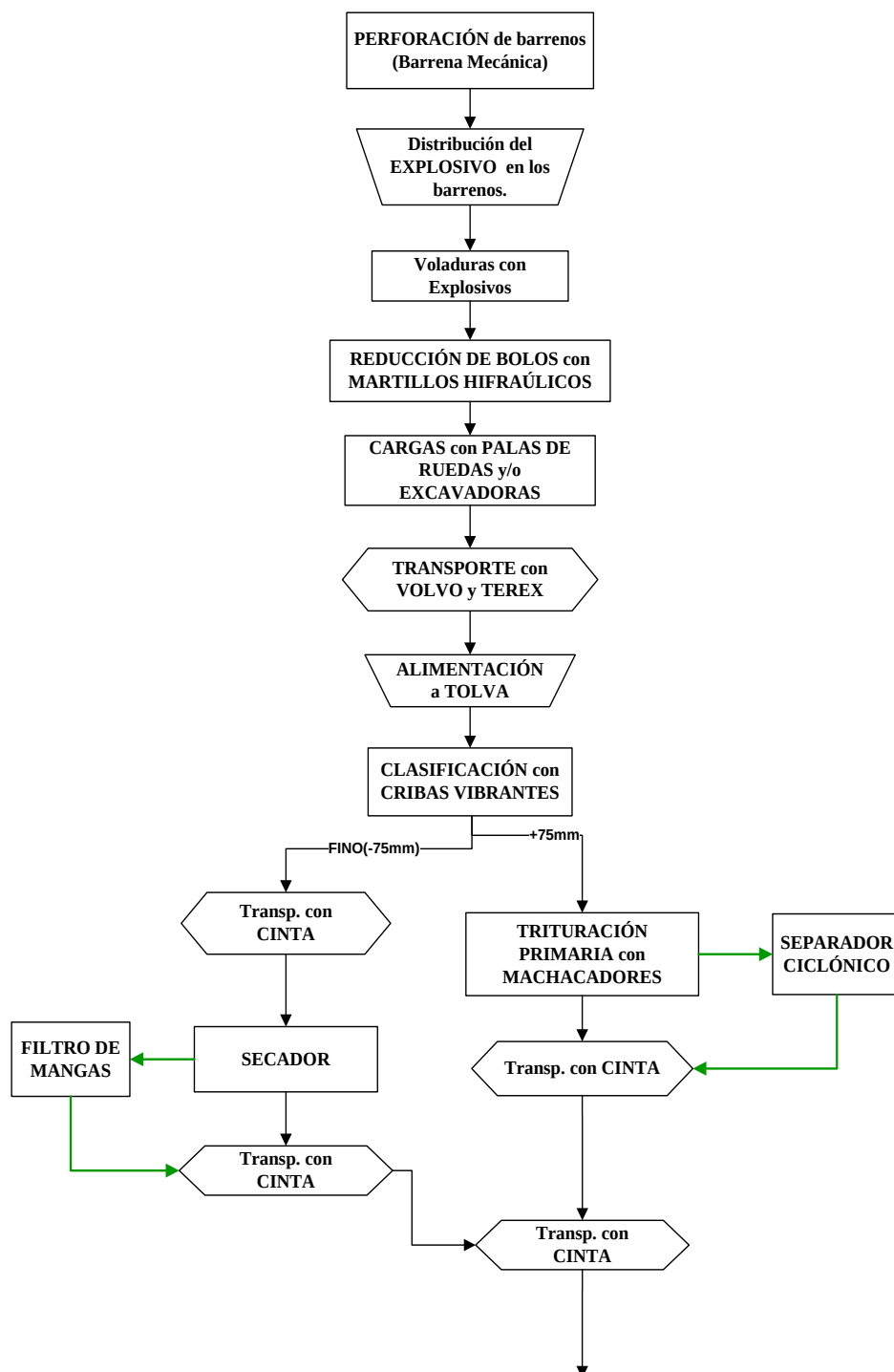
42.668146 ug/m³

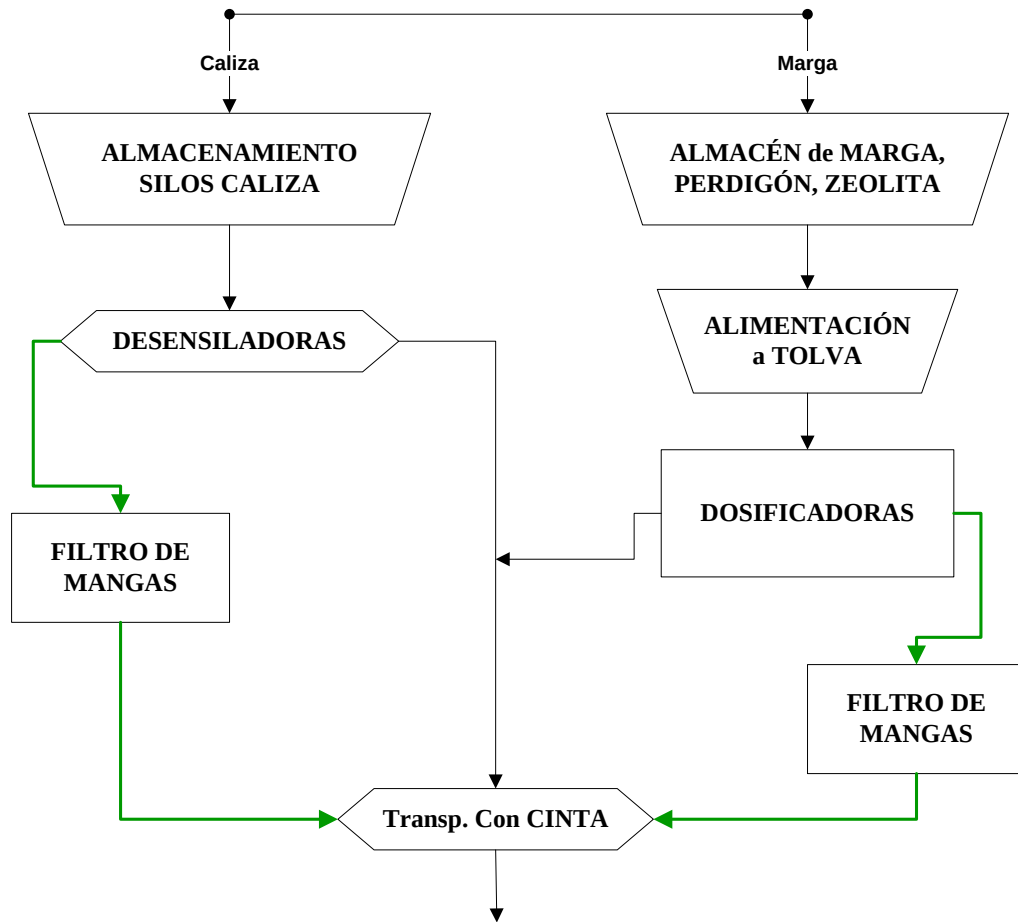
Fuente emisora	Precalentador L III Fuente No. 1		
Ancho total del eje X	30000 m	Velocidad del viento	3.5 m/s
Alto total del eje Y	22500 m	Dirección hacia la que sopla el viento	270 (e)
Número de mallas en el eje X	80	Temperatura del aire	300 K
Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford			4
Emisión de contaminantes			150 g/s
Altura de la capa límite desde el nivel del mar			250 m
Altura del anemómetro desde la base de la chimenea			10 m
Atmósfera rural			
Concentración máxima		42.671554 µg/m3	
Coordenada X del punto de concentración máxima		8250.00 m	
Coordenada Y del punto de concentración máxima		10562.50 m	
Altura efectiva del penacho		98.20 m	
DOMINADO POR FLOTACION		ATMÓSFERA INESTABLE O NEUTRA	

Ministerio de la Industria Básica		Cementos Cienfuegos SA		GERENCIA DE CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE	
MAPA DE DISPERSION DE CONTAMINANTES					
N 189.705484 ug/m^3 379.410968 ug/m^3 505.881291 ug/m^3 758.821937 ug/m^3					
Fuente emisora		Torres de transferencia Fuente No. 8			
Ancho total del eje X		30000 m	Velocidad del viento		2 m/s
Alto total del eje Y		40000 m	Dirección hacia la que sopla el viento		135 (oso)
Número de mallas en el eje X		80	Temperatura del aire		300 K
Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford					4
Emisión de contaminantes					20 g/s
Altura de la capa límite desde el nivel del mar					250 m
Altura del anemómetro desde la base de la chimenea					10 m
Atmósfera rural					
Concentración máxima				758.82 µg/m3	
Coordenada X del punto de concentración máxima				18500 m	
Coordenada Y del punto de concentración máxima				17083.33 m	
Altura efectiva del penacho				38.61 m	
DOMINADO POR MOMENTO			ATMÓSFERA INESTABLE O NEUTRA		

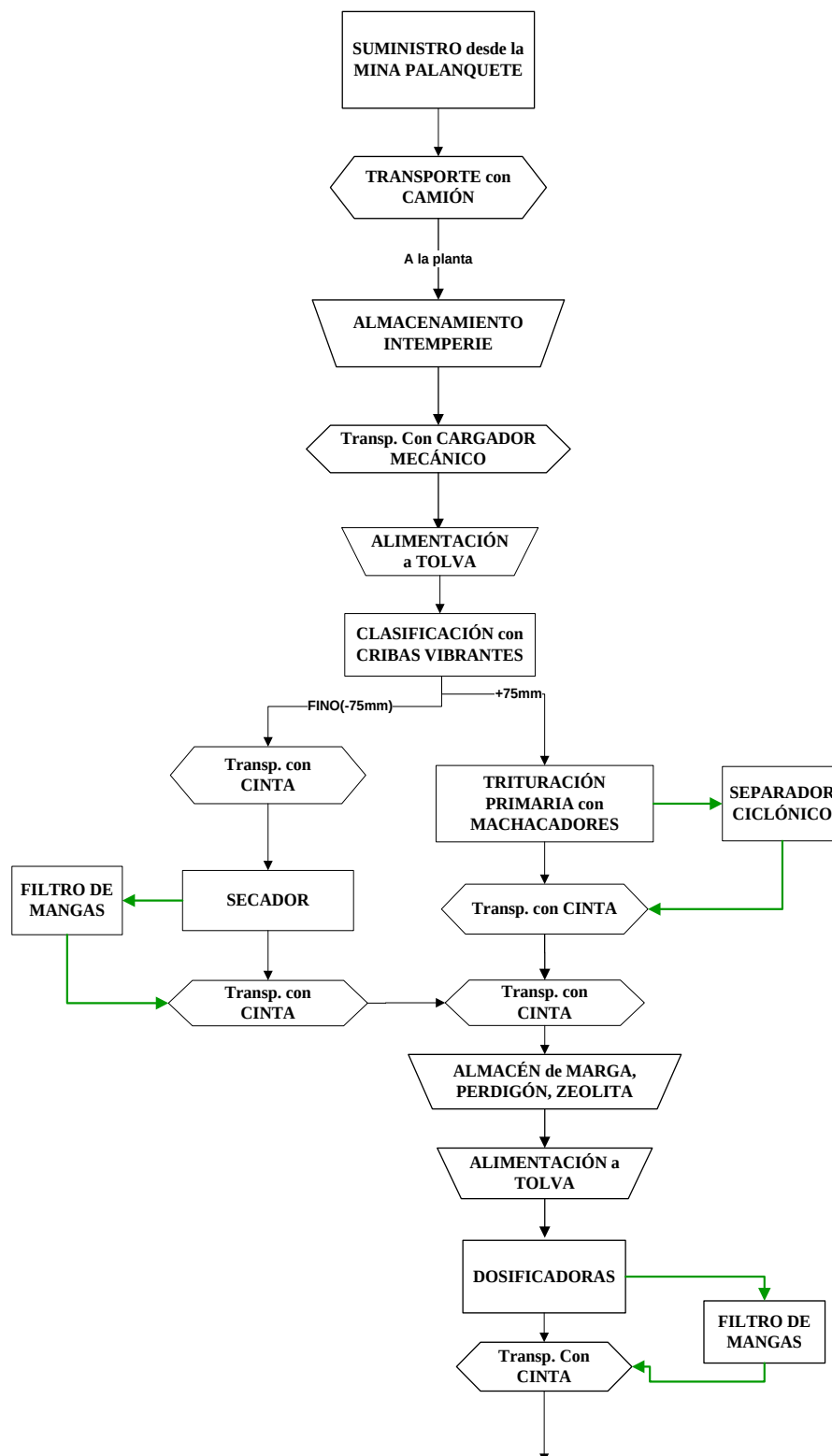
Anexo III.1 Flujograma del Proceso de producción del Cemento.

FASE 1 - MATERIAIS PRIMAS – Extracción, Trituración y Prehomogenización de las materias primas. CALIZA Y MARGA.

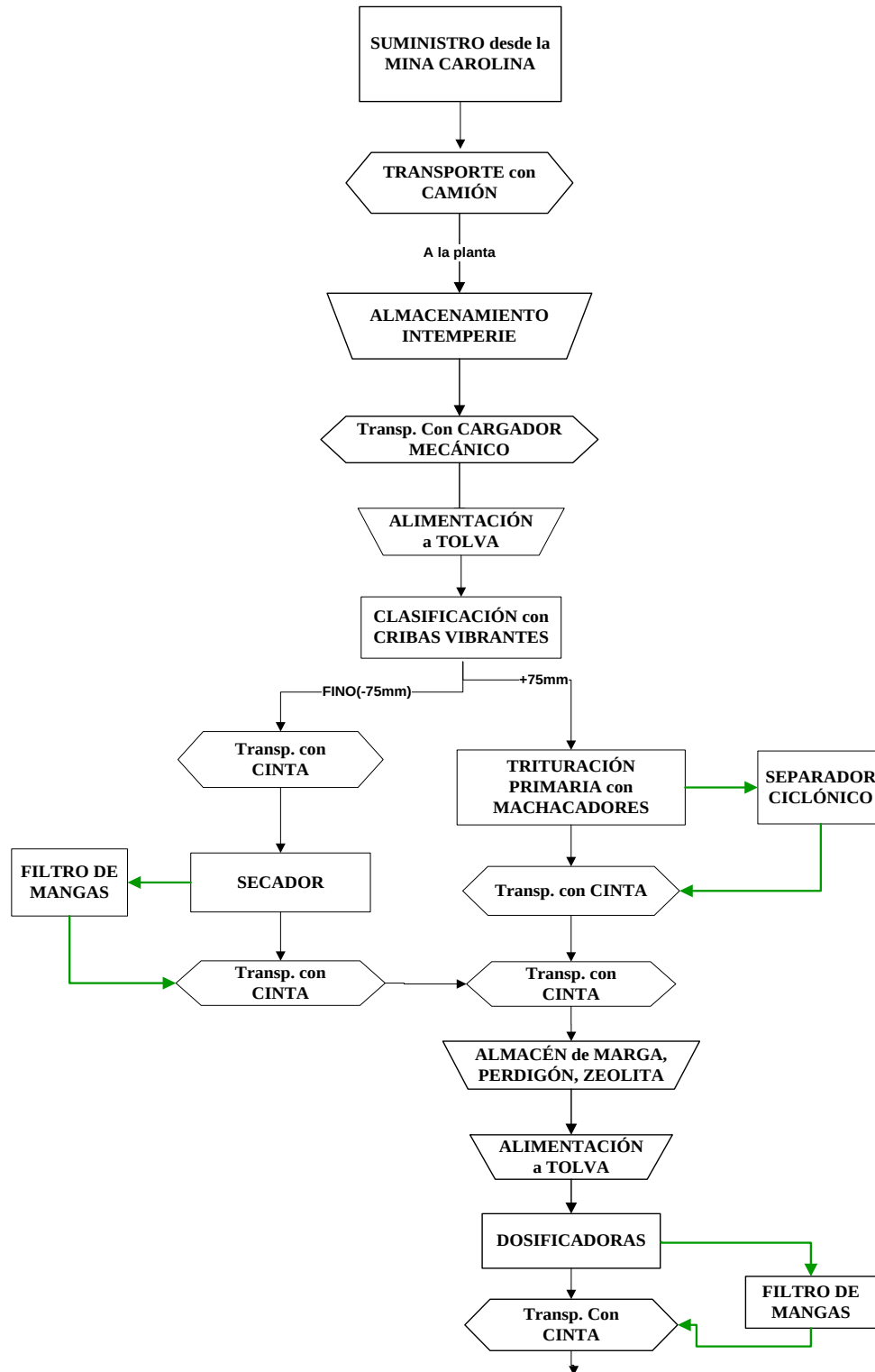




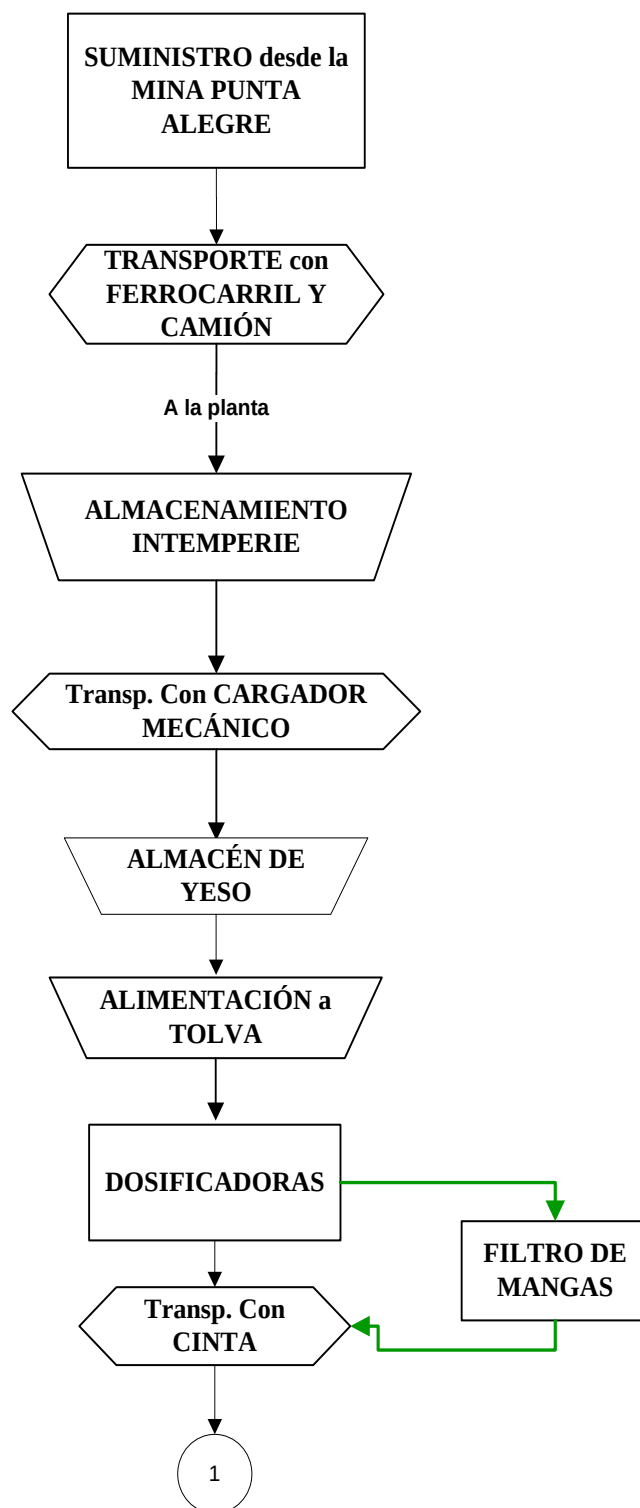
FASE 1- MATERIAS PRIMAS - Extracción, Trituración y Prehomogenización de las materias primas. CORRECTOR DE HIERRO.



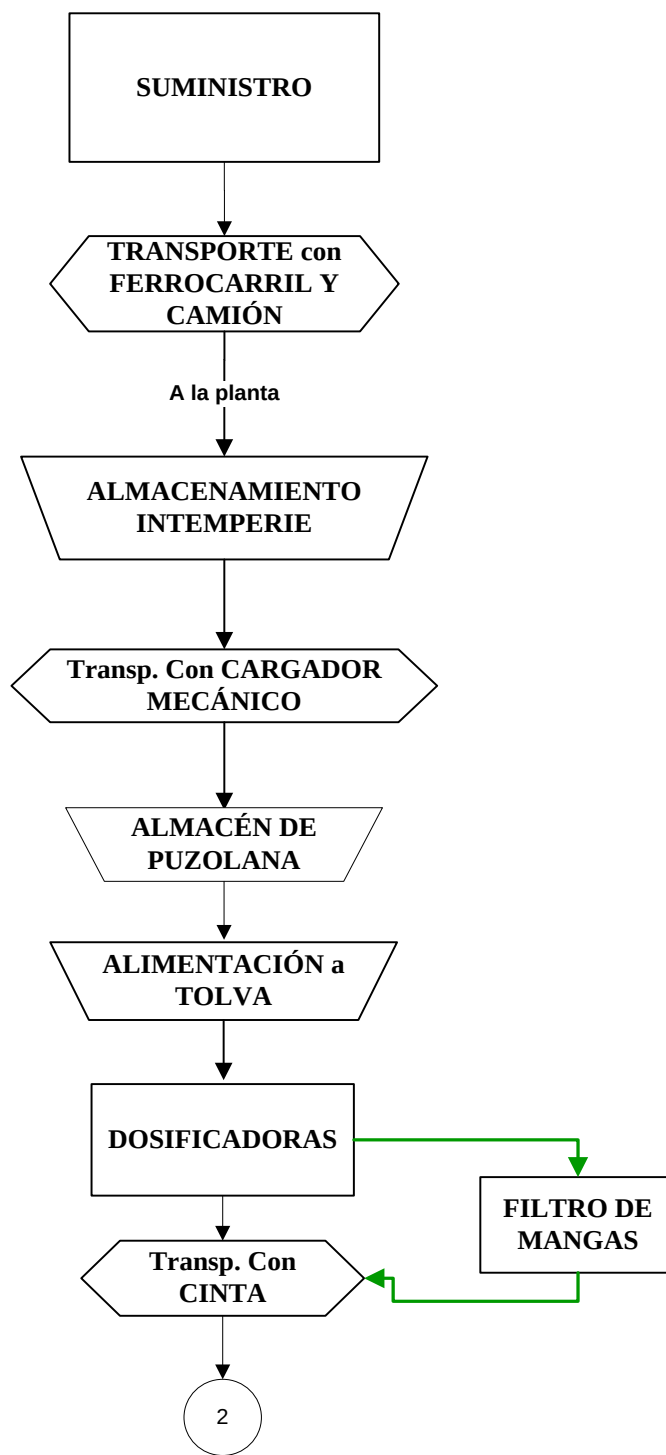
FASE 1- MATERIAS PRIMAS - Extracción, Trituración y Prehomogenización de las materias primas. ZEOLITA.



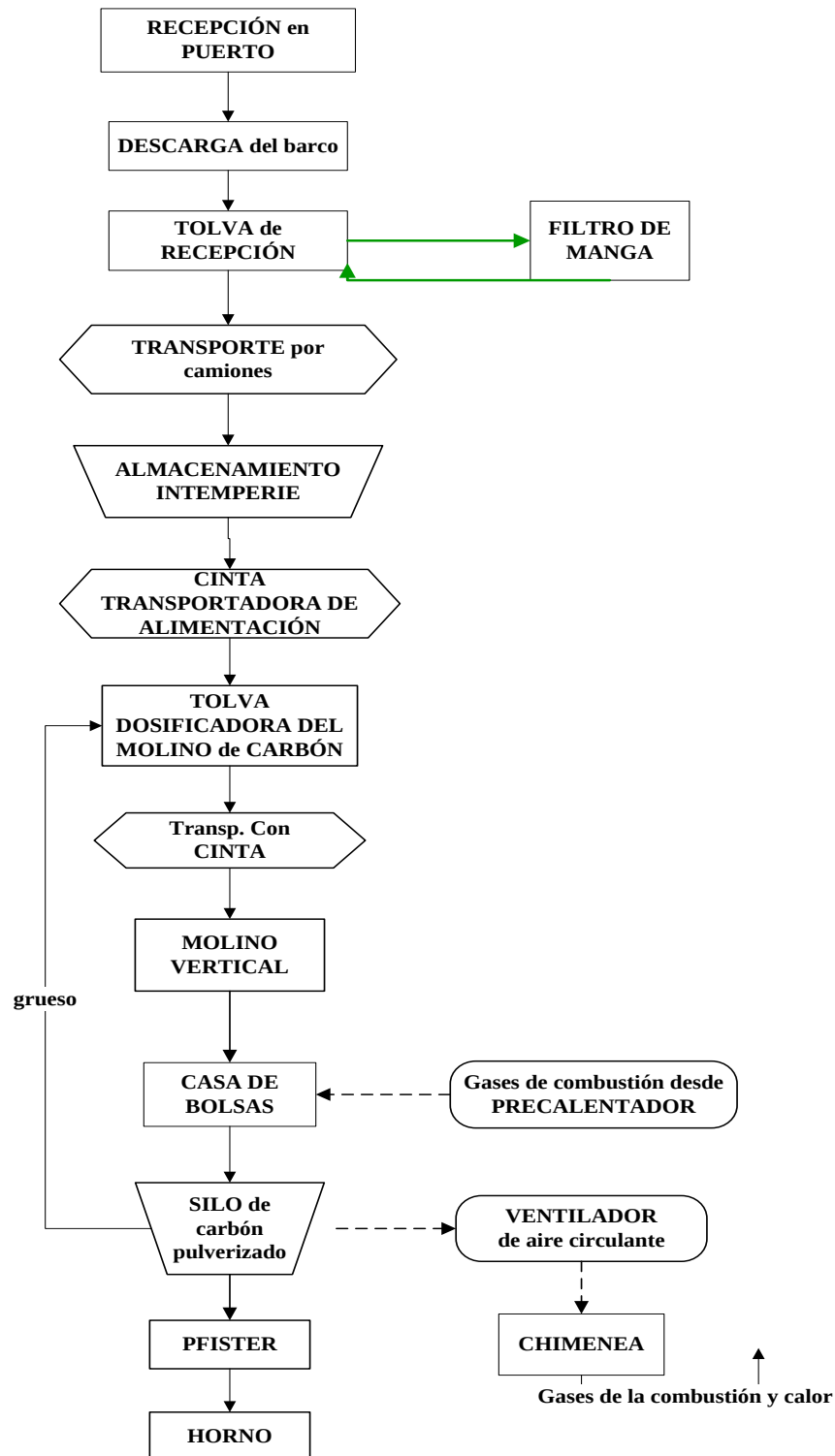
FASE 1- MATERIAS PRIMAS - Extracción, Trituración y Prehomogenización de las materias primas. YESO.



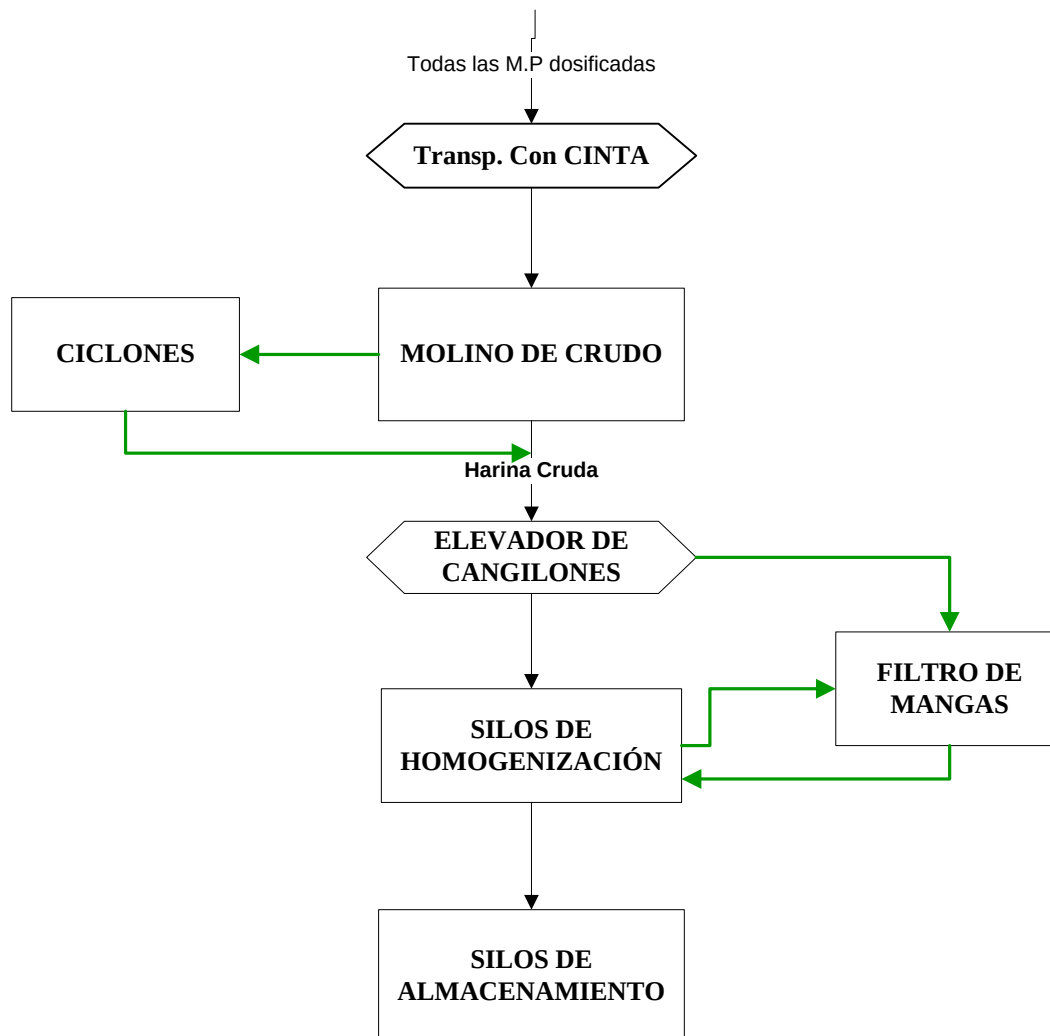
FASE 1- MATERIAS PRIMAS - Extracción, Trituración y Prehomogenización de las materias primas. PUZOLANA.



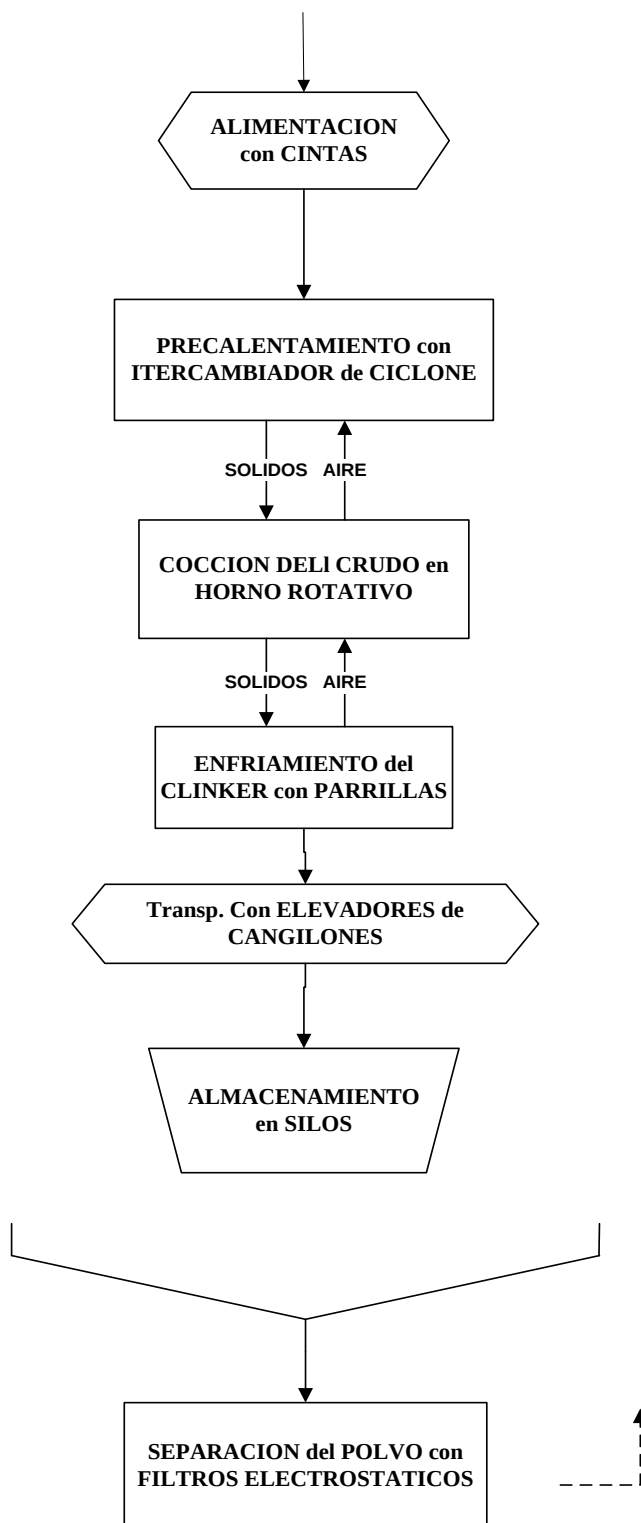
FASE 2.1 - COMBUSTIBLE DEL HORNO - Preparación del Petcoke.



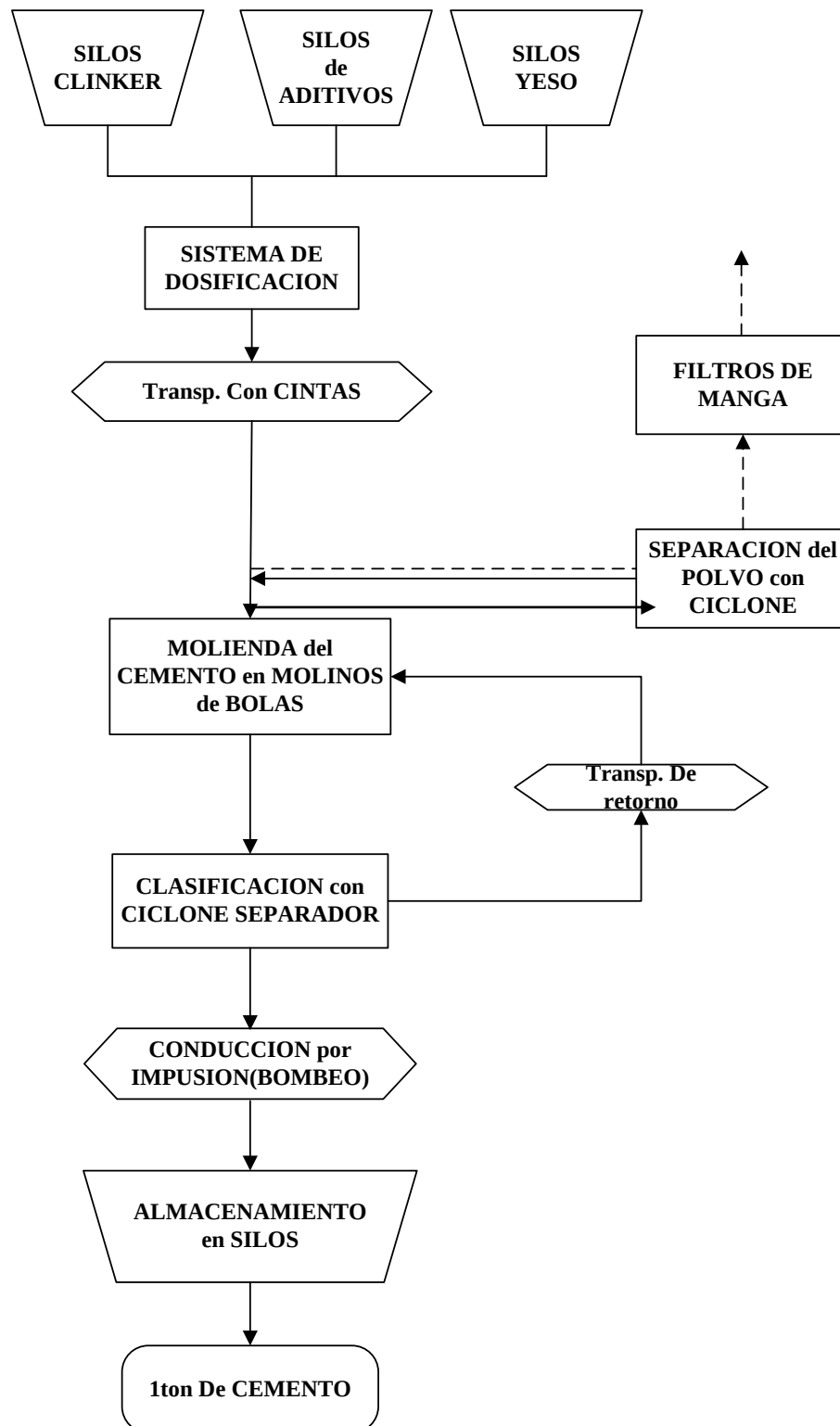
FASE 2.2 - PREPARACIÓN DEL CRUDO - Trituración del Crudo.



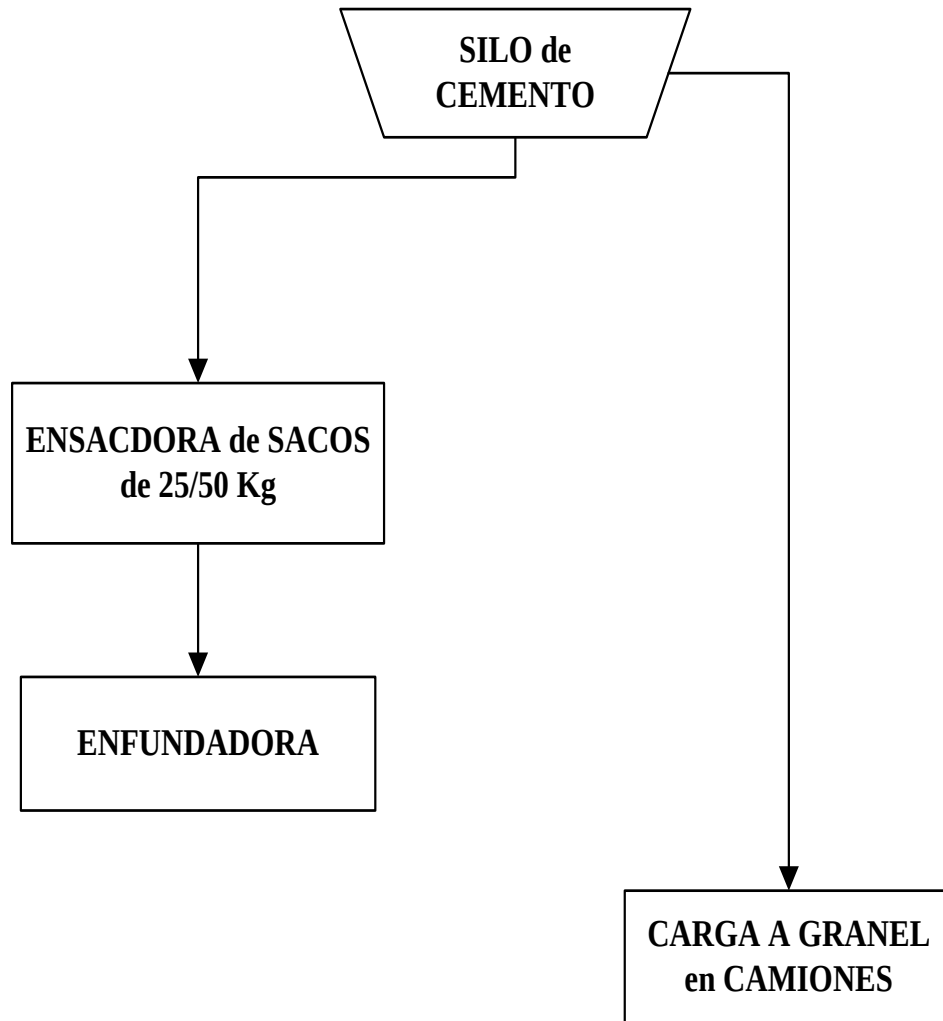
FASE 3 - PRODUCCIÓN DEL CLINKER - Cocción del Crudo.



FASE 3 - PRODUCCIÓN DEL CEMENTO - Fabricación del Cemento.



FASE 5 – Subsistema DISTRIBUCIÓN. Expedición del Cemento.



Anexo III.2: Memoria de cálculos

Datos de entrada - Recursos materiales

En un principio los datos que son proporcionados no vienen necesariamente referenciados a 1 tonelada de clínker portland. Por lo tanto, es necesario que se haga una serie de cálculos de manera que se obtenga el valor en la unidad deseada. Estas operaciones se explican a continuación.

Valores de la tabla III.3

Caliza

$$\frac{1.6 - 1.62t \text{ de crudo}}{t \text{ de clínker}} * \frac{0.68 - 0.75t \text{ de caliza}}{t \text{ de crudo}} = 1.1 - 1.2 \frac{t \text{ de caliza}}{t \text{ de clínker}}$$

Marga

$$\frac{1.6 - 1.62t \text{ de crudo}}{t \text{ de clínker}} * \frac{0.225 - 0.14t \text{ de marga}}{t \text{ de crudo}} = 0.36 - 0.23 \frac{t \text{ de marga}}{t \text{ de clínker}}$$

Perdigón

$$\frac{1.6 - 1.62t \text{ de crudo}}{t \text{ de clínker}} * \frac{0.02 - 0.016t \text{ de perdigón}}{t \text{ de crudo}} = 0.032 - 0.033 \frac{t \text{ de perdigón}}{t \text{ de clínker}}$$

Zeolita

$$\frac{1.6 - 1.62t \text{ de crudo}}{t \text{ de clínker}} * \frac{0.022 - 0.228t \text{ de zeolita}}{t \text{ de crudo}} = 0.035 - 0.037 \frac{t \text{ de zeolita}}{t \text{ de clínker}}$$

Consumo de combustible (diesel) por transporte.

Caliza

$$\frac{1.6t \text{ de crudo}}{t \text{ de clínker}} * \frac{1.02t \text{ de árido}}{t \text{ de caliza}} * \frac{0.75t \text{ de caliza}}{t \text{ de crudo}} * \frac{0.15l \text{ diesel}}{t \text{ de caliza}} = 0.18 \frac{l \text{ de diesel}}{t \text{ de clínker}}$$

Marga

$$\frac{1.6t \text{ de crudo}}{t \text{ de clínker}} * \frac{1.02t \text{ de árido}}{t \text{ de marga}} * \frac{0.225t \text{ de marga}}{t \text{ de crudo}} * \frac{0.5l \text{ diesel}}{t \text{ de marga}} = 0.18 \frac{l \text{ de diesel}}{t \text{ de clínker}}$$

Perdigón

$$\frac{1.6t \text{ de crudo}}{t \text{ de clinker}} * \frac{1.02t \text{ de árido}}{t \text{ de Perd.}} * \frac{0.02t \text{ de Perd.}}{t \text{ de crudo}} * \frac{1.83l \text{ diesel}}{t \text{ de Perd.}} = 0.059 \frac{l \text{ de diesel}}{t \text{ de clinker}}$$

Zeolita

$$\frac{1.6t \text{ de crudo}}{t \text{ de clinker}} * \frac{1.02t \text{ de árido}}{t \text{ de zeolt.}} * \frac{0.023t \text{ de zeolt}}{t \text{ de crudo}} * \frac{1.39l \text{ diesel}}{t \text{ de zeolt}} = 0.05 \frac{l \text{ de diesel}}{t \text{ de clinker}}$$

El mismo procedimiento se realiza para los equipos y la suma de estos valores es lo que se recoge en la Tabla.

Datos generales sobre los que se trabajaron los demás cálculos.

AÑO 2009	Trituración y Secado	Preparación del Crudo	Piroproceso	Producción Cemento	Total
Recursos Materiales	1671030				
Caliza (ton)	1231562				
Marga	368672				
Perdigón	33354				
Zeolita	37442				
Harina Homogenizada		1641024			
Clínker			1023291	467577	
Yeso				27302	
Puzolana				37496	
Caliza aditivo				1314	
Agua (m3)					412 640
Electricidad (kWh)	6 207 432	36475849	47654311	17,448,977	
Combustibles					
Petcoke	3934		108257		112191
Diesel	198330		238360		436700
Fuel oil			0.67		
Producción Cemento					533689

Anexo III.3 Datos del consumo eléctrico por áreas productivas.

Áreas	Consumo (kWh)		Producción (t)	índice (kWh/t)	índice (kWh/t)
Caliza	4259950.426	0.037247487	1231562	3.458981705	
Marga	1603382.394	0.014019404	368672	4.349075585	
Perdigón	198530.0189	0.001735876	33354	5.952210196	
Caliza+Puz	145568.9251	0.001272803	37442	3.887851213	
Materias Primas	6207431.764	0.05427557	1671030	3.714733885	
Crudo 1	4224215.278	0.036935032	177025	23.86225267	
Crudo 2	15767989.6	0.137869678	729493	21.61499782	
Crudo 3	16483644.59	0.14412711	734506	22.44181067	
Crudo Total	36475849.47	0.318931819	1641024	22.227493	
Horno 1	6106077.713	0.053389366	98894	61.74366203	
Horno 3	37199696.36	0.325260879	924396.8261	40.24212904	
Horno Total	43305774.07	0.378650244	1023290.826	42.32010389	
Molino de Carbón	4348536.689	0.038022054	112461	38.66706404	
CLINKER					91.44
Cemento 1 P350	7626604.485	0.06668431	236901	32.19321356	
Cemento 1 P250	1018699.233	0.008907143	37839	26.92193855	
Cemento 1	8645303.718	0.075591453	274740	31.46721889	
Cemento 2 P350	7494302.371	0.065527507	218180	34.34917211	
Cemento 2 P250	1134309.151	0.009917995	40769	27.82283476	
Cemento 2	8628611.522	0.075445502	258949	33.32166381	
Cemento Total	17273915.24	0.151036954	533689	32.36700633	
CEMENTO					34.9
Despacho Granel	1490240.903	0.013030135	382907.26	3.891910806	
Despacho Bolsa	538943.6468	0.004712331	141182.66	3.817350139	
Despacho	175061.3029	0.017742466	524089.92	3.871825182	

Anexo III.4: Cálculos relacionados con las emisiones.

Cálculos de las emisiones de CO₂ originado en la producción de clínker. Fuente generadora: Quema de combustibles fósiles en el secador de la materia prima.

Calculado con base en el peso molecular del CO₂ respecto al peso molecular del carbono [O₂ / C (44 / 12)] (C = 12; O = 16; CO₂ = 44), y los consumos del área.

$$\frac{[Cantidad\ de\ Petcoke\ año * 44(peso\ molecular\ del\ CO_2)]}{12} = ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$\frac{[3934 * 44]}{12} = 14\ 424.66\ ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$\frac{[Cantidad\ de\ Diesel\ año * 44]}{12} = ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$\frac{[198330 * 44]}{12} = 727.21\ ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

Cálculos de las emisiones de SO₂ originado en la producción de clínker. Fuente generadora: Quema de combustibles fósiles en el secador de la materia prima.

Calculado con base en el peso molecular del SO₂ respecto al peso molecular del azufre

[O₂ / S (64 / 32)] (S= 32; O₂ = 16*2=32). Se toma en consideración que el Petcoke utilizado tiene un 4.5% de azufre, y la fracción en el diesel es de 1.1%, luego:

$$Cantidad\ de\ Comb.\ utilizado\ en\ el\ año * 0.045 = Cantidad\ de\ Azufre\ del\ Comb.$$

$$\frac{[Cantidad\ de\ Azufre\ del\ Comb. * 64(peso\ molecular\ del\ SO_2)]}{32} = ton\ de\ SO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

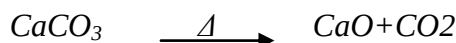
$$\frac{[3934 * 0.045 * 64]}{32} = 354.06\ ton\ de\ SO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

*Cantidad de Comb. utilizado en el año * 0.011 = Cantidad de Azufre del Comb.*

$$\frac{[198330kg * 0.011 * 64]}{32} = 4\ 363.26\ kg\ de\ SO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

Cálculos de las emisiones de CO₂ originado en la producción de clínker. Fuente generadora: Descarbonatación de la materia prima en la producción de clínker.

Reacción química de la descarbonatación de la caliza, que se produce liberando CO₂:



Calculado con base en el peso molecular del CO₂ respecto al peso molecular del CaO

[CO₂ / CaO (44 / 56)] (C = 12; O = 16; Ca = 40)

$$\begin{aligned} & \frac{1.6\ t\ de\ crudo}{t\ de\ clinker} * 0.785(FEC) * 0.44(Fracción\ de\ CO_2\ en\ el\ CaCO_3) \\ & * 1023291(Cant.\ de\ clinker\ prod.) \\ & = 565\ 511.54\ ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año. \end{aligned}$$

Datos:

Contenido de CaCO₃ en el Crudo = 0,785

Cálculos de las emisiones de CO₂, NO_x, SO_x originado en la producción de clínker. Fuente generadora: Quema de combustibles fósiles en el horno de producción de clínker.

CO₂

$$\frac{[Cantidad\ de\ Petcoke * 44]}{12} = ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$\frac{[108257 * 44]}{12} = 396\ 942.33\ ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$\frac{[Cantidad\ de\ Diesel\ año * 44]}{12} = ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$\frac{[238360 * 44]}{12} = 873.986\ ton\ de\ CO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

SOX

$$Cantidad\ de\ Comb.\ Piroproceso * 0.045 = Cantidad\ de\ Azufre\ del\ Comb.$$

$$\frac{[Cantidad\ de\ Azufre\ del\ Comb. * 64(peso\ molecular\ del\ SO_2)]}{32} = ton\ de\ SO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$\frac{[108257 * 0.045 * 64]}{32} = 9\ 743.13\ ton\ de\ SO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

$$Cantidad\ de\ Comb.\ utilizado\ en\ el\ año * 0.011 = Cantidad\ de\ Azufre\ del\ Comb.$$

$$\frac{[238360 * 0.011 * 64]}{32} = 5\ 243.92\ ton\ de\ SO_2\ emitidas\ en\ el\ año.$$

NOX

$$\begin{aligned}
 &Concentracion\ de\ NOX\ en\ el\ analizador\ de\ gases * gasto\ de\ aire\ del\ sistema \\
 &\quad * \% \text{ de trabajo del ventilador} * 10^{-12} ton * 24(h) \\
 &\quad * 320\ dias\ de\ trabajo = ton\ NOX\ emitidas\ en\ el\ año.
 \end{aligned}$$

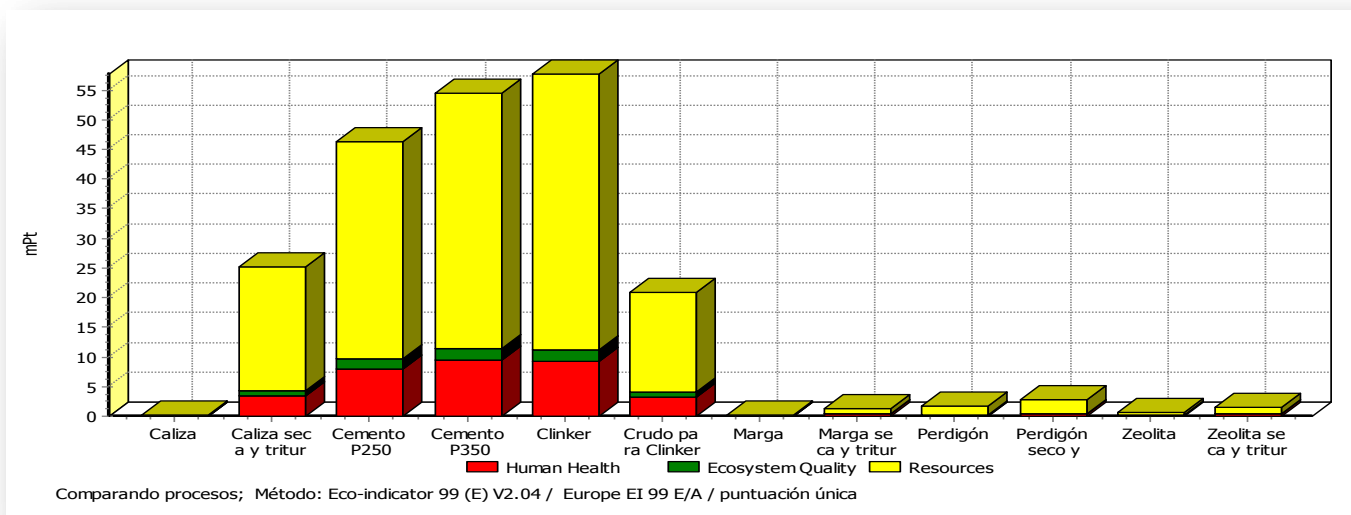
$$900\ ppm * \frac{540000m^3}{h} * 0.9 * 10^{-12} ton * 24h * 32 = 33.59\ ton\ NOX\ emitidas\ en\ el\ año$$

Anexo III.5: Gráficos y Tablas correspondientes al análisis con el método Eco-Indicador 99 (E) V2.04 / Europe EI 99 E/A
Comparación de procesos según el método Eco-Indicador 99 (E) V2.04 / Europe EI 99 E/A. Indicador: puntuación única por categoría de impacto

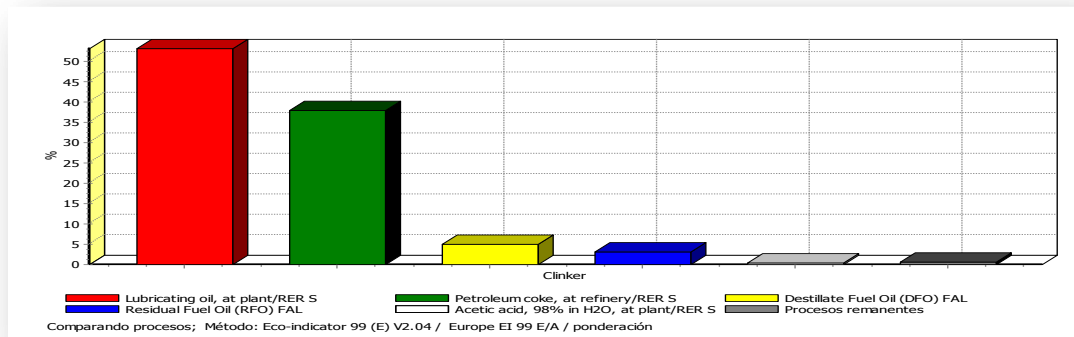
Categoría de impacto	U M	Caliza	Caliza seca y triturada	Cemento P250	Cemento P350	Clinker	Crudo para Clinker	Marga	Marga seca y triturada	Perdigón	Perdigón seco y triturado	Zeolita	Zeolita seca y triturada
Total	Pt	2.22E-04	2.52E-02	4.62E-02	5.45E-02	5.77E-02	2.08E-02	3.08E-04	1.22E-03	1.80E-03	2.87E-03	7.05E-04	1.59E-03
Carcinogens	Pt	1.24E-06	1.59E-04	3.33E-04	3.93E-04	3.73E-04	1.27E-04	1.62E-06	1.08E-05	4.04E-06	1.60E-05	3.64E-06	1.21E-05
Respiratory organics	Pt	2.37E-07	4.03E-05	4.86E-05	5.74E-05	6.11E-05	3.18E-05	3.46E-07	8.14E-07	9.69E-07	1.57E-06	7.95E-07	1.24E-06
Respiratory inorganics	Pt	4.11E-05	2.59E-03	6.16E-03	7.25E-03	7.19E-03	2.60E-03	4.12E-05	2.73E-04	7.11E-05	3.37E-04	8.68E-05	3.10E-04
Climate change	Pt	6.40E-06	5.86E-04	1.46E-03	1.71E-03	1.58E-03	5.66E-04	7.45E-06	4.53E-05	1.63E-05	6.58E-05	1.63E-05	5.11E-05
Radiation	Pt	1.06E-07	1.56E-05	1.94E-05	2.28E-05	2.45E-05	1.18E-05	1.45E-07	2.57E-07	3.79E-07	4.96E-07	3.29E-07	4.45E-07
Ozone layer	Pt	2.25E-08	1.82E-06	3.78E-06	4.44E-06	4.49E-06	1.55E-06	2.74E-08	1.03E-07	6.25E-08	1.54E-07	6.06E-08	1.33E-07
Ecotoxicity	Pt	2.29E-06	2.02E-04	5.29E-04	6.26E-04	5.68E-04	1.98E-04	2.53E-06	1.92E-05	5.10E-06	2.74E-05	5.46E-06	2.06E-05
Acidification/Eutrophication	Pt	5.66E-06	2.04E-04	4.70E-04	5.52E-04	5.29E-04	1.85E-04	4.90E-06	1.65E-05	5.80E-06	2.06E-05	9.81E-06	2.06E-05
Land use	Pt	2.08E-06	0.00044673	0.000684	0.00080563	0.00088211	0.00033821	3.37E-06	1.09E-05	9.77E-06	1.74E-05	7.79E-06	1.54E-05
Minerals	Pt	6.03E-07	0.00016118	0.00018757	0.00022213	0.00024868	0.00014121	1.00E-06	1.40E-06	0.00097739	0.00099731	2.34E-06	2.76E-06
Fossil fuels	Pt	0.00016199	0.02076579	0.03632431	0.04289948	0.04621363	0.01660076	0.0002454	0.00083997	0.00071103	0.00138536	0.00057193	0.0011534

Comparación de procesos según el método Eco-Indicador 99 (E) V2.04 / Europe EI 99 E/A. Indicador: puntuación única por categoría de daño.

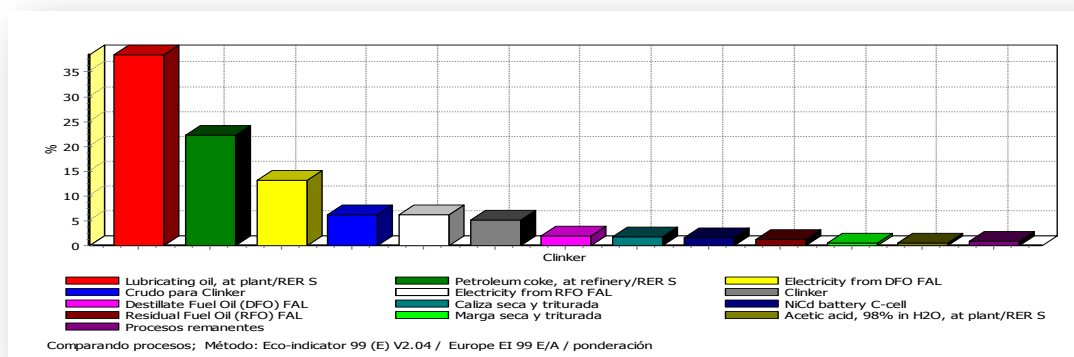
Daño de categoría	U M	Caliza	Caliza seca y triturada	Cemento P250	Cemento P350	Clinker	Crudo para Clinker	Marga	Marga seca y triturada	Perdígón	Perdígón seco y triturado	Zeolita	Zeolita seca y triturada
Total	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Human Health	%	22.15	13.47	17.36	17.31	16.01	16.03	16.50	27.09	5.16	14.66	15.30	23.60
Ecosystem Quality	%	4.53	3.39	3.64	3.64	3.43	3.47	3.51	3.83	1.15	2.28	3.27	3.57



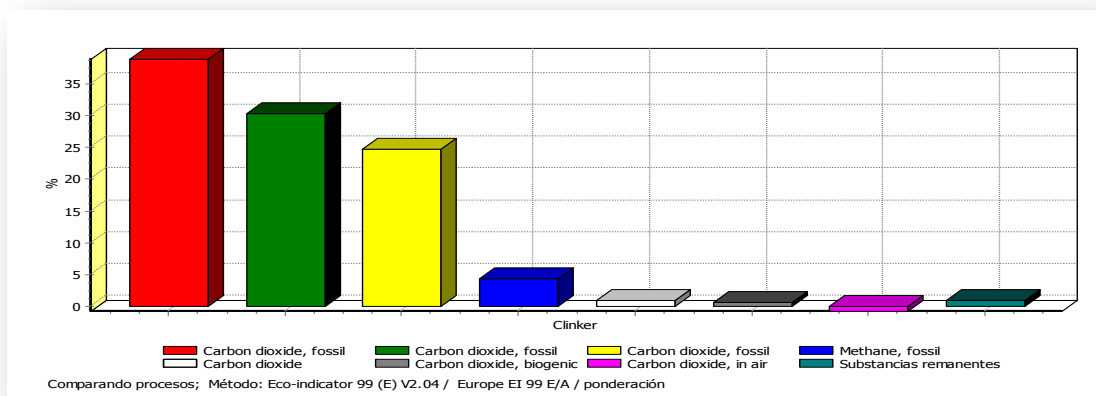
Representación grafica de la comparación de procesos según el método Eco-Indicador 99 (E) V2.04 / Europe EI 99 E/A. Indicador: puntuación única por categoría de daño.



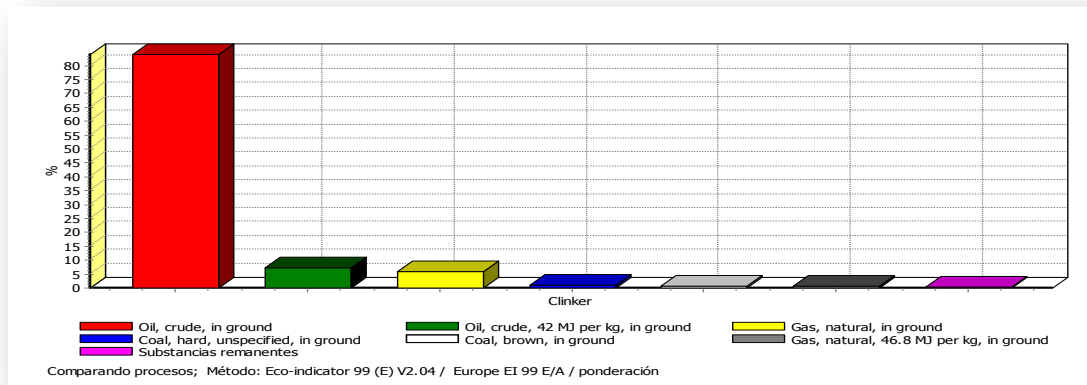
Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría fossil fuel y recursos para 1t de clinker.



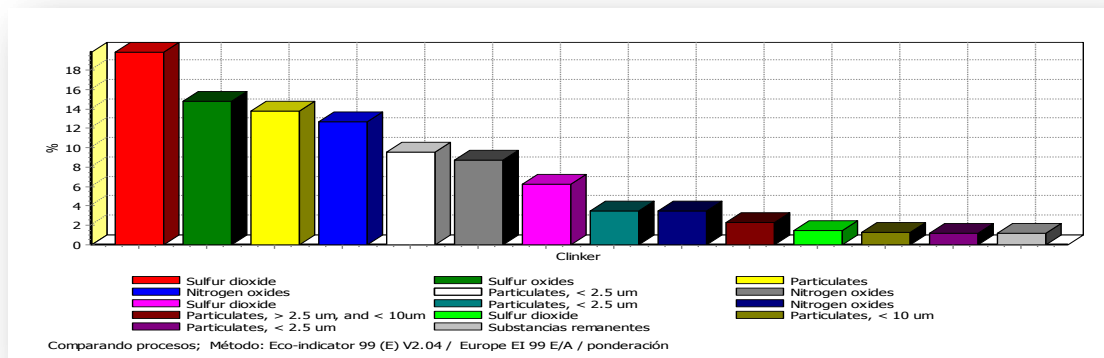
Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría respiración de inorgánicos para 1t de clinker.



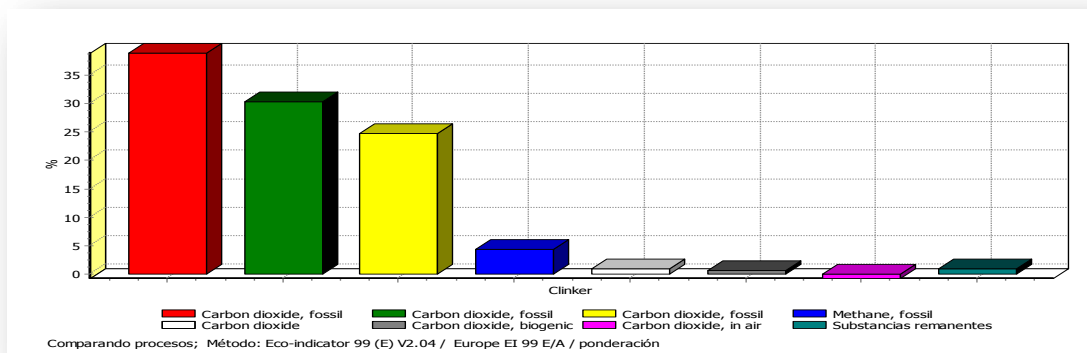
Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de cambio climático para 1t de clinker.



Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría fossil fuel y recursos para 1t de clinker.

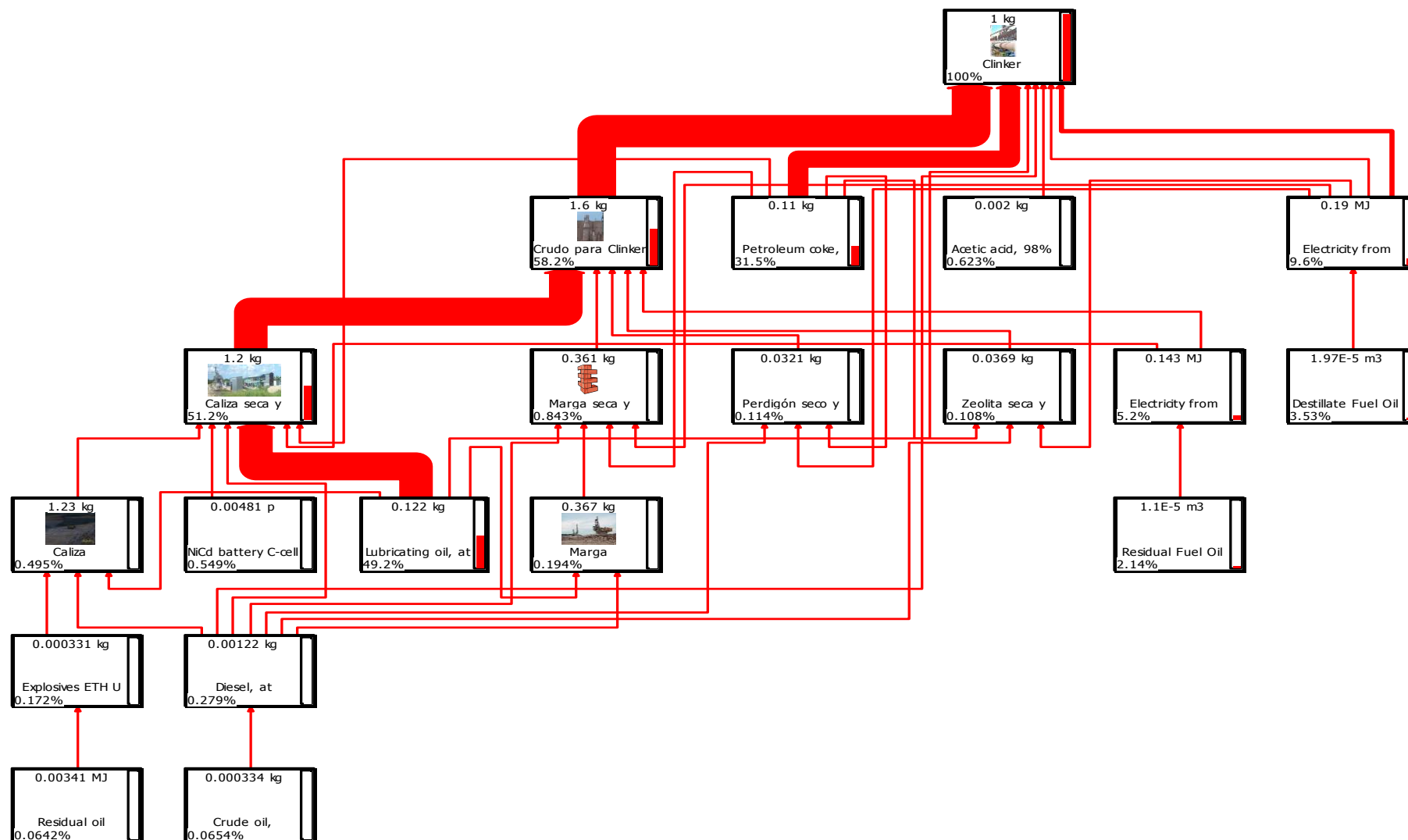


Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría respiración de inorgánicos para 1t de clinker.



Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de cambio climático para 1t de clinker.

Anexo III.6: Red del proceso de producción de clínker.



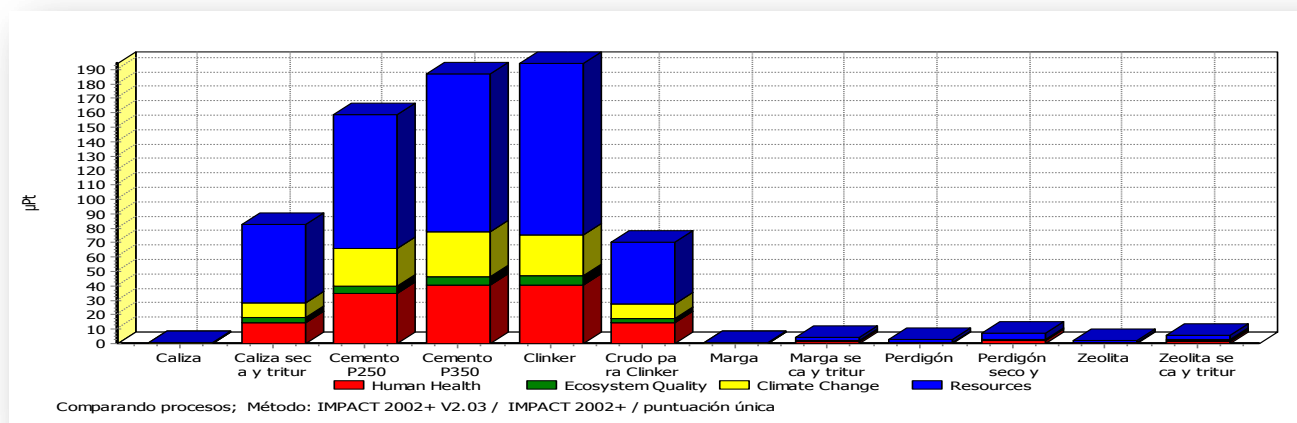
Anexo III.7: Gráficos y Tablas correspondientes al análisis con el Método IMPACT 2002+.

Comparación de procesos según Método IMPACT 2002+. Indicador: Puntuación única por categoría de impacto.

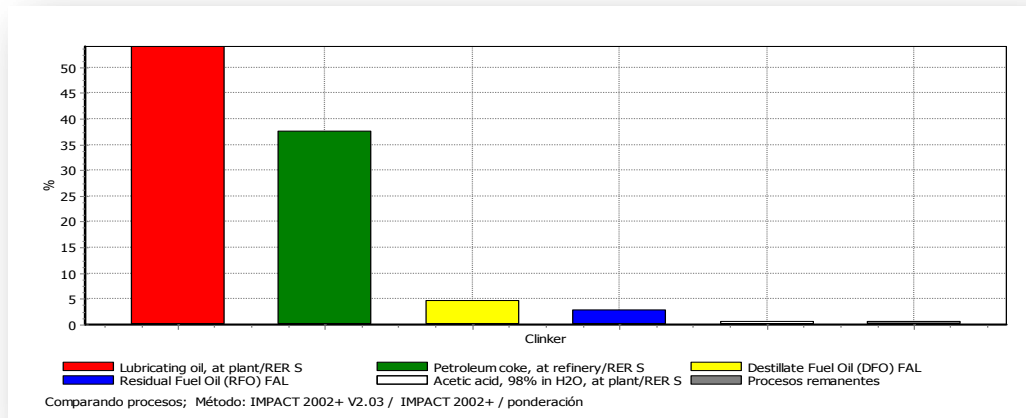
Categoría de impacto	U M	Caliza	Caliza seca y triturada	Cemento P250	Cemento P350	Clinker	Crudo para Clinker	Marga	Marga seca y triturada	Perdigón	Perdigón seco y triturado	Zeolita	Zeolita seca y triturada
Total	Pt	7.8315E-07	8.25229E-05	0.000158592	0.000187053	0.000193962	7.03476E-05	1.0253E-06	4.53956E-06	2.78897E-06	6.90507E-06	2.31674E-06	5.69653E-06
Carcinogens	Pt	3.50421E-09	4.71322E-07	6.75687E-07	7.98259E-07	8.86547E-07	3.59047E-07	4.96703E-09	1.24127E-08	1.3578E-08	2.14289E-08	1.13949E-08	1.89149E-08
Non-Carcinogens	Pt	3.57446E-09	5.65036E-07	8.99716E-07	1.06236E-06	1.12874E-06	4.41168E-07	5.08869E-09	1.87408E-08	1.36984E-08	2.96441E-08	1.1611E-08	2.47965E-08
Respiratory inorganics	Pt	2.20739E-07	1.34316E-05	3.26059E-05	3.83393E-05	3.7933E-05	1.36198E-05	2.19199E-07	1.46812E-06	3.70954E-07	1.80233E-06	4.60028E-07	1.66273E-06
Ionizing radiation	Pt	5.99904E-10	8.9392E-08	1.10904E-07	1.30263E-07	1.40354E-07	6.7489E-08	8.25359E-10	1.46611E-09	2.16955E-09	2.83883E-09	1.8716E-09	2.53493E-09
Ozone layer depletion	Pt	1.22754E-10	9.94789E-09	1.88943E-08	2.21971E-08	2.29327E-08	8.10078E-09	1.49559E-10	4.79032E-10	3.41869E-10	7.24353E-10	3.31137E-10	6.50488E-10
Respiratory organics	Pt	1.28729E-09	2.18952E-07	2.63549E-07	3.11625E-07	3.3154E-07	1.7288E-07	1.87661E-09	4.42078E-09	5.25979E-09	8.54087E-09	4.31565E-09	6.72096E-09
Aquatic ecotoxicity	Pt	6.79842E-10	8.56731E-08	1.36446E-07	1.59931E-07	1.70497E-07	6.50024E-08	8.51524E-10	2.35349E-09	1.88806E-09	3.42277E-09	1.86444E-09	3.38539E-09
Terrestrial ecotoxicity	Pt	1.66034E-08	2.72701E-06	4.33872E-06	5.12445E-06	5.61293E-06	2.09294E-06	2.27559E-08	8.02402E-08	6.01082E-08	1.22048E-07	5.15797E-08	1.08633E-07
Terrestrial acid/nutri	Pt	5.29167E-09	1.90691E-07	4.38938E-07	5.16315E-07	4.94966E-07	1.73198E-07	4.58271E-09	1.54202E-08	5.42488E-09	1.92177E-08	9.17532E-09	1.92714E-08
Land occupation	Pt	4.7747E-10	8.33495E-08	1.18524E-07	1.36905E-07	1.33276E-07	6.29447E-08	7.59741E-10	1.44991E-09	1.84005E-09	2.55334E-09	1.69091E-09	2.40122E-09
Global warming	Pt	1.14836E-07	1.0425E-05	2.59315E-05	3.05618E-05	2.84462E-05	1.01556E-05	1.32763E-07	8.27228E-07	2.88936E-07	1.1978E-06	2.90595E-07	9.27798E-07
Non-renewable energy	Pt	4.15382E-07	5.42069E-05	9.30305E-05	0.000109862	0.000118631	4.3112E-05	6.31385E-07	2.10708E-06	1.83366E-06	3.49955E-06	1.47206E-06	2.91842E-06

Comparación de procesos según Método IMPACT 2002+. Indicador: Puntuación única por categoría de daño.

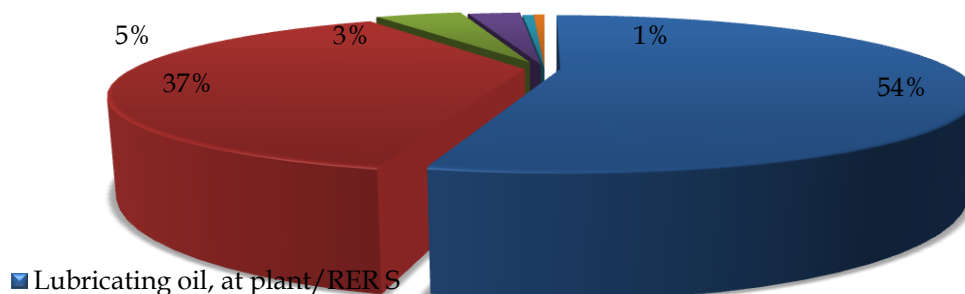
Daño de categoría	U M	Caliza	Caliza seca y triturada	Cemento P250	Cemento P350	Clinker	Crudo para Clinker	Marga	Marga seca y triturada	Perdigón	Perdigón seco y triturado	Zeolita	Zeolita seca y triturada
Total	%	100	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Human Health	%	29.35	17.92	21.80	21.74	20.85	20.85	22.64	33.17	14.56	27.02	21.13	30.13
Ecosystem Quality	%	2.94	3.74	3.17	3.17	3.31	3.40	2.82	2.19	2.48	2.13	2.78	2.35
Climate Change	%	14.66	12.63	16.35	16.34	14.67	14.44	12.95	18.22	10.36	17.35	12.54	16.29
Resources	%	53.05	65.71	58.67	58.75	61.18	61.31	61.59	46.42	72.60	53.50	63.55	51.24



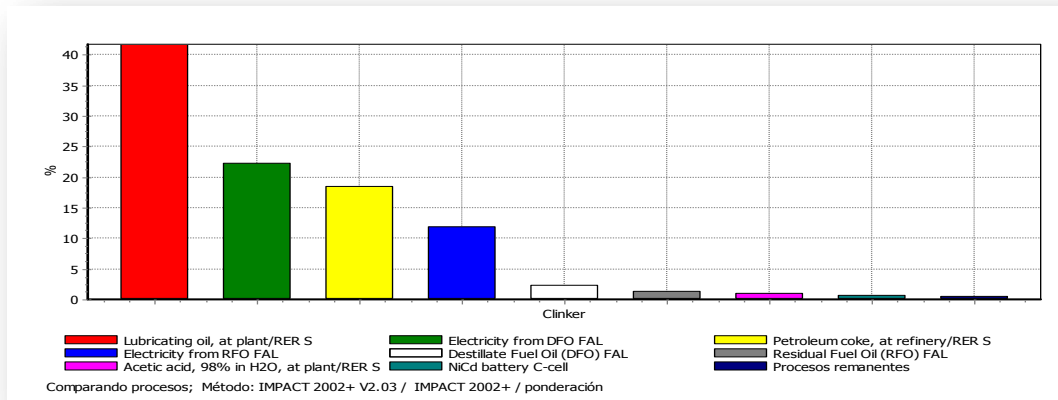
Representación gráfica de la comparación de procesos según Método IMPACT 2002+. Indicador: Puntuación única por categoría de daño.



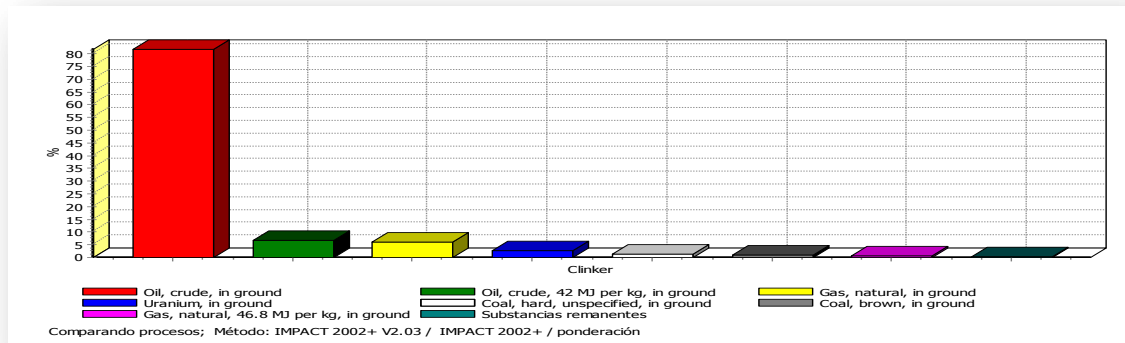
Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría respiración de inorgánicos para 1t de clinker.



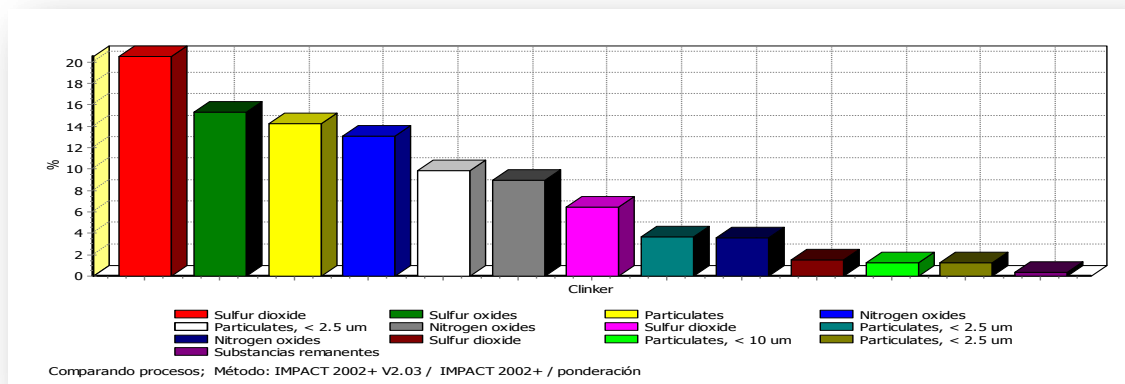
Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría energía no renovable para 1t de clinker.



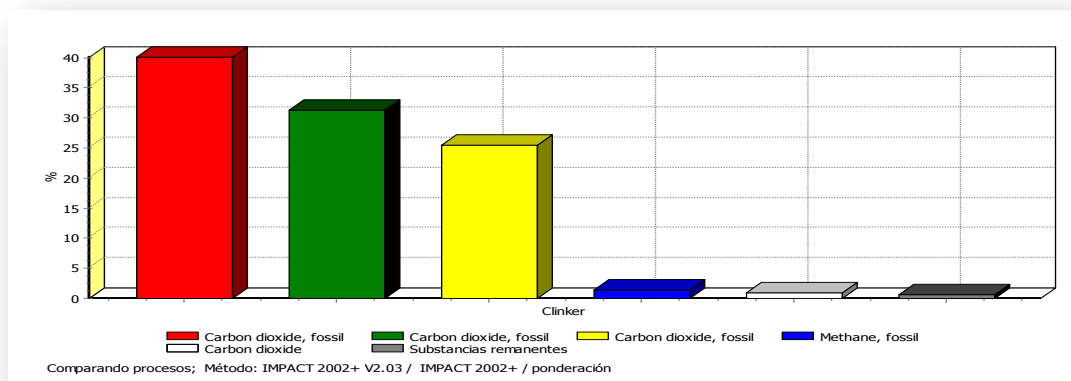
Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría de calentamiento global para 1t de clinker.



Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría energía no renovable y daño a los recursos, para 1t de clínker.



Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría respiración de inorgánicos para 1t de clínker.



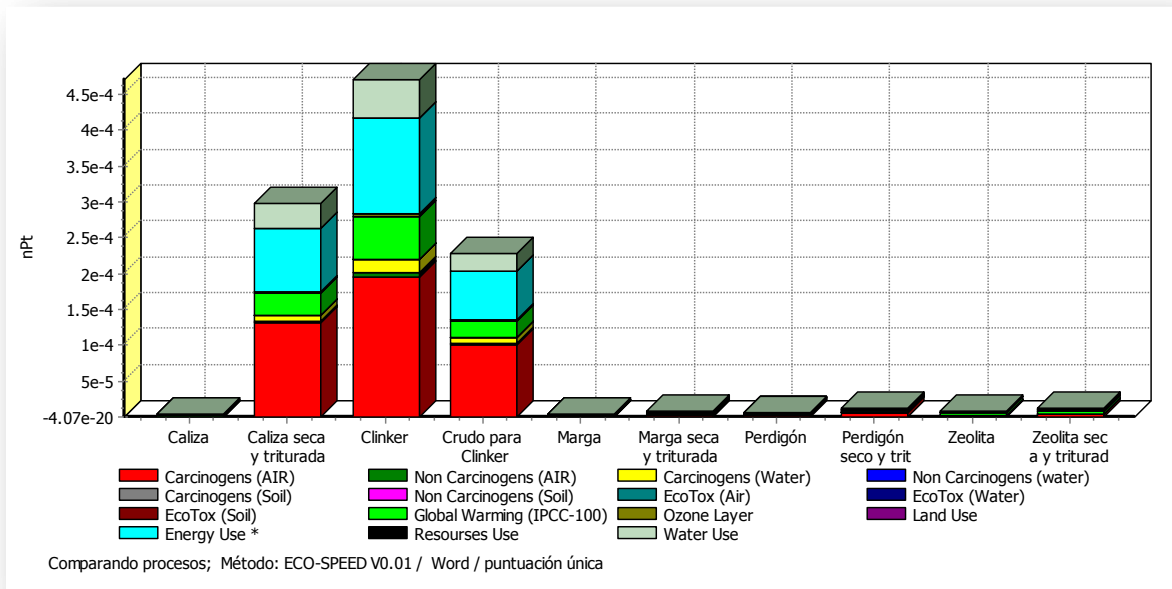
Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de impacto calentamiento global para 1t de clínker.

Anexo III.8: Gráficos y Tablas correspondientes al análisis con el Método IMPACT 2002+. Comparación de procesos según Método ECO-SPEED V0.01 / Word. Indicador: Puntuación única por categoría de impacto.

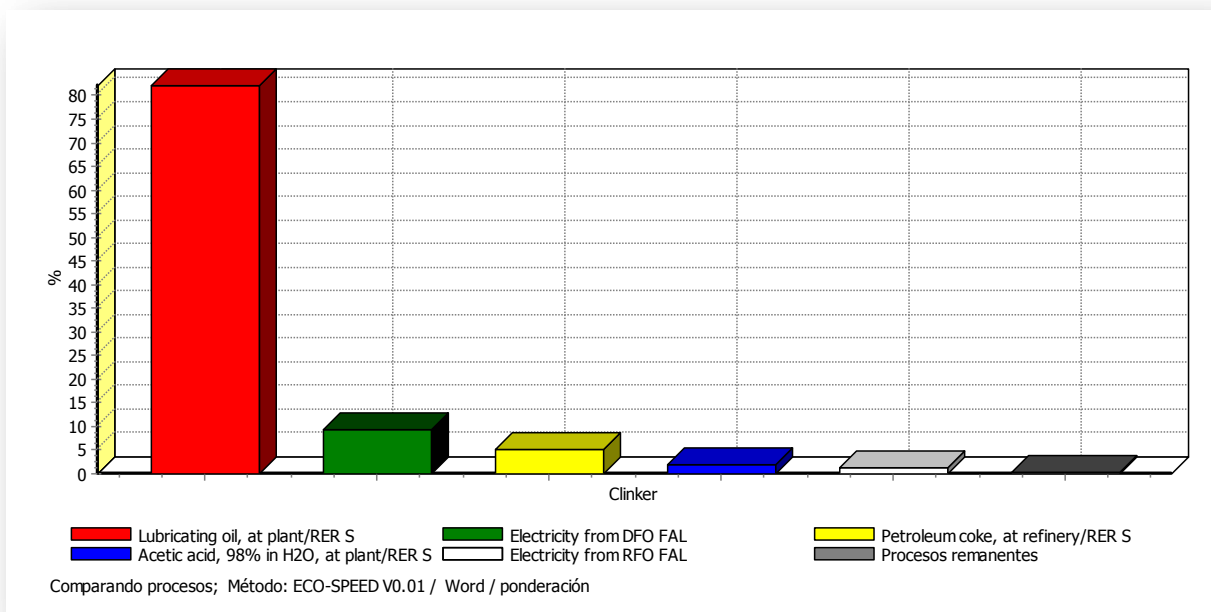
Categoría de impacto	U M	Caliza	Caliza seca y triturada	Cemento P250	Cemento P350	Clinker	Crudo para Clinker	Marga	Marga seca y triturada	Perdigón	Perdigón seco y triturado	Zeolita	Zeolita seca y triturada
Total	Pt	3.33E-15	2.97E-13	4.08E-13	4.74E-13	4.71E-13	2.29E-13	3.60E-15	7.43E-15	7.01E-15	1.15E-14	7.70E-15	1.14E-14
Carcinogens (AIR)	Pt	6.60E-16	1.32E-13	1.56E-13	1.85E-13	1.95E-13	1.01E-13	1.01E-15	2.75E-15	2.97E-15	5.29E-15	2.35E-15	3.96E-15
Non Carcinogens (AIR)	Pt	2.24E-18	9.65E-16	5.15E-15	5.95E-15	6.40E-15	2.55E-15	3.28E-18	6.19E-16	9.14E-18	6.25E-16	7.54E-18	6.23E-16
Carcinogens (Water)	Pt	6.37E-17	8.59E-15	1.37E-14	1.62E-14	1.81E-14	6.53E-15	1.01E-16	2.79E-16	3.03E-16	4.85E-16	2.37E-16	4.18E-16
Non Carcinogens (water)	Pt	6.44E-21	9.04E-19	1.54E-18	1.82E-18	2.03E-18	6.87E-19	1.04E-20	2.88E-20	3.18E-20	5.07E-20	2.46E-20	4.33E-20
Carcinogens (Soil)	Pt	1.30E-22	2.92E-20	3.48E-20	4.12E-20	4.62E-20	2.21E-20	2.11E-22	4.26E-22	6.45E-22	8.69E-22	4.95E-22	7.16E-22
Non Carcinogens (Soil)	Pt	2.11E-23	4.70E-21	4.91E-21	5.81E-21	6.52E-21	3.54E-21	3.43E-23	4.96E-23	1.05E-22	1.22E-22	8.03E-23	9.66E-23
EcoTox (Air)	Pt	9.18E-24	7.26E-22	9.17E-21	1.09E-20	1.22E-20	5.63E-22	9.27E-24	1.29E-23	1.62E-23	1.99E-23	1.95E-23	2.33E-23
EcoTox (Water)	Pt	3.53E-20	5.09E-18	1.00E-17	1.19E-17	1.25E-17	4.24E-18	5.79E-20	2.53E-19	1.78E-19	4.10E-19	1.37E-19	3.24E-19
EcoTox (Soil)	Pt	4.20E-22	9.32E-20	9.86E-20	1.17E-19	1.31E-19	7.02E-20	6.82E-22	1.02E-21	2.08E-21	2.45E-21	1.60E-21	1.96E-21
Global Warming (IPCC-100)	Pt	1.91E-15	3.11E-14	8.54E-14	9.36E-14	6.06E-14	2.42E-14	1.44E-15	1.94E-15	7.63E-16	1.29E-15	2.70E-15	3.22E-15
Ozone Layer	Pt	2.49E-17	2.02E-15	3.83E-15	4.50E-15	4.65E-15	1.64E-15	3.03E-17	9.69E-17	6.93E-17	1.47E-16	6.71E-17	1.32E-16
Land Use	Pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy Use *	Pt	4.77E-16	8.88E-14	1.02E-13	1.21E-13	1.34E-13	6.70E-14	7.22E-16	1.23E-15	2.08E-15	2.61E-15	1.67E-15	2.20E-15
Resources Use	Pt	1.08E-20	5.22E-17	4.78E-17	5.67E-17	6.37E-17	3.92E-17	1.78E-20	3.52E-20	5.40E-20	7.21E-20	4.17E-20	5.97E-20
Water Use	Pt	1.94E-16	3.38E-14	4.07E-14	4.80E-14	5.28E-14	2.55E-14	2.89E-16	5.22E-16	8.18E-16	1.06E-15	6.66E-16	9.08E-16

Comparación de procesos según Método ECO-SPEED V0.01 / Word. Indicador: Puntuación única por categoría de impacto.

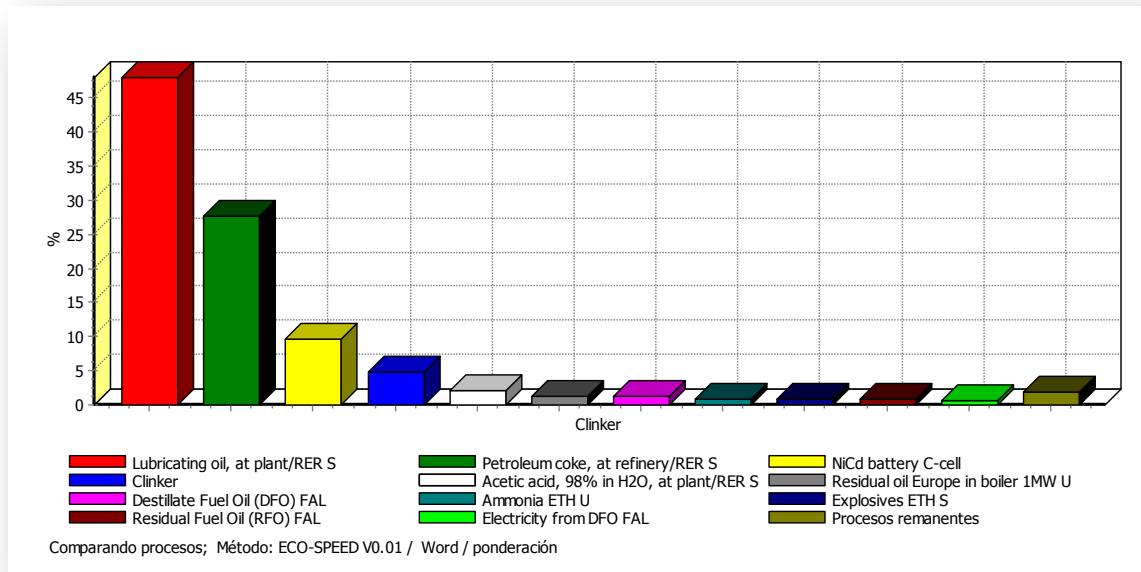
Daño de categoría	U M	Caliza	Caliza seca y triturada	Cemento P250	Cemento P350	Clinker	Crudo para Clinker	Marga	Marga seca y triturada	Perdigón	Perdigón seco y triturado	Zeolita	Zeolita seca y triturada
Total	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ozone Layer	%	0.75	0.68	0.94	0.95	0.99	0.72	0.84	1.30	0.99	1.27	0.87	1.15
Climate Change	%	57.31	10.46	20.95	19.72	12.88	10.59	39.93	26.08	10.88	11.19	35.04	28.10
Eco Toxicity	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Human Toxicity	%	21.79	47.54	42.98	43.70	46.53	48.19	31.11	49.07	46.80	55.61	33.74	43.65
Land Use	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Energy Use	%	14.33	29.90	25.13	25.49	28.36	29.30	20.08	16.51	29.66	22.69	21.70	19.17
Resources Use	%	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Use	%	5.83	11.39	9.99	10.13	11.22	11.17	8.03	7.03	11.67	9.23	8.65	7.93



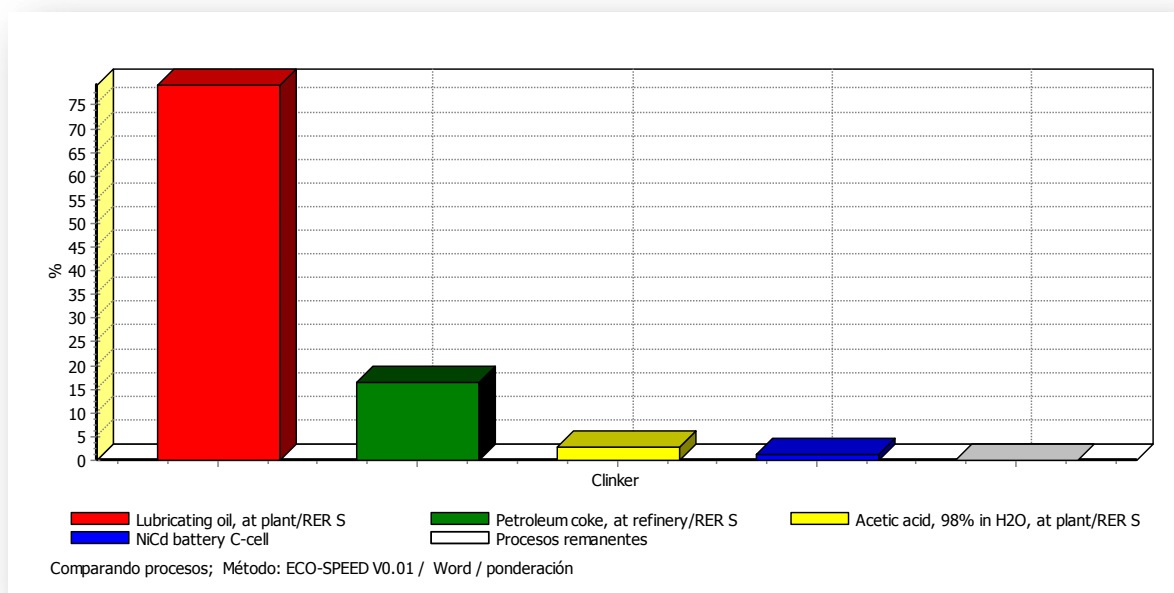
Representación gráfica de la comparación de procesos según Método IMPACT 2002+.
Indicador: Puntuación única por categoría de daño.



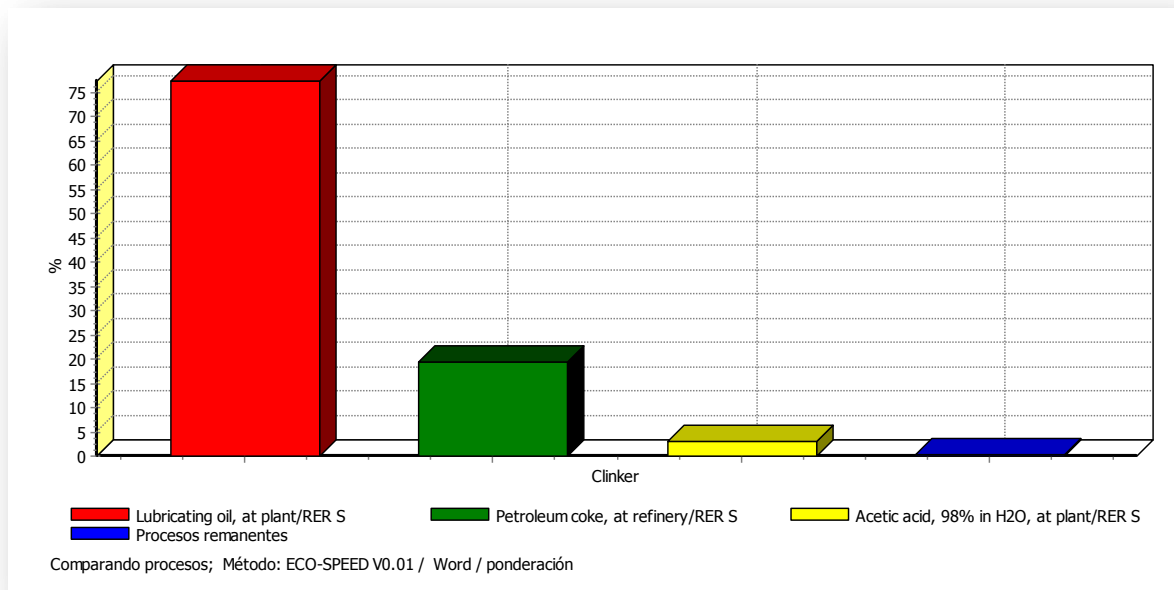
Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría Carciogénicos (Aire) para 1t de clinker.



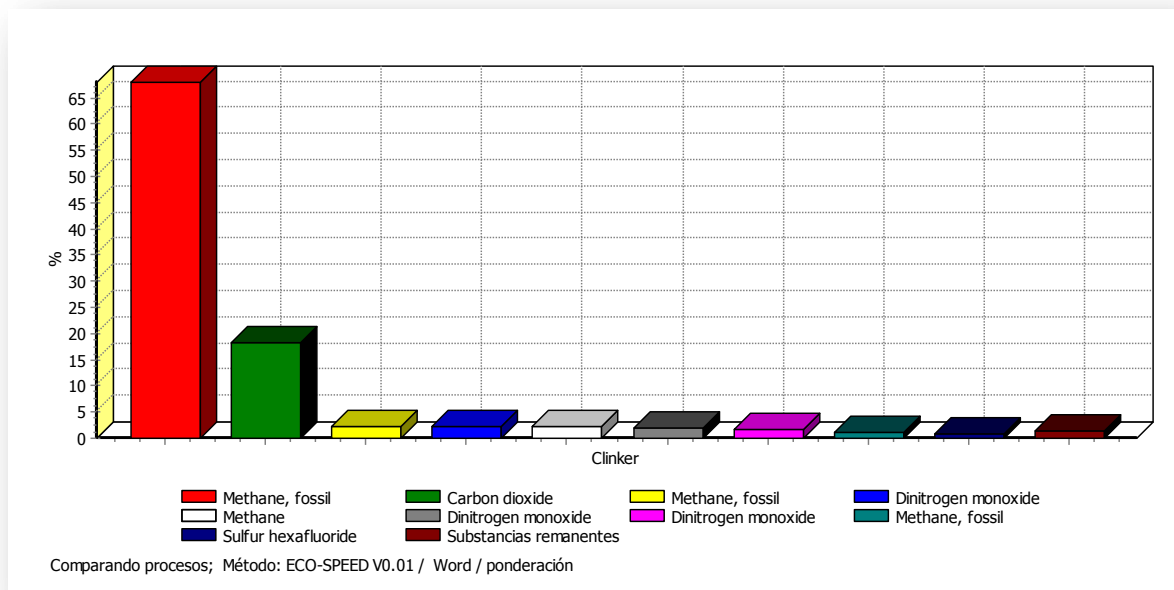
Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría de Calentamiento global para 1t de clinker.



Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría de Uso de Energía para 1t de clinker.



Representación gráfica de los procesos que intervienen en la categoría de Uso de Agua para 1t de clinker.



Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de impacto calentamiento global para 1t de clinker.

Anexo III.9: Características y criterios de empleo de los cementos producidos por Cementos Cienfuegos S.A

	Cemento Portland 350; PP-350	Cemento Portland Pozolánico PP-250	Cemento Pozolánico PZ-250
Características	Baja retracción.	Bajo calor de hidratación.	Hormigones más trabajables y compactos
	Resistencia mecánica alta.	Baja retracción.	Impermeables
		Endurecimiento algo más lento que el portland I.	Mayor resistencia química
Limitaciones	Poca resistencia química.	Resistencia mecánica media	Evolución de resistencias más lenta que el portland.
Indicado para	Hormigón armado.	Obras de Hormigón en masa donde no se requieran altas resistencias en las primeras edades.	Obras de hormigón en masa de grandes volúmenes
	Hormigón pretensado.	Hormigón con áridos potencialmente reactivos con los álcalis del cemento.	Obras marítimas, vertederos industriales o sanitarios.
	Prefabricado, incluso con tratamiento higrotérmico.	Hormigón armado con resistencia característica a compresión a los 28 días de hasta 20 MPa	Obras en medios agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez.
	Obras de hormigón armado que requieren endurecimiento rápido y altas resistencias.	Cimentaciones	Hormigones muy impermeables.
		Pavimentos de hormigón y firmes de carretera.	Prefabricados con tratamiento higrotérmico.
		Obras de hormigón donde se requiera una alta o moderada resistencia a los sulfatos y disminuir los riesgos de figuración.	
		Morteros de albañilería en general.	
		Producción de bloques con tecnología criolla.	
		Producción de mosaicos.	
		Producción de elementos de suelo cemento.	
No Indicado para	Obras en aguas, terrenos o ambientes agresivos.	Hormigones pretensados	Hormigonado en climas secos o fríos.
	Piezas de hormigón	Hormigones para elementos	Obras en ambientes muy

	armado de gran espesor.	estructurales prefabricados,	agresivos.
	Elementos o piezas fisurables por retracción.	Hormigones para desencofrado rápido ni cuando se requieran altas resistencias.	Obras que requieren altas resistencias iniciales.
Precauciones	Cuidar el amasado y, sobre todo, el curado.	Evitar la contaminación con otros cementos o materiales.	Curar prolongadamente, sobre todo en climas secos y fríos.
	Precauciones para evitar fisuración por retracción durante las primeras horas.	Curado húmedo intenso hasta los primeros 15 días sin dejar secar la superficie del elemento	Evitar desecación durante el primer periodo de
		Tiempo de desencofrado debe incrementarse de 14 a 21 días.	Endurecimiento en climas cálidos y secos.

Anexo III.10: Pruebas de control de la calidad del Cemento.

Resultados PP-350			
Blaine	RC3	RC7	RC 28
	28.0	38.1	51.6
	27.6	35.0	48.8
	27.8	36.5	50.2
	30.6	38.7	53.7
3628	28.2	38.7	54.4
3624	30.3	41.0	55.9
3549	28.9	41.6	56.3
3299	29.3	36.6	52.0
3308	26.6	36.8	49.7
3326	27.9	38.1	50.7
3455	26.8	38.3	55.9
3588	24.7	32.7	46.0

Resultados P-350							
% adc	Blaine	C--3	C--7	C-28	F-3	F--7	F-28
5.44	3135	32	40.0	50.2	5.8	6.6	7.4
4.55	2990	32.3	36.9	54.4	5.8	6.1	7.8
5.22	2996	35.1	38.0	49.5	5.3	6.4	7.7
5.25	2990	31.8	42.0	52.9	5.6	6.6	7.2
4.61	3059	32	39.0	52.9	5.5	6.9	8
4.43	2922	33.8	38.7	52.0	5.5	6.5	7.6
4.51	2743	30.4	38.9	51.2	5.9	6.8	7.6
4.94	3016	26.6	33.5	52.8	4.7	4.7	7.3
4.44	2964	30.0	37.6	51.0	5.6	6.8	7.9
4.80	3047	31.4	36.0	47.8	5.4	6.2	7.5
4.72	3021	28.4	39.4	49.8	4.7	6.1	56.6
4.77	2990	27.6	35.4	46.1	5.0	6.3	7.3
4.85	3056	26.3	34.1	54.1	4.8	5.8	8.3
4.95	3017	23.3	36.2	51.2	4.2	6.3	7.5
5.10	2976	29.5	34.2	46.3	4.8	5.4	7.5
4.99	3038	24.6	41.2	54.7	4.5	6.7	7.5
4.80	3113	30.0	36.5	47.2	5.2	6.3	7.2
4.86	3118	26.7	39.1	47.7	5.1	6	6.8
4.95	3121	29.7	36.5	46.9	5.2	6.2	7.3
4.94	3159	28.6	39.1	54.6	5.0	6.4	8.4
4.92	3005	28.5	39.3	50.6	4.8	6.5	8.8
4.80	3109	29.7	38.1	51.3	5.2	6.6	8.5
4.84	3066	23.8	33.8	47.7	4.4	6.0	7.4

4.88	3381	25.8	37.8	51.6	4.7	6.3	7.4
4.88	3277	23.1	32.2	47.9	4.6	5.8	7.5
4.85	3101	21.3	27.2	41.7	3.7	4.8	7

Resultados PZ-250			
Blaine	RC3	RC7	RC 28
3700		170	320
3750		175	333
3800		174	351
3600		172	318
3580		173	300
3595		176	310
3690		179	312
3700		174	335
3760		178	340
3780		176	342
3820		200	360
3800		180	355

Resultados PP-250							
% Adic.	Blaine	%adic Si	%adi RI	C7	C28	F7	F28
16.03	4020			32.6	41.3	6.0	6.0
18.76	3922			28.0	44.3	4.9	7.3
17.99	4006			30.6	47.4	5.3	6.1
21.00	3142	21.5	36.5	21.5	36.5	3.8	6.4
20.28	3193	23.0	36.2	23.0	36.2	4.6	6.40
18.19	3135	22.2	35.3	22.2	35.3	4.3	6.1
20.56	3283			28.3	34.3	5.3	6.3
20.56	3286	23.7		23.7	37.0	4.8	6.8
21.00	3204	35.2		23.2	35.4	4.2	6.7
21.11	3386			22.8	35.8	4.3	6.4
18.38	2938			26.2	44.2	4.3	7.0
20.06	3310			22.0	36.1	4.03	6.0
16.50	3604			26.4	37.6	4.8	6.3
19.78	2984			17.4	30.2	3.4	5.6
19.90	3297			24.3	35.9	4.7	6.9
19.12	3265			23.9	31.3	4.0	5.8

19.90	3318			23.4	35.9	4.5	6.6
20.23	3666			26.6	40.7	4.8	5.70
19.21	3379			21.0	32.2	4.2	
19.00	3947			32.7	47.0	5.5	7.1
18.86	3304			34.9	48.50	5.8	7.50
19.00	3130			27.7	38.4	5.3	6.1
19.07	3465			24.9	36.8	4.6	6.2
19.10	3448			24.5	37.1	4.7	6.3
18.70	3504			29.5	42.80	5.4	6.90