

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS**

**FACULTAD QUÍMICA FARMACIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



# **TRABAJO DE DIPLOMA**

## **TÍTULO**

*Propuestas de indicadores medioambientales y medidas de producción más limpias en la recicladora de neumáticos David Díaz Guadarrama de Santa Clara*

## **AUTOR**

*Liusmar Maturell Rodriguez*

## **TUTORES**

*Msc. Isabel Cabrera Estrada*

*Dr. Iván Leandro Rodríguez Rico*

## **CONSULTANTE**

*Dr. Mayra C. Morales Pérez*

*2007*

**AÑO 49 DE LA REVOLUCIÓN**

# *TRABAJO DE DIPLOMA*

*Propuestas de indicadores medioambientales y medidas de producción más limpias  
en la recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama de Santa Clara*

*Liusmar Maturell Rodriguez*

**UCLV**





## **PENSAMIENTO**

*[...] Las sociedades de consumo son las responsables fundamentales de la destrucción atroz del medio ambiente. Ellas nacieron de las antiguas metrópolis y de políticas imperiales que, a su vez, engendraron el atraso y la pobreza que hoy azotan a la mayoría de la humanidad. Con solo el 20 % de la población mundial, ellas consumen las dos terceras partes de los metales y las tres cuartas partes de la energía que se produce en el mundo. Han envenenado los mares y ríos, han contaminado el aire, han debilitado y perforado la capa de ozono, han saturado la atmósfera de gases que alteran las condiciones climáticas con efectos catastróficos que ya empezamos a padecer [...]*

*Fidel Castro Ruz*



## **DEDICATORIA**

*A mi madre. Gracias por la herencia de tus virtudes.*

*A mi abuela. Por toda la formación de mis valores.*

*A mis padres. Ídolos significativos en mi vida.*

*A mi novia. Fiel compañera y amiga.*

*A mi hermana. Cuanto quisiera que hubieras seguido mi camino.*



**A** GRADDECIMIENTOS

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer en primer lugar a mi familia, especialmente a mi madre, a la cual debo todo lo positivo que acompaña mi personalidad, a mi abuela Cuca, a mi novia Marisol y mi querida suegra Solangel por todo su apoyo en los momentos más difíciles.*

*Especialmente a mis padres Iraide y Ezequiel quiero agradecerles, pues siempre he tenido su apoyo, comprensión y lo más grande que puede tener una persona: confianza y amor.*

*A mis tutores Isabel Cabrera e Iván Leandro debo agradecerle eternamente toda la ayuda, paciencia y exigencia que me brindaron todo el tiempo.*

*No quiero dejar de pasar por alto el agradecimiento eterno a mi profesor de preparación de prueba de ingreso Filgueira, gracias a él he podido llegar hasta aquí. A mi padrino Luis que siempre me transmite esas fuerzas que emanan de sus bendiciones.*

*A todos los profesores del departamento de ingeniería química les doy las gracias, ya que cada uno de ellos contribuyó en su momento a mi preparación profesional.*

*Por otra parte, a Yohanka y Yuliet de la recapadora de neumático de Santa Clara debo agradecerle su ayuda incondicional.*



# *R*ESUMEN

**RESUMEN**

El presente trabajo está relacionado con la temática medioambiental referido al proceso de recape de neumático, con fin de determinar los indicadores medioambientales y proponer medidas de producciones más limpias que permitan trazar estrategias para disminuir la generación de residuos y consumo ineficiente de energía fundamentalmente de combustibles fósiles no renovables cuya implementación prevee que mejore el desempeño de la recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama, la cual es el objeto de estudio.

En el mismo se elaboran todos los procedimientos y métodos de cálculos y experimentales que permitan la determinación de los indicadores, dentro de los cuales se encuentra el análisis energético y exergético, los balances de materiales y las mediciones experimentales.

Los resultados obtenidos muestran parámetros e indicadores fuera de los valores establecidos por normas y otras fuentes bibliográficas, tal es el caso de los residuales sólidos, la DQO, DBO<sub>5</sub>, grasas e hidrocarburos en los efluentes líquidos con valores fuera de la NC 27:99 y valores elevados de pérdidas de exergía y energía como son las prensas industriales, las tuberías con problemas de aislamiento térmico y por concepto de irreversibilidades en la válvula reductora. También se realiza la comparación de dos alternativas de homogenización de residuos sólidos, por trituración mecánica y por trituración criogénica siendo la primera más factible, pues se recupera la inversión en dos años, sin embargo la segunda en tres años.

El trabajo concluye con una serie de recomendaciones que serían de gran utilidad para la empresa en caso de que se le dieran cumplimiento.

**Palabras claves**

Impacto ambiental

Indicadores medioambientales

Exergía

Producción más limpia



## *SUMMARY*

The present work is related with the environmental thematic referred to the process of recover of tire, with end of determining the environmental indicators and propose measured of cleaner productions that allow to trace strategies in order to lessen the generation of residuals and inefficient consumption of fundamentally energy of fossil not renovable fuels whose implementation foresee that improves the acting of the David Díaz Guadarrama tire's recoverer, which is the object of study.

In the same are elaborated all the procedures and methods of calculations and experimental that they permit the determination of the indicators, within the which it meet the energy and exergy analysis, the balances of materials and the experimental mensurations.

The obtained results show parameters and indicators outside of value them established for standard and other bibliographic sources, such as the case of the solids residuals, the DQO, DBO<sub>5</sub>, grease and hydrocarbons in the liquid effluents with security outside of the NC 27: 99 and elevated security from exergy and energy losses like they are the industrial presses, the piping with thermal isolation problems and for irreversibility concept in the reducer valve. It also are carried out the comparison of two homogenization alternatives of solids residuals, for mechanic crushing and for cryogenic crushing being the first more feasible, if then recover the investment in two years, however the secondary in three years.

The work concludes with a series of recommendations that they would be of great utility for the company in case of that gives your execution.

### **Key words**

Environmental impact

Environmental indicators

Exergy

Cleaner production



**ÍNDICE**

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> <i>(Revisión Bibliográfica)</i>	
<b>1.1. Antecedentes históricos de la situación ambiental en Cuba.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Impacto ambiental. Generalidades.....</b>	<b>4</b>
1.2.1. Conceptos y definiciones.....	5
1.2.2. Las causas del impacto.....	6
1.2.3. Por qué los estudios de impacto ambiental .....	6
1.2.4. La Evaluación de Impacto Ambiental como herramienta eficaz para una gestión ambiental.....	7
<b>1.3. Aspectos básicos sobre indicadores de impacto ambiental.....</b>	<b>9</b>
1.3.1. Indicadores medioambientales y los sistemas de gestión medioambiental.....	9
1.3.2. Clasificación de los indicadores medioambientales.....	10
1.3.3. Ventajas y funciones más importantes de los indicadores medioambien- tales.....	12
<b>1.4. El consumo de energía como factor clave de impacto en el medio     ambiente.....</b>	<b>14</b>
1.4.1. Impacto socioeconómico del consumo de energía.....	15
1.4.2. Sistema de gestión energética.....	16
<b>1.5. Producción más limpia (P+L). Generalidades.....</b>	<b>17</b>
1.5.1. Concepto de P+L.....	18
1.5.2. Aplicación y evaluación de la P+L.....	18
<b>1.6. Algunas consideraciones acerca de los residuales.....</b>	<b>19</b>
1.6.1. Conceptos básicos.....	20
1.6.2. Clasificación de los residuales.....	20
1.6.3. Los neumáticos y su impacto ambiental.....	21
<b>1.7. Nociones acerca de los neumáticos.....</b>	<b>25</b>
1.7.1. Conceptualización de neumático.....	25

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>1.8. Balances de materiales y energía.....</b>	<b>27</b>
1.8.1. Consideraciones acerca de los balances de materiales y energía.....	27
1.8.2. La exergía. Aspectos teóricos.....	28
<b>1.9. Conclusiones parciales.....</b>	<b>33</b>
 <b>CAPÍTULO II</b> (Métodos y Procedimientos Aplicados) 	
<b>2.1. Información básica general.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2. Descripción tecnológica y energética.....</b>	<b>34</b>
2.2.1. Generalidades sobre el proceso tecnológico.....	34
2.2.2. Etapas del proceso tecnológico.....	35
2.2.3. Sistema energético.....	36
<b>2.3. Balance de energía en el generador de vapor.....</b>	<b>37</b>
2.3.1. Procedimiento para el cálculo de la eficiencia de los generadores de vapor por el método indirecto.....	38
<b>2.4. Procedimiento para el cálculo de las pérdidas energéticas en las prensas industriales.....</b>	<b>43</b>
2.4.1. Consumo de vapor en las prensas industriales.....	43
2.4.2. Pérdidas de energía en las prensas industriales.....	43
<b>2.5. Pérdida de calor en las tuberías.....</b>	<b>44</b>
2.5.1. Metodología para el cálculo de la pérdida de calor en las tuberías aisladas.....	45
2.5.2. Cálculo de la pérdida máxima de calor en las tuberías aisladas.....	46
2.5.3. Cálculo de pérdidas de calor tuberías sin aislamiento.....	47
<b>2.6. Análisis exergético.....</b>	<b>47</b>
2.6.1. Cálculo de exergía en el generador de vapor.....	47
2.6.2. Determinación de la exergía en la válvula reductora.....	50
<b>2.7. Residuales generados en el proceso.....</b>	<b>50</b>
2.7.1. Cantidad de residuos sólidos generado por unidad procesada.....	50
2.7.2. Caracterización de los residuales líquidos.....	50
<b>2.8. Conclusiones parciales.....</b>	<b>51</b>

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	
<i>(Presentación de los Resultados y Propuestas de los Indicadores)</i>	
<b>3.1. Presentación de los resultados y propuestas de los indicadores</b>	
<b>medioambientales.....</b>	<b>55</b>
3.1.1. <i>Indicadores en la generación de vapor.....</i>	<b>55</b>
3.1.2. <i>Indicadores en el sistema de distribución de vapor.....</i>	<b>58</b>
3.1.3. <i>Indicadores en la etapa de bofeo.....</i>	<b>60</b>
3.1.4. <i>Indicadores en los consumidores de vapor (prensas industriales).....</i>	<b>61</b>
3.1.5. <i>Resultados de la caracterización en la generación de efluentes líquidos.</i>	<b>62</b>
3.1.6. <i>Resumen de los indicadores medioambientales propuestos.....</i>	<b>63</b>
<b>3.2. Propuestas de medidas de producción más limpia.....</b>	<b>63</b>
3.2.1. <i>Generación de vapor.....</i>	<b>64</b>
3.2.2. <i>Distribución de vapor.....</i>	<b>65</b>
3.2.3. <i>Prensas industriales.....</i>	<b>65</b>
3.2.4. <i>Generación de residuales líquidos y sólidos.....</i>	<b>65</b>
<b>3.3. Alternativas para la homogenización del residuo sólido de recape.....</b>	<b>66</b>
3.3.1 <i>Comparación de las alternativas de diseño.....</i>	<b>69</b>
<b>3.4. Conclusiones parciales.....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>



**INTRODUCCIÓN**

**INTRODUCCIÓN**

**L**a situación ambiental es una problemática que se torna cada vez mas compleja a causa del deterioro del medio ambiente derivado del uso inadecuado de los recursos naturales renovables y no renovables así como la generación de residuales perjudiciales al ambiente. La actividad humana sobre el medio ambiente ha llegado a un estado tal que si no se toman medidas para el uso eficiente de los recursos fundamentalmente energéticos que brinda la naturaleza la vida de hombre estaría en peligro en los próximos años.

En Cuba se han aplicado políticas que favorecen el estudio y búsqueda de vías que permitan satisfacer las necesidades económicas con el uso eficiente de recursos naturales y con la menor emisión de residuos al entorno. Para ello se realizan diagnósticos ambientales a las diferentes entidades productoras de bienes y servicios los que permiten detectar los puntos en los que sería necesario la toma de medidas de producción más limpia e incluso innovación tecnológica en caso de que fuera necesario; de esta forma se disminuye el impacto al medio ambiente que provocan las diferentes actividades realizadas por el hombre. A través del diagnóstico ambiental se obtienen indicadores que permiten caracterizar el sistema en estudio.

La industria del recape de neumático además del beneficio económico que proporciona contribuye al cuidado del medio ambiente en el sentido de que este proceso prolonga la vida útil de los neumáticos que han sido usados por primera vez mediante la restitución de su banda de rodamiento, pero el proceso tecnológico lleva aparejado el consumo de energía y la generación de residuos. Actualmente en nuestro país no existen indicadores que permitan caracterizar la mencionada industria. Por todo ello es que cobra importancia el diagnóstico medioambiental a través de la propuesta de indicadores medioambientales del proceso de recapado de neumático.

El objeto de análisis de este trabajo lo constituye la recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama de la ciudad de Santa Clara.

### **Problema científico**

La recapadora de neumáticos reporta un beneficio económico al país, sin embargo se carece de un adecuado diagnóstico ambiental de la misma y no se ha establecido indicadores ambientales para evaluar su comportamiento.

### **Hipótesis**

Es posible evaluar el comportamiento ambiental de la recapadora a través de indicadores ambientales que permita el diagnóstico de la misma y sirvan como herramienta para controlar su desempeño.

### **Objetivo general**

Proponer indicadores ambientales y medidas de producción más limpias que contribuyan al diagnóstico del desempeño ambiental de la recapadora.

### **Objetivos específicos o tareas**

1. Realizar búsqueda bibliográfica sobre la temática a tratar.
2. Realizar los balances de masa y energía del proceso midiendo las pérdidas energéticas (utilizando mediciones aleatorias de condensados).
3. Realizar balance energético y exergético en el sistema de generación de vapor y otros puntos de interés.
4. Proponer indicadores medioambientales para la industria de recape que permitan caracterizarla en los aspectos (Consumos de materiales y energía y generación de residuos).
5. Proponer medidas de producción más limpias que permitan minimizar el impacto ambiental de la recapadora.
6. Comparar alternativas para la homogenización del residuo sólido de recape.



*C* APÍTULO I

## *CAPÍTULO I*

### **1.1. Antecedentes históricos de la situación ambiental en Cuba**

La situación ambiental de Cuba debe enmarcarse dentro del contexto histórico, económico y social por el que se ha transitado. Al triunfar la Revolución en 1959 predominaba en el país, por un lado, una estructura económica deformada basada en el desarrollo agropecuario, con escaso desarrollo industrial, concentrado en su aspecto fundamental en la industria azucarera, y con un medio negativamente impactado. Por otro lado en el plano social existían altos niveles de pobreza, desempleo, analfabetismo, bajo niveles de salud, entre otros. Entre algunos logros más significativos en la actividad ambiental de nuestro país se encuentran: *(Colectivo de autores, 1999)*

- Erradicación de la pobreza extrema y elevación de los niveles de salud y educación.
- Mejoras de las condiciones ambientales y de la calidad de vida en un marco de equidad.
- Aumento de la superficie boscosa nacional.
- Trabajo de ordenamiento territorial y de evaluación ambiental en las inversiones priorizadas.
- Uso de las capacidades científicas en el diagnóstico y solución de los problemas del medio ambiente.
- Fortalecimiento de la gestión ambiental.
- Introducción paulatina de la dimensión ambiental en el sistema nacional de educación.

No obstante, aún subsisten insuficiencias:

- No se han desarrollado plenamente la conciencia, los conocimientos y la educación ambiental.
- No se ha logrado incorporar en plenitud la dimensión ambiental en las políticas, planes y programas de desarrollo.
- El sistema jurídico existente aún no es completamente integrador y coherente.

- Han existido algunas limitaciones en la protección ambiental asociadas con la carencia de recursos materiales.

La voluntad política nacional por el cuidado del medio ambiente está reflejada en la Constitución de la República y se ha materializado en los últimos años en diversas acciones y programas, que incluye la presencia de Cuba en las principales convocatorias mundiales para concretar criterios y consensuar acciones relativas a la protección del medio ambiente, así como el fortalecimiento institucional logrado a partir de la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de 1994. (CITMA, 1996)

El país da importancia relevante a la protección del medio ambiente, se establecen propósitos prioritarios y acciones puntuales para precisar el quehacer ecológico en: uso adecuado y conservación de los recursos naturales, impacto ambiental, agua, aire, desechos y residuos sólidos, educación, participación social y cooperación internacional, entre otros.

([www.qf.uclv.edu.cu/Links/IngQuimica/3Maestr%C3%ADas/2%2520Saneamiento%2520Ambiental/Prोगama%2520Maestr%C3%ADa.doc+recapadora+de+villa+clara&hl=es&ct=clnk&cd=8&gl=cu](http://www.qf.uclv.edu.cu/Links/IngQuimica/3Maestr%C3%ADas/2%2520Saneamiento%2520Ambiental/Prोगama%2520Maestr%C3%ADa.doc+recapadora+de+villa+clara&hl=es&ct=clnk&cd=8&gl=cu))

## **1.2. Impacto ambiental. Generalidades**

La problemática ambiental se torna cada vez más compleja. Si bien el deterioro del ambiente no comienza recientemente, los fenómenos derivados de la globalización económica de las últimas décadas han producido nuevos impactos negativos en el medio ambiente y en el desarrollo social.

Es por ello que cada vez más se reconoce la necesidad de un desarrollo sustentable que tenga en cuenta las consecuencias ambientales y sociales, tal como lo promueven los Proyectos Educativos Integrales.

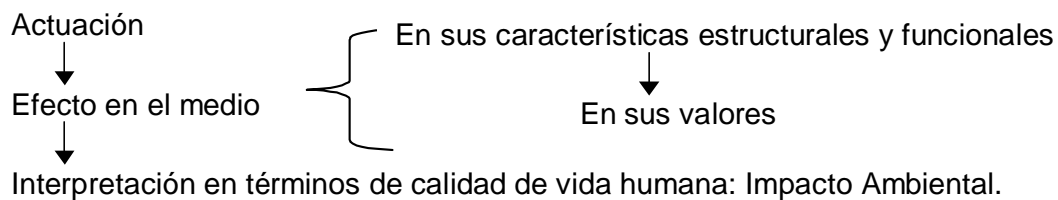
([http://209.85.165.104/search?q=cache:Q6kgJQkaSx4J:icuc.chem.uiuc.edu/icucwebsite/icuc/doc\\_fil es/A20Resumen.doc+el+recape+de+Neum%C3%A1ticos+y+su+imapcto+ambiental&hl=es&ct=clnk &cd=1&gl=cu&lr=lang\\_es](http://209.85.165.104/search?q=cache:Q6kgJQkaSx4J:icuc.chem.uiuc.edu/icucwebsite/icuc/doc_fil es/A20Resumen.doc+el+recape+de+Neum%C3%A1ticos+y+su+imapcto+ambiental&hl=es&ct=clnk &cd=1&gl=cu&lr=lang_es))

### 1.2.1. Conceptos y definiciones

El autor (*Andrade G., 1991*) estableció como definición de impacto ambiental la alteración favorable o desfavorable que experimenta el conjunto de elementos naturales, artificiales o inducidos por el hombre, ya sean físicos, químicos o ecológicos; como resultado de efectos positivos o negativos de la actividad humana o de la naturaleza en si. Por otra parte (*Petróleos Mexicanos, 1990*) definió de forma más general como la modificación del medio ocasionado por la acción del hombre o de la naturaleza.

Por tanto el impacto ambiental se origina en una acción humana y se manifiesta según tres facetas sucesivas (Fig 1.1).

- La modificación de alguno de los factores ambientales o del conjunto del sistema ambiental.
- La modificación del valor alterado o del conjunto del sistema ambiental.
- La interpretación o significado ambiental de dichas modificaciones, y en último término, para la salud y el bienestar humano.



*Fig. 1.1 El impacto se asocia a la alteración derivada de una acción humana.*

El impacto puede ser actual y ocasionado por una actividad en funcionamiento, o potencial, y referirse en este último caso, al riesgo de impacto de una actividad en marcha o a los impactos que se derivarían de una acción en proyecto, en caso de ser ejecutado. No se suele aplicar el término impacto a las alteraciones ambientales producidas por fenómenos naturales, como los daños causados por tormenta, por un tornado o por la explosión de un volcán.

### **1.2.2. Las causas del impacto**

Siempre que hay una actividad humana se producen impactos, pero muchos de ellos, frecuentemente la mayor parte, son despreciables; para que un impacto sea digno de atención debe ser significativo, o sea deben identificar los efectos notables: <<los capaces de producir repercusiones apreciables>> en los factores ambientales.

Los impactos derivados de la utilización de recursos ambientales adquieren significación en la medida en que la extracción se aproxima a la tasa de renovación para los renovables o a unas determinadas intensidades de uso para los que no lo son; los producidos por la ocupación/transformación de un espacio la adquieren en la medida en que tal ocupación se aparte de la capacidad de acogida del medio y los relativos a la emisión de efluentes serán significativos en la medida en que se aproxime a la capacidad de asimilación de los vectores ambientales; en todo caso, la superación de estos umbrales debe ser siempre entendida como impacto significativo; si esto ocurre de forma ocasional puede ser aceptable aunque ha de procurarse la corrección, pero si sucede de forma continua y permanente el impacto será inaceptable, y la actividad rechazada si no consigue corregir esta situación. (Gómez O., 2003)

### **1.2.3. Por qué los estudios de impacto ambiental**

En cualquier caso, no debería olvidarse el espíritu que animó la legislación de estudios de impacto ambiental en los Estados Unidos. La *National Environmental Policy Act* (NEPA), de 1969, debía asegurar que toda la administración federal norteamericana pensara en las consecuencias que para el medio ambiente tendrían sus inversiones en proyectos y programas. Para asegurar que la administración pensara en estos términos, se instrumentó, con rango de ley <<la NEPA>>, que se deberían preparar estudios de impacto ambiental (*environmental impact statements*) para dichas inversiones. Así, se incorporaba en el mismo proceso de toma de decisiones la preocupación por el medio ambiente.

Según explicó uno de los inspiradores de la NEPA Lynton Caldwell (1982), la legislación de 1969 pretendía poner en contacto los dos mundos, el académico y el político-

administrativo, y aprovechar las sinergias así creadas. El instrumento escogido fue el obligatorio estudio de impacto ambiental.

Para velar entre otras funciones por el cumplimiento de tales requisitos y asegurar un nivel aceptable de calidad de los estudios de impacto ambiental, la NEPA creó la llamada *Environmental Protection Agency* (EPA). Entre las numerosas actividades de la EPA se incluye la elaboración de guías metodológicas sobre como deberían ser los estudios de impacto ambiental. Como puede suponerse, a lo largo de su existencia la EPA ha financiado numerosos estudios de investigación para desarrollar técnicas de análisis y valoración de los impactos ambientales. (Riera, 1993)

#### **1.2.4. La Evaluación de Impacto Ambiental como herramienta eficaz para una gestión ambiental**

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento jurídico-técnico-administrativo que tiene por objeto la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que una actividad produciría; así como la prevención, corrección y valoración de los mismos. Todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas competentes.

Otra definición la considera como el conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad, causa sobre el medio ambiente.

([www.cubaindustria.cu/pl/paginas/definiciones.htm&w=producciones+mas+limpias&d=WO-LNBleORdS&icp=1&.intl=us](http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/definiciones.htm&w=producciones+mas+limpias&d=WO-LNBleORdS&icp=1&.intl=us))

El autor (Andrade G., 1991) se refirió a que las EIA constituyen una de las más valiosas herramientas para una buena gestión ambiental y ha sido elaborada en el mundo desarrollado como un mecanismo de alerta para impedir problemas. Es uno de los instrumentos más eficaces con que cuenta el estado para la aplicación de la política general ecológica en las obras o actividades públicas y/o privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señaladas en los reglamentos y normas técnicas ecológicas.

#### **1.2.4.1. Alcance y objetivos**

La EIA permite la toma de decisiones y proporciona las interrelaciones y los pronósticos ambientales pertinentes. En años recientes y en particular, en países desarrollados, la EIA ha extendido su campo de acción al examen de políticas y programas, aunque los métodos para lograr estos últimos objetivos aún no están bien establecidos y la experiencia práctica es muy limitada.

El objetivo principal de la EIA, a corto plazo, es proporcionar una relación de las consecuencias de las distintas opciones, antes de la adopción de decisiones. Además, su aplicación a nivel nacional, trae como consecuencia alcanzar objetivos a largo plazo cualitativamente mayores, tales como:

- Conservación y uso sostenible de los recursos naturales.
- Protección y mejoramiento de la calidad de vida.
- Promoción de la conciencia pública en los asuntos ambientales.
- Fortalecimiento de las capacidades para desarrollar la EIA.
- Integración de las consideraciones ambientales en el proceso de planeamiento del desarrollo.
- Generación, almacenaje y diseminación de información ambiental.
- Aplicar la política ambiental aprobada en los planes nacionales de desarrollo.

#### **1.2.4.2. Actividades principales de la Evaluación de Impacto Ambiental**

Según (Ayes A., 2003); la EIA se puede realizar de distintas maneras, pero la mayor parte de los métodos usados, en su esencia, comprenden las siguientes actividades principales:

1. Identificación del impacto (incluyendo su medición).
2. Interpretación de la importancia del impacto.
3. Desarrollo de las medidas de mitigación.
4. Presentación de los resultados de la evaluación.
5. Identificación de los métodos de vigilancia adecuados.

### **1.3. Aspectos básicos sobre indicadores de impacto ambiental**

La magnitud de las alteraciones sobre cada factor ambiental puede venir expresada de diferentes maneras según la naturaleza de cada uno de ellos y la unidad de medida en que se pretenda expresar.

El autor (*Gómez O., 2003*) denominó *indicador* a la expresión o mecanismo a través de la cual se mide o cuantifica el impacto. Se trata de un dato que provee información sintética respecto a un factor ambiental de relevancia social. Ejemplo: consumo de energía, consumo de agua, emisiones de un determinado contaminante, producción de residuos.

Por otra parte (*Pons F., Mossi R., 2004*) definió los indicadores medioambientales, también llamados “ecoindicadores”, como parámetros que ofrecen información y/o tendencias de la situación medioambiental. Un indicador medioambiental, encierra una información estática y otra dinámica. La información estática se refiere a la situación en un momento concreto, relacionando factores medioambientales con otros que no necesariamente sean medioambientales. Por ejemplo, sanciones económicas por acciones contrarias a la legislación medioambiental/beneficios empresariales.

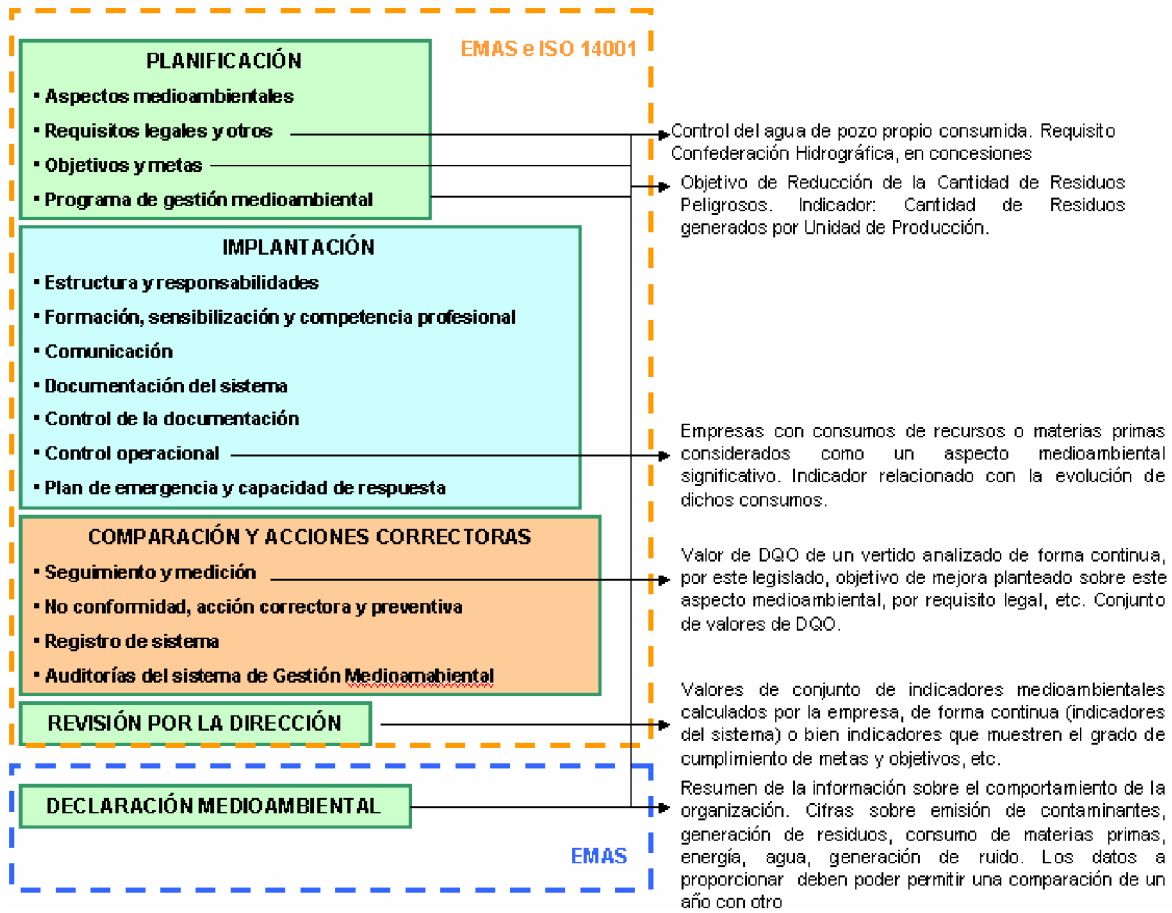
La información dinámica, hace referencia a la evolución temporal de indicadores medioambientales. Por ejemplo, reducción a lo largo de un período definido (3 años) de la cantidad de embalaje (expresado en peso) para comercializar los productos entre la cantidad de productos (expresado en peso).

#### **1.3.1. Indicadores medioambientales y los sistemas de gestión medioambiental**

(*Pons F., Mossi R., 2004*) estableció que los indicadores medioambientales pueden aplicarse de manera independiente de un sistema de gestión medioambiental, pero es más sencillo su desarrollo si la empresa tiene en activo un sistema de gestión medioambiental, por ejemplo, la norma internacional ISO 14001.

La relación entre un sistema de indicadores medioambientales y de gestión ambiental es obvia, ya que la función fundamental de esta herramienta es ayudar a las empresas a conocer su estado y evolución con el fin de aproximarse, no exclusivamente a la

situación marcada por la legislación medioambiental vigente, sino al cumplimiento de los objetivos y metas que la empresa ha desarrollado a partir de una política medioambiental definida en su sistema de gestión medioambiental.



*Fig. 1.2 Ejemplos de los indicadores medioambientales y su relación con los sistemas de Gestión Medioambiental.*

### 1.3.2. Clasificación de los indicadores medioambientales

Los indicadores medioambientales se pueden clasificar en tres grandes grupos:

1. Indicadores de comportamiento medioambiental
2. Indicadores de gestión medioambiental
3. Indicadores de situación medioambiental

En la siguiente figura se muestra una clasificación habitual de los indicadores medioambientales.

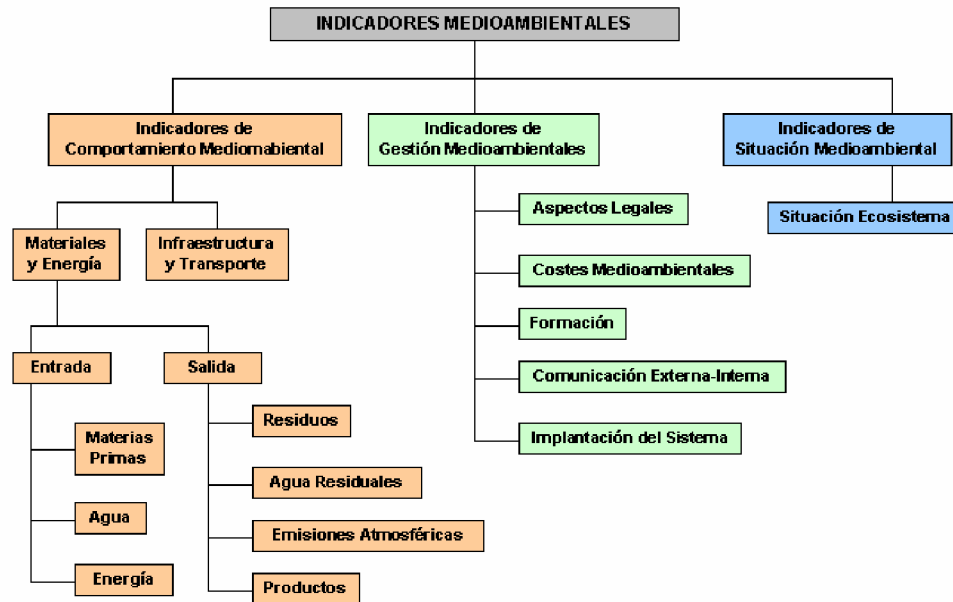


Fig. 1.3 Indicadores medioambientales.

### 1.3.2.1. Indicadores de comportamiento medioambiental

Los *indicadores de comportamiento medioambiental* describen de manera sencilla el impacto medioambiental de una empresa. Se refieren a procesos e infraestructuras, de tal manera que informan sobre su relación con el medio ambiente a escala operativa, analizando las entradas y salidas, así como de los medios materiales de los que se dispone para elaborar el producto final.

El consumo de energía, de agua, de materias primas, la situación de las infraestructuras, etc., son datos cuantitativos de suma importancia para poder valorar el comportamiento medioambiental, así como su evolución a lo largo del tiempo. A su vez son la base de partida para el establecimiento de los indicadores de gestión medioambiental.

### 1.3.2.2. Indicadores de gestión medioambiental

Los *indicadores de gestión*, están íntimamente relacionados con la manera de controlar y responder a los distintos aspectos medioambientales de una empresa y están

fuertemente correlacionados con el mismo sistema de gestión medioambiental implantado por una empresa. Son indicadores que informan sobre costes medioambientales, formación en esta materia, comunicación interna y externa, grado de implantación de la mejora continua, objetivos y metas, etc., son ejemplos de indicadores medioambientales que están dentro de esta tipología de indicadores.

Estos indicadores reflejan el grado de implicación de todos los departamentos en las acciones organizativas diseñadas desde la dirección, con el fin de minimizar el impacto medioambiental de la empresa.

Estos indicadores no muestran la interacción real entre empresa y medio ambiente, sino están encaminados hacia cómo reacciona y gestiona la empresa estas interacciones.

### **1.3.2.3. Indicadores de situación medioambiental**

Si se describe información de la situación donde se haya ubicada la empresa, su entorno, se llaman *indicadores de situación medioambiental*.

Con la implantación de estos ecoindicadores se desea poder conocer la situación medioambiental del ecosistema donde se halla la empresa.

Por ejemplo, el nivel de ruido que existe cuando la empresa no está operativa, la calidad de las aguas y de la atmósfera cuando no está operativa la empresa en estudio. Por diferencia, se podrá establecer el “aporte” al nivel de contaminación o impacto de una empresa para determinados parámetros y en una zona local del ecosistema (también, estudios de flora y fauna).

### **1.3.3. Ventajas y funciones más importantes de los indicadores medioambientales**

Los indicadores medioambientales son de gran utilidad para conocer de una manera sencilla y gráfica el estado medioambiental y el comportamiento de una empresa. Su implantación ayudará a la dirección en la toma de decisiones estratégicas medioambientales. Los indicadores medioambientales resumen diferentes y complejos datos medioambientales combinados con otros de origen diverso. También, permiten cuantificar la evolución de determinados parámetros o factores medioambientales y

hacerlos comparables año tras año.

Por tanto, aseguran una rápida evaluación de las principales mejoras y puntos débiles en la protección ambiental.

(Pons F., Mossi R., 2004) utilizó como funciones más importantes las mencionadas a continuación:

1. Evaluar el comportamiento medioambiental en comparaciones entre distintas empresas y años posteriores.
2. Demostrar la mejora continua de un sistema de gestión ambiental.
3. Proporcionar datos esenciales para informes y declaraciones ambientales.
4. Ilustrar mejoras medioambientales en un análisis de series temporales.
5. Detectar potenciales de optimización.
6. Identificar oportunidades de mercado y potenciales de reducción de costes.

Pero aún más, si se combinan con otros indicadores tales como productividad y/o de carácter económico, se podrá evaluar si la empresa, está evolucionando positivamente hacia la consecución de un auténtico desarrollo sostenible.

#### **1.3.3.1. Utilidad que puede dársele a los indicadores medioambientales por las empresas**

- Comunicar el comportamiento medioambiental

Los indicadores medioambientales son una herramienta eficaz para comunicar interna y externamente sobre la situación y evolución medioambiental de la empresa.

- Identificar los puntos débiles y potenciales de optimización

Si se comparan situaciones históricas, los indicadores medioambientales pueden poner de manifiesto potenciales de mejora medioambiental, que son económicamente viables. Por tanto, es aconsejable que los indicadores se comparen en series temporales concretas (cada semana, mes, año, etc.) detectando los puntos débiles de manera que permita reorientar la tendencia y

corregir una desviación injustificada en la evolución.

- Determinar las metas medioambientales cuantificables

Cada vez es más frecuente que las empresas se fijen voluntariamente una serie de objetivos y metas, sobre los que se debe hacer una planificación y seguimiento exhaustivo. En este caso, los indicadores medioambientales son una herramienta eficaz para informar a la misma empresa sobre el grado de cumplimiento de los objetivos y metas acordados.

- Documentar la mejora continua

Comparando temporalmente las series de indicadores se puede acreditar que una opción de mejora ha concluido, y por tanto, evitar volver a incidir en ese aspecto. *(Pons F., Mossi R., 2004)*

#### **1.4. El consumo de energía como factor clave de impacto en el medio ambiente**

El uso desordenado de los recursos naturales es una acción que se paga con la generación de una cantidad creciente de residuos y emisiones al ambiente, con una repercusión cada vez mayor de las actividades del hombre en el resto de especies y quizás en el futuro de la evolución de la vida en nuestro mundo. La situación actual tiene sus antecedentes. El camino comienza hace unos doscientos años, con el éxito de la Revolución Industrial, tanto en el desarrollo económico, incluso con la extensión relativa de la riqueza, como con la extensión de la incidencia en el medio ambiente, lo que viene a denominarse genéricamente contaminación. El sistema de producción utilizado hasta entonces deja de ser efectivo en la relación hombre-medio, el que consiste en asumir que el ambiente es capaz de asimilar, incorporar o digerir los residuos generados por cualquier actividad. Este sistema funciona mientras no se rebasan ciertos límites, los que impone el sistema, el ambiente, en su adaptación a la nueva situación. Esos límites se rebasan cuando se dan casi simultáneamente diversas circunstancias: aumento de la población, del nivel de vida, del número de actividades abordadas por el hombre. Muchas de estas actividades llevan consigo el consumo poco racional de energía.

*(Rodríguez J., 2002.)*

Hoy la principal amenaza para la supervivencia del hombre es la presión general que ejercen sobre el medio ambiente la intensidad y la aceleración extrema de los procesos antropogénicos de conversión energética que alimentan un número creciente de actividades humanas más exigentes. La gran abundancia de reservas de energía, que a primera vista parece ser de gran beneficio para la humanidad, lentamente se convierte en uno de los problemas principales: la disrupción de la coexistencia hasta ahora constructiva, y sinérgica del hombre en su entorno. El gran incremento de la producción de energía y los flujos de materia acompañante actúan, por lo tanto, directa o indirectamente, como un daño potencial adicional para el ecosistema de la tierra, constituyendo las limitaciones más severas a las actividades humanas en el intento por garantizar la sustentabilidad. *(Delgado D, 1999)*

#### **1.4.1. Impacto socioeconómico del consumo de energía**

El funcionamiento de la economía mundial se basa en el consumo de energía. Sin ella sería imposible extraer las materias primas necesarias, ni hacer funcionar el sistema productivo para generar los bienes y servicios que la sociedad necesita, tampoco su transporte ni el de las personas.

El consumo de energía se ha ido elevando a través de los años y por zonas geográficas Fig 1.4, y puede estar asociado no solamente al simple derroche sin también puede ser debido a una falta de eficiencia. De este modo es perfectamente posible obtener cuotas de bienestar idénticas o superiores con un consumo de energía inferior, gracias a las mejoras en el ahorro y la eficiencia energética, que se producen por los avances tecnológicos y las variaciones en los hábitos sociales. De hecho el desarrollo de políticas que estimulen la eficiencia energética se ha convertido en un impulsor del I+D+I (Investigación + Desarrollo + Innovación), que puede traducirse en importantes ventajas competitivas.

*([www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm%26w=consumo%2Benergia%2Bby%2Bsu%2Bimpacto%2Bambiental%26d=fGNAzRleOShb%26icp=1%26intl=es](http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm%26w=consumo%2Benergia%2Bby%2Bsu%2Bimpacto%2Bambiental%26d=fGNAzRleOShb%26icp=1%26intl=es))*

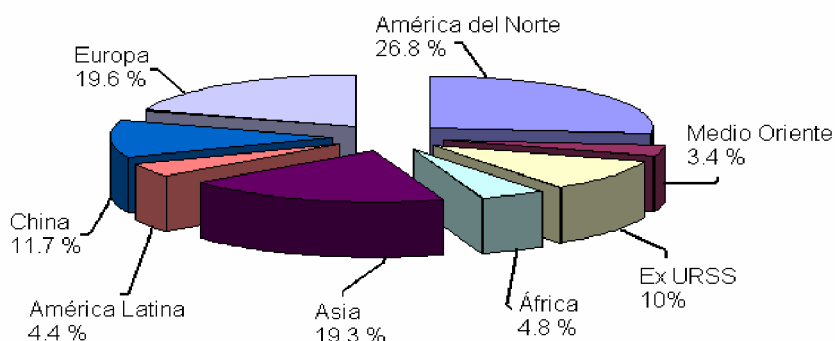


Fig. 1.4 Diagrama representativo de la utilización de la energía primaria (OLADE, UE, AIE, 1998)

La situación energética mundial que desde hace más de tres décadas está golpeando sobre todo a los países más pobres, por el uso no eficiente de la misma, alerta sobre la importancia de utilizar eficientemente los recursos de los distintos portadores, renovables o no. (Castillo H., 2004-2005)

En principio parece evidente establecer una correlación entre consumo energético y nivel de vida: los países más ricos, fuertemente industrializados y urbanizados, con importantes sistemas de transporte y una fuerte mecanización, consumen cantidades muy superiores de energía per cápita, mientras que los más pobres con economías a veces de mera subsistencia se limitan a actividades primarias y artesanales y tienen un escaso desarrollo industrial, lo que se traduce en un bajo consumo energético. Igualmente en los países ricos se disfruta de múltiples comodidades en los hogares gracias a disponer de multitud de electrodomésticos que utilizan importantes cantidades de energía, mientras en muchos países pobres millones de personas carecen de acceso a servicios básicos como el agua, la electricidad, el teléfono, etc. Estas diferencias se ilustran en (anexo I).

([www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm%26w=consumo%2Benergia%2Bby%2Bsu%2Bimpacto%2Bambiental%26d=fGNAzRleOShb%26icp=1%26intl=es](http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm%26w=consumo%2Benergia%2Bby%2Bsu%2Bimpacto%2Bambiental%26d=fGNAzRleOShb%26icp=1%26intl=es))

#### 1.4.2. Sistema de gestión energética

Un Sistema de Gestión Energética (SGE), puede concebirse como un conjunto de acciones técnico-organizativas, ordenadas y estructuradas que permiten la evaluación documentada, sistemática y objetiva del funcionamiento de instalaciones técnicas y

energéticas, a partir del establecimiento del proceder metodológico de gerenciamiento y el equipo multidisciplinario, detinados a conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización racional de la energía. (CEE, 1982)

#### **1.4.2.1. Objetivo y funciones del Sistema de Gestión Energética**

El objetivo general de la gestión energética es obtener el mayor rendimiento posible de las cantidades de energía que se necesiten, así como normar los índices, áreas, equipos mayores consumidores y los factores que más influyen en los consumos y gastos energéticos. (Campos J., 1998) (Espinosa R., 2000)

Unos de los aspectos fundamentales a analizar en la gestión energética es el análisis energético para lo cual es imprescindible la realización de los balances de materiales y energía con el fin de determinar las cantidades de energía que no se utiliza o no se convierte en trabajo y la parte de la energía que es útil.

Este tipo de pérdidas no son contabilizables en los balances de calor o de energía que normalmente se hacen, ya que la fuente donde se producen generalmente no se encuentra en el lugar a que cede el medio.

Para la determinación de las cantidades de energía disponible y no disponible en todas las corrientes de un sistema es necesario recurrir al análisis exergetico. (Lopez P., 2001-2002)

### **1.5. Producción más limpia (P+L). Generalidades**

Sólo cuando el hombre se percató de los riesgos que enfrentaba la humanidad debido a depredación durante siglos del medio ambiente comenzó una serie de cambios significativos a nivel internacional en las políticas de protección y control ambiental. En un principio en las actividades productivas dichas políticas estaban encaminadas a la disminución de la contaminación por tratamiento al final del proceso. En la última década se promueve la adopción de enfoques preventivos en las actividades productivas y de servicios, relegando a un segundo plano la utilización de tecnologías de control de salida al final de los procesos. ([http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod\\_limpias\\_sime.htm](http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod_limpias_sime.htm))

### **1.5.1. Concepto de P+L**

(Martínez P., 2003-2004) definió que P+L es una estrategia preventiva e integral aplicada a procesos, productos y servicios para incrementar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente y lograr la sostenibilidad del desarrollo.

Por otra parte en ([http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod\\_limpias\\_sime.htm](http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod_limpias_sime.htm)) se utilizó otros conceptos similares, estos han sido “minimización de residuos”, “prevención de la contaminación” y “ecoeficiencia”, todos ellos referidos a la estrategia de hacer más con menos, a fin de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales, materias primas e insumos y minimizar la generación de residuos, la contaminación y los riesgos ambientales derivados de la producción de bienes y servicios.

Como enfoque global de la actividad productiva, esta estrategia abarca tanto a los productos y procesos, como a las prácticas y actitudes, involucrando los aspectos relativos a la minimización de residuales, prevención de contaminación y reducción de uso de sustancias tóxicas. (CITMA, 1996)

### **1.5.2. Aplicación y evaluación de la P+L**

La P+L se aplica a:

Los procesos de producción: incluye la conservación de las materias primas y la energía, eliminación de materias primas tóxicas y reducción de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos.

Los productos: reducción de los impactos negativos a lo largo el ciclo de vida de un producto, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

Los servicios: incorporación de la preocupación ambiental en el diseño y suministro de servicios.

En toda evaluación de P+L se persigue una optimización integral del proceso que se consolida en un beneficio ambiental y económico. Este beneficio puede, además, dar como resultado una disminución de los riesgos, peligros y responsabilidades que son a veces de difícil valoración económica para muchas empresas.

Las evaluaciones de P+L también proporcionan una base para la investigación de nuevas mejoras, al poner de manifiesto los puntos del proceso en los que sería prioritaria una innovación tecnológica que permitiera simultáneamente una mejora ambiental del proceso y de su competitividad.

Las mejoras promovidas por la P+L pueden requerir la realización de cambios en las materias de partida, en las variables controladas o en las etapas del proceso, cambios en los equipos, sus componentes o los materiales con que se han construido, así como en la forma de uso, y cambios en la organización, el control de la fabricación u otros aspectos de la gestión.

#### **1.5.2.1. Etapas de una evaluación de P+L**

1. Preparación de la evaluación
2. Revisión de la documentación del proceso
3. Verificar la información sobre el terreno
4. Análisis de balances y rendimientos del proceso
5. Identificación de oportunidades y evaluación técnica
6. Evaluación económica
7. Plan de acción

*([http://66.218.69.11/search/cache?p=producciones+mas+limpias&ei=UTF-8&fr=yfp-t501&u=galeon.com/cienbas/Prod\\_Limpias.htm&w=producciones+mas+limpias&d=bFrN8BleObnP&icp=1&.intl=us](http://66.218.69.11/search/cache?p=producciones+mas+limpias&ei=UTF-8&fr=yfp-t501&u=galeon.com/cienbas/Prod_Limpias.htm&w=producciones+mas+limpias&d=bFrN8BleObnP&icp=1&.intl=us))*

### **1.6. Algunas consideraciones acerca de los residuales**

En los últimos años se constata un aumento de la preocupación a nivel mundial por la generación industrial de residuales, así como ha crecido el interés con respecto a la deposición de dichos residuales (*Seoáñez M., Angulo I., 1999*). Los efectos a largo plazo de dichos residuales al ser vertidos a los cuerpos receptores son alarmantes, debido a la carente biodegradabilidad de muchos de estos residuales que en ocasiones tienen alto grado de toxicidad. (*Sardinas R., 2006*)

### **1.6.1. Conceptos básicos**

Se entiende por residual todo material que es destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización o limpieza.

Un residuo puede considerarse un objeto cuyo valor es nulo o negativo para su poseedor en un momento dado. Por lo tanto para desprenderse el poseedor deberá pagar a alguien o hacer el mismo el trabajo. Por contraposición puede exigir una posibilidad de considerar ese objeto de forma general como un bien, cuyo valor económico es positivo, esto quiere decir que quien lo adquiere debe pagar por ello.

### **1.6.2. Clasificación de los residuales**

Los residuales pueden clasificarse en sólidos, líquidos y gaseosos, de acuerdo a su estado físico. Agregándose los residuos pastosos, que comúnmente aparecen como producto de actividades humanas. Aunque los residuos han sido clasificados de diversas maneras. Desde el punto de vista estructural mantienen ciertas características comprendidas desde su origen hasta su disposición final. Los diferentes usos de los materiales, su biodegradabilidad, combustibilidad, reciclabilidad, entre otros criterios de expertos, juegan un papel importante en la percepción de quien los clasifica, presentándose algunas diferencias, entre una u otra clasificación, vertida por dichos autores.

Tomando en cuenta los referentes existentes, en el caso de los residuos sólidos se clasifican de la siguiente manera:

#### **Residuos sólidos orgánicos:**

Materiales residuales que formaron parte de un ser vivo o se derivan de los procesos de transformación de combustibles fósiles; y que a su vez se pueden clasificar en putrescibles, no putrescibles, naturales y/o sintéticos.

**Residuos sólidos inertes:**

Residuos no biodegradables ni combustibles que provienen generalmente de la extracción, procesamiento o utilización de los recursos minerales: residuos de construcción y demolición de edificios, tierras, escombros entre otros.

**Residuos sólidos peligrosos:**

Residuos orgánicos o inertes que por sus características físicas, químicas o biológicas no pueden ser acoplados a procesos de recuperación o transformación, sino que deben tratarse para su incineración o confinamiento controlado. (*Sardinas R., 2006*)

**1.6.3. Los neumáticos y su impacto ambiental**

El caso de los neumáticos es un claro ejemplo de cómo no siempre el reciclaje implica un impacto ambiental positivo, porque una opción de su reciclaje es el recapado y en ese proceso se generan residuos y emisiones que afectan el medio ambiente, si bien se puede decir que el recape se justifica desde el punto de vista económico, aunque no siempre sea aconsejable desde un punto de vista estrictamente ambiental. En nuestro país se carece de una adecuada política de manejo de los residuos sólidos, por lo que se han realizado estudios al respecto, que evidencia la necesidad de homogenizar el residuo.

Actualmente en todo el mundo se podría cifrar en un 50% la cantidad de neumáticos que acaban en vertederos, en 15% los que son recauchutados y en 12% los reciclados.

El depósito en vertederos, no es una opción bien considerada, pues los neumáticos son altamente estables como se ha mencionado, dan problemas de compactación y pueden provocar graves problemas en caso de incendio.

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado <<medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión>> y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación

ambiental al formar parte, generalmente, de vertederos incontrolados. Existen métodos para conseguir un reciclado coherente de estos productos pero faltan políticas que favorezcan la recogida y la implantación de industrias dedicadas a la tarea de recuperar o eliminar, de forma limpia, los componentes peligrosos de las gomas de los vehículos y maquinarias.

Para eliminar estos residuos se usa con frecuencia la quema directa que provoca graves problemas medioambientales ya que produce emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno, estos contaminantes carcinogénicos, mutagénicos causan afecciones al sistema respiratorio y circulatorio, también se desprende un material aceitoso que contamina el agua y los suelos y el peligro de incendio en caso de almacenarlos en condiciones inadecuadas; aunque no es menos problemático el almacenamiento, ya que provocan problemas de estabilidad por la degradación química parcial que éstos sufren y producen problemas de seguridad en el vertedero.

Las montañas de neumáticos forman arrecifes donde se favorece la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos. Además de la reproducción de ciertos mosquitos, que transmiten por picadura fiebres y encefalitis.

Para la eliminación de estos residuos, dañinos al medio ambiente se han venido estudiando las formas más adecuadas para su reciclado. Toda la normativa vigente incide en los principios de reducción, reutilización, reciclaje, valorización energética y depósito controlado. En estos momentos los productos residuales del proceso de recape comprendido por polvo de bofeo, lascas de bofeo y neumáticos inservibles son arrojados a un vertedero donde se incineran en la mayoría de los casos. *(Estrada E., 2002-2003)*

#### **1.6.3.1. Los residuos sólidos de la recapadora David Díaz Guadarrama de Santa Clara**

La actividad que se desarrolla en la recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama es de reponer la banda de rodadura gastada por una nueva, permitiendo ampliar la vida útil de la carcasa o cuerpo de cuerdas. En dicha actividad se generan residuos sólidos producto de las diferentes etapas del proceso. Los residuos sólidos de la recapadora David Díaz Guadarrama son los que se muestran a continuación: *(Laureiro J.,*

2001-2002) (Estrada E., 2002-2003)

- Lascas de bofeo
- Polvo de bofeo
- Neumáticos inservibles (Neumáticos rechazados antes de entrar al proceso y rechazados dentro del proceso)

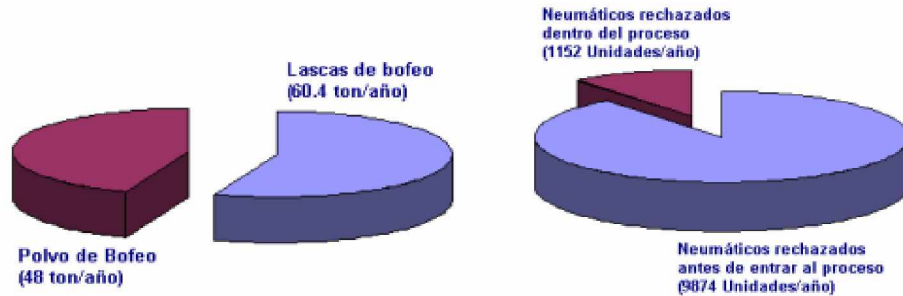


Fig. 1.5 Cantidad aproximada de residuos sólidos generados anualmente por la recapadora David Díaz Guadarrama de Santa Clara.

### 1.6.3.2. Alternativas para la homogenización del residuo sólido de recape

#### Trituración criogénica

Este método necesita unas instalaciones muy complejas, el problema fundamental radica en aspectos económicos debido a que el nitrógeno encarece el proceso. No obstante el método criogénico es rentable económicamente siempre y cuando la producciones sean elevadas y se puede lograr tamaño de partículas muy pequeño.

#### Termólisis

Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. Aparecen entonces cadenas de hidrocarburos. Es la forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos

gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u otras actividades.

### **Trituración mecánica**

Es un proceso puramente mecánico, de tratamientos de mecanizado y molienda; por tanto los productos resultantes son de alta calidad limpios de todo tipo de impurezas lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos. Su limitación es que no se puede lograr tamaño de partícula menor de 3 mm.

### **Producción de energía eléctrica.**

Los residuos de neumáticos una vez preparados, puede convertirse también en energía eléctrica. Dichos residuos son utilizables en cualquier planta o instalación industrial principalmente como combustible en calderas.

Es un proceso costoso y además presenta el inconveniente de las diferentes velocidades de combustión de diversos componentes, la necesidad de depuración de los residuos por lo que no resulta fácil de controlar y además es contaminante. Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, entre ellos el monóxido de carbono, xileno, hollín, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, óxidos de zinc, benceno, fenoles, dióxido de azufre, óxidos de plomo, tolueno. Además el hollín contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos, altamente cancerígenos. También tiene el peligro de que muchos de estos compuestos sean solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos.

Dentro de todas estas alternativas de uso las que más se han trabajado son la trituración mecánica y criogénica debido al alto aprovechamiento de los residuos sólidos de recape, la calidad del producto final y la baja generación de residuos. (*Estrada E., 2002-2003*)

#### **1.6.3.2.1. Usos tras el reciclado**

El material principal que se obtiene tras el tratamiento de los residuos de neumáticos se denomina hule, el cual puede ser usado como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras.

Pueden usarse también en alfombras, aislantes de vehículos o losetas de goma. Se han usado para materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislantes de vibración.

Otros usos son los deportivos, en campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades son infinitas y crecen cada día, como en cables de freno, compuestos de goma, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o modificaciones del betún.

El interés en la utilización de un material como el caucho procedente de los neumáticos de desecho para los diferentes usos se centra en que se requiere un producto de granulometría y dosificación acorde con los requerimientos del uso que se le vaya a dar. (<http://waste.ideal.es/neumaticos.htm>)

### **1.7. Nociones acerca de los neumáticos**

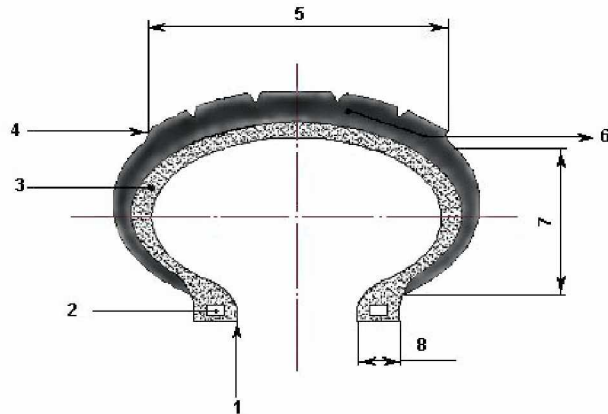
#### **1.7.1. Conceptualización de neumático**

##### **1.7.1.1. Definición de neumático**

En el código (*Código: PTR-01, 2000*) se definió como anillo toroidal, inflable, hecho con material elástico (caucho), reforzado con alambre y cuerda que montado sobre la llanta proporciona a la rueda del vehículo una banda neumática de rodamiento.

### 1.7.1.2. Partes del neumático

1. Pestaña
2. Aro
3. Cuerpo de capas
4. Hombro
5. Rodado
6. Panes
7. Pared lateral
8. Talón (*Código: PTR-03, 2000*)



### 1.7.1.3. Clasificación de los neumáticos

□ De acuerdo con su diseño se clasifican en: (*Código: PTR-03, 2000*)

#### Carretera:

Para uso en superficies asfaltadas o de base firme como hormigón. Se caracterizan por tener surcos sinuosos paralelos, propios para desplazar principalmente líquidos como agua y estrías para provocar mayor agarre en dicho terreno.

#### Fango carretera:

Para ser usados tanto en superficies asfaltadas como en aquellos donde la base no sea firme tales como terraplenes. Se caracterizan por tener además de cierto número de surcos sinuosos paralelos, protuberancias gruesas específicamente en la zona de extremo de la banda de rodamiento.

#### Fango:

Para ser usados en superficies de terreno muerto tales como campos arados, caminos en construcción o terrenos pantanosos de base no firme, se caracterizan por no presentar en su rodamiento surcos sinuosos y si protuberancias gruesas que abarcan la banda de rodamiento en ángulo con respecto al eje de desplazamiento.

#### Implemento:

Para ser usados en superficies de terreno muerto tales como campos arados, terrenos

pantanosos de base no firme, se caracterizan por tener surcos paralelos entre si.

- En dependencia del uso y condiciones de explotación:
  - Neumáticos para: autos, motos, aviones.
  - Neumáticos para transporte: ligero, mediano y pesados.
  - Neumáticos agrícolas ligeros, pesados.
  - Neumáticos para movimiento de tierra.
- Atendiendo a su construcción:
  - Diagonales.
  - Radiales.

## **1.8. Balances de materiales y energía**

### **1.8.1. Consideraciones acerca de los balances de materiales y energía**

#### **Balances de materiales**

Un balance de materiales en los procesos industriales consiste en una contabilidad exacta de todos los materiales que entran, salen, se acumulan o se agotan en el curso de un intervalo de tiempo de operación dado. O sea es una expresión de la ley de conservación de la masa teniendo en cuenta aquellos términos cuyo principio general de los cálculos es establecer un número de ecuaciones independientes igual al número de incógnitas de composición y masa.

#### **Balances de energía**

El balance de energía no es más que la formulación matemática del principio de conservación de la energía o primer principio de la termodinámica, principio que plantea que la energía es indestructible, solo se transforma de una u otra forma y la cantidad total de energía que entra a un sistema debe ser exactamente igual a la que sale más cualquier aumento dentro del sistema.

$$\text{Energía}_{\text{entrada en el sistema}} - \text{Energía}_{\text{salida en el sistema}} = \text{Energía}_{\text{acumulada en el sistema}}$$

En un balance energético las energías recibidas son iguales a las desprendidas más el aumento de energía dentro del sistema por unidad de período de tiempo en un proceso continuo o para un ciclo dado de operación para el caso de un proceso discontinuo. (Hougen O., 1979) (Cruz L., Pons A., 1985)

### **1.8.2. La exergía. Aspectos teóricos**

Desde 1953 se sistematizó el conocimiento científico de que la energía está compuesta por una parte no útil como anergía y una parte útil denominada de diferentes formas: energía disponible, exergía, energía útil, etc. Esto tuvo gran importancia desde el punto de vista práctico ya que cambió el cuadro que existía, en algunas partes, sobre el uso de la energía y sus posibilidades. Aparece con fuerza un nuevo concepto: calidad de la energía asociada a su valor de uso y una propiedad termodinámica que lo caracteriza, la entropía. (López A., 2001-2002) (Matos R., Hing R., 1988)

#### **1.8.2.1. Generalidades**

La exergía, que es la parte de la energía que puede convertirse en trabajo mecánico, fue descubierta en la termodinámica casi desde sus orígenes formales, con el nombre de "trabajo disponible". Hoy en día cobra una enorme importancia, por un lado, porque la exergía, siendo la medida cuantitativa de la máxima cantidad de trabajo que puede obtenerse de un desequilibrio entre un sistema físico y el ambiente que lo rodea, o entorno, determina cuantitativamente el valor termodinámico de cualquier recurso; y por otro lado, la exergía permite analizar rigurosamente el desperdicio de los recursos en las actividades de una sociedad, estableciendo pautas cuantitativas para su ahorro y uso eficiente.

La exergía es una función de estado termodinámica que proporciona una medida de trabajo disponible de un fluido o masa, como resultado de su condición de no equilibrio relativo a alguna condición de referencia, cuyo valor puede ser calculado en cualquier punto del sistema a partir de otras propiedades conocidas determinadas mediante un balance de energía convencional. (Kotas T. J., 1995)

### **1.8.2.2. Concepto de exergía**

El concepto de exergía está indisolublemente asociado al de desequilibrio entre un cierto sistema y su entorno, determinado por la diferencia entre los valores de alguna variable dinámica que lo caracteriza. (*Kotas T. J., 1995*)

El autor (*Lapido M. y Col., 2006*) definió la exergía como una propiedad del sistema termodinámico o flujo de energía que caracteriza la fracción de la energía que puede convertirse en trabajo si el sistema se lleva reversiblemente hasta el estado muerto y es la magnitud cuyo valor refleja de manera cuantitativa la calidad de la energía. Por otra parte (*Kotas T. J., 1995*) planteó que la exergía es la máxima cantidad de trabajo que se puede obtener de un desequilibrio entre un sistema y su entorno.

Otro concepto que define a la exergía es el que plantea (*Libro del PAEC, 2002*) y la definió como la magnitud que mide la *calidad de una cierta cantidad de energía* y representa el *trabajo útil máximo* que se puede obtener de un sistema al evolucionar este hasta llegar al estado de equilibrio termodinámico con el medio circundante.

Cuando se realiza un proceso real determinado, la exergía disminuye, o sea, una parte de la exergía disponible se transforma en energía útil, pero el resto no se puede usar.

### **1.8.2.3. Otros aspectos**

El entorno o ambiente de referencia se caracteriza fundamentalmente porque sus parámetros no dependen de los parámetros del sistema y todos sus componentes deben encontrarse en relativo equilibrio termodinámico. Ejemplos de medio ambiente son: la atmósfera, la litósfera, el agua de mar, espacio cósmico. Generalmente al medio lo caracterizan tres parámetros: temperatura, presión y composición química. Se caracteriza por tener un valor nulo de exergía.

La parte térmica de la exergía requiere del concepto de entropía, y la parte química, del potencial químico. Sin embargo, es posible manejar el concepto de exergía cualitativamente, de manera que se hable propiamente de consumo de exergía y de conservación de energía, y no de "consumo de energía".

#### **1.8.2.4. Tipos de exergía**

La exergía está constituida por las llamadas inercial y sustancial. La exergía sustancial que es la más importante en cuanto a su valor relativo con una corriente específica tiene dos contribuciones: la exergía física y la exergía química.

#### **Exergía Física**

La exergía física depende de: la temperatura entre la materia y el medio ambiente, lo que se denomina exergía térmica, dada por la expresión. (**Montero G., 1998**)

$$B_f = \Delta H - T\Delta S = (H - H_o) - T_o(S - S_o) \quad (1-1)$$

donde  $\Delta H$  y  $\Delta S$  son las variaciones de entalpía y de entropía y el subíndice  $o$  indica el ambiente de referencia, por lo tanto,  $T_o$  es la temperatura en el estado de referencia. (**Kotas T. J., 1995**)

#### **Exergía Química.**

La exergía química es el trabajo máximo que puede obtenerse al pasar el flujo estacionario de un sistema abierto del estado ambiental al estado muerto solo con transformaciones químicas entre el flujo estacionario y el medio ambiente. La exergía química coincide con la disminución de la función de Gibbs en el valor y como estado coincide con el cambio del estado ambiental al estado muerto o de referencia.

#### **a) Exergía química estándar de sustancias**

Cuando la estructura química de la sustancia no es conocida como sucede en muchos fuels la exergía química se estima a partir del Valor calórico Neto (**Rant Z., 1960**) directamente relacionado con el calor de combustión afectado por un factor  $\beta$  relacionado con los contenidos de C, H, O, N, S, agua y cenizas. El valor de  $\beta$  para diferentes aceites y petróleo oscila entre 1.04 y 1.08 y se estima empleando unas series de ecuaciones obtenidas por (**Szargut J., 1988**) para diferentes tipos de combustibles.

Por otra parte la exergía química de los combustibles se puede estimar por el método

que propone (*Lapido M. y Col., 2006*) relacionado con los contenidos de C, H, O, N, S, agua y cenizas del combustible.

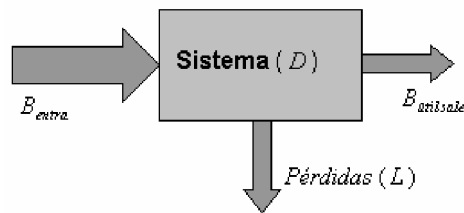
### 1.8.2.5. Análisis exergético

La determinación de las cantidades de energía disponible y no disponible en todas las corrientes de un sistema se denomina *análisis exergético, de disponibilidad o entrópico*. (*De los Ríos R. Y., Calvo, G. A., 1984*) (*Riera G. Y Col., 1998*)

#### 1.8.2.5.1. Balances de exergía

El balance de exergía es similar al balance de energía pero con la diferencia fundamental que, mientras los balances de energía se basan en la ley de conservación de la energía los de exergía pueden estar basados en los postulados de la ley de la degradación de la energía. La degradación de la energía es equivalente a la exergía que se pierde en todo el proceso real irreversible.

En los balances de exergía, las cantidades de exergía que entran al sistema o dispositivo deben convertirse en lo posible en exergía de las corrientes de salida. Las diferencias son debidas a las discrepancias de los procesos termodinámicos con los reversibles y constituyen las irreversibilidades. La disminución de exergía por causas internas recibe el nombre de destrucción de exergía. La exergía de las corrientes de energía que salen del sistema y que no tiene una utilización para los fines concebidos para el sistema, recibe el nombre de pérdidas de exergía.



*Fig. 1.6 Balance de exergía*

$$B_{entra} - B_{útil sale} - L = D > 0 \quad (1-2)$$

Una forma gráfica de representar los balances exergéticos es mediante los llamados *Diagramas de Grassman*, que son diagramas de flujos de exergías en los que las

cantidades de exergía son representadas por el ancho de las flechas.

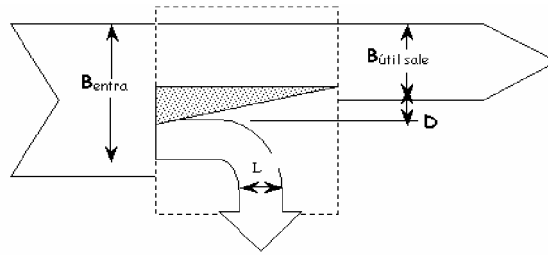


Fig. 1.7 Ejemplo de un Diagrama de Grassman

El balance exergético en todos los casos permite determinar la magnitud de las pérdidas por irreversibilidad del sistema y por lo tanto puede valorar el grado de su perfección termodinámica. (Lapido M. y Col., 2006) (Kotas T. J., 1995)

#### 1.8.2.5.1.1. Rendimiento exergético

El rendimiento exergético ( $\eta_b$ ) mide el grado de perfección termodinámica de un sistema y se define como la relación entre el beneficio y el gasto exergético:

Aparatos que producen trabajo útil:

$$\eta_b = \frac{W_{\text{útil}}}{(B_{\text{ent}} - B_{\text{sal}})} \quad (1-3)$$

Aparatos que no producen trabajo útil:

$$\eta_b = \frac{B_{\text{sal}}}{B_{\text{ent}}} \quad (1-4)$$

En cualquier caso, si los procesos son reversibles:  $\eta_e = 1$ .

#### 1.8.2.5.1.2. Pérdidas exergéticas

La *irreversibilidad* o *pérdida de exergía* ( $I$ ) es la destrucción o pérdida de capacidad de producir trabajo útil y se expresa como,

$$I = B_{\text{ent}} - B_{\text{sal}} \quad (1-5)$$

También puede calcularse por la expresión de Guye-Stodola  $I = T_o \cdot \Delta S$ .

## **1.9. Conclusiones parciales**

1. Los indicadores ambientales son los principales parámetros que ofrecen información y tendencias de una situación medioambiental, su relación con los sistemas de gestión medioambiental permite darle cumplimiento a los objetivos y metas trazadas en dichos sistemas.
2. El consumo de energía es uno de los indicadores medioambientales que más afecta en la actualidad la vida en el planeta, todo ello está dado por el uso irracional e ineficiente de los recursos energéticos principalmente no renovables.
3. La aplicación de medidas P+L permite elevar la eficiencia en el uso de los recursos naturales y las materias primas, minimizar los residuos y reducir los riesgos ambientales derivados de la producción de bienes y servicios.
4. El análisis exergético desde el punto de vista medioambiental cobra mayor importancia con respecto al análisis energético debido a que se basa en los postulados de la ley de la degradación de la energía o exergía que se pierde en todo el proceso real irreversible mientras que el análisis energético se basa en la ley de conservación de la energía.



*C* APÍTULO II

## *CAPÍTULO II*

En este capítulo se presenta la aplicación de los balances de materiales, balances de energía, análisis exergético y los métodos experimentales realizados, lo que permite obtener las ecuaciones fundamentales que permiten obtener numéricamente los principales indicadores del proceso.

Se presenta además la característica del sistema energético a analizar, en este caso es el de la recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama.

### **2.1. Información básica general**

La recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama se encuentra situada en la Carretera Central entre Danielito y Libertadores en la propia ciudad de Santa Clara. La actividad que en ella se desarrolla consiste en reponer la banda de rodadura gastada por una nueva que permite ampliar la vida útil de la carcasa o cuerpo de ruedas restituyendo al neumático sus condiciones. Para ello se utilizan dos métodos.

- Recape en caliente
- Recape en frío (-----, *Folleto*)

El estudio se realizará solamente para el recape en caliente debido a que el mismo es el que utiliza vapor en su proceso.

La entidad posee una capacidad de producción de 11 465 unidades físicas por año.

### **2.2. Descripción tecnológica y energética**

#### **2.2.1. Generalidades sobre el proceso tecnológico**

El proceso tecnológico de recapar un neumático independientemente de su tamaño, diseño o uso, consiste en renovar su banda de rodadura gastada por otra que, similar a la original, restituye al neumático sus condiciones de servicio, capacitándolo para volver a soportar los rigores de la explotación para los que fue diseñado. Para lograr esto se somete el casco a distintas etapas del proceso donde se encuentran los

parámetros óptimos específicos. (*Código: PTR-01, 2000*)

### **2.2.2. Etapas del proceso tecnológico**

Según (*Código: PTR-01, 2000*) el proceso para la fabricación del neumático recapado se divide en las siguientes etapas:

#### ***Inspección inicial y sellado de neumático***

Se realiza para determinar el estado del neumático, así como detectar las perforaciones y daños, tanto interiores como exteriores, aceptando o rechazando el mismo para recape y/o reparación seccional y sellando las perforaciones interiores.

#### ***Bofeo o raspado***

Consiste en llevar el neumático a las dimensiones de diámetro, contorno de raspado y ancho de banda por los cálculos de matriz o molde.

#### ***Chequeo***

Con esta operación se persigue tener una banda limpia y sana estructuralmente, saneando y limpiando las roturas y pinchazos en la banda de rodamiento después de raspado.

#### ***Cementado***

Se realiza con la finalidad de crear en el neumático una superficie químicamente activa que propicie la adhesión de la nueva banda de rodamiento.

#### ***Bandeo***

Consiste en recubrir el neumático con una banda de compuesto sin vulcanizar que se ajuste a las características del molde donde se va a conformar. Esta banda puede suplir a la original banda de rodamiento, por lo que debe tener características similares a ella.

#### ***Vulcanización***

El neumático es sometido a determinadas condiciones de temperatura y presión en el

tiempo.

Esta etapa es la única que no es común entre el recape en caliente y en frío, pues en el necape en frío no se utiliza vapor para conformar y adherir la nueva banda al casco del neumático sino que la banda viene conformada y solamente se adhiere utilizando energía eléctrica, esta operación se realiza en una autoclave.

### ***Reparación seccional***

Es el trabajo que se le realiza al neumático que presenta un daño localizado que afecta parcial o totalmente un área limitada de su cuerpo de capas, restituyendo en esa zona la resistencia perdida.

### ***Inspección final***

Se inspeccionará al cien por ciento de la producción comprobándose el grado de vulcanización, separaciones y apariencia.

### ***Acabado***

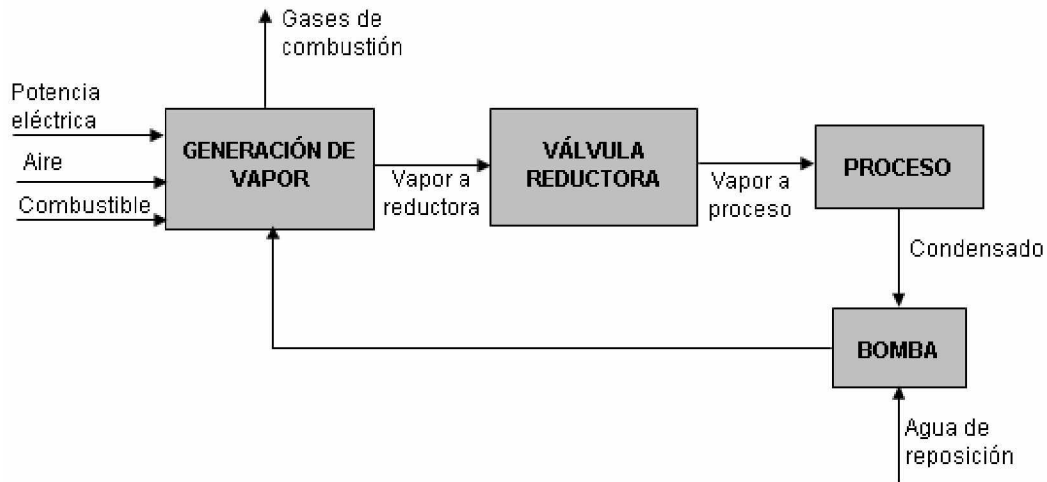
Consiste en recortar los sobrantes (trimear) y pintar los neumáticos que no presentan problemas de calidad aparente.

### **2.2.3. Sistema energético**

El sistema energético de la recapadora David Díaz Guadarrama según se muestra en la Fig. 2.1 está compuesto por la sección de generación de vapor, la válvula reductora, los equipos consumidores y la bomba de recirculación de condensados a la sección de generación. En la generación de vapor existen dos generadores de vapor, solamente uno está en funcionamiento cuya características técnicas puede verse en **anexo VI**. La válvula reductora utiliza todo el vapor producido en la etapa de generación, y está destinada a reducir la presión del vapor desde 7 kgf/cm<sup>2</sup> (0,69 MPa) hasta una presión de 4,33 kgf/cm<sup>2</sup> (0,42 MPa), con el propósito de que el vapor que va a los equipos consumidores posea una temperatura alrededor de 140 °C que es la requerida para la vulcanización

Los equipos consumidores son los siguientes.

- Las prensas industriales.
- La extrusora compact 100.
- Vulcas.
- Una ponchera



*Fig. 2.1 Sistema energético de la recapadora David Díaz Guadarrama.*

Los puntos de interés son los siguientes:

- Generador de vapor.
- Válvula reductora.
- Tres prensas industriales.
- Las tuberías de distribución de vapor con falta de aislamiento.

### **2.3. Balance de energía en el generador de vapor**

La realización de un balance de energía en el generador de vapor conlleva a la determinación de la eficiencia del generador de vapor la cual desde el punto de vista de la economía es el parámetro más importante pues nos caracteriza con que efectividad el equipo capta el calor liberado por el combustible para la generación de vapor, para ello es necesario disponer de la información necesaria cuyos datos disponibles más comunes son los siguientes: *(Pons A. y Coautores, 1987)*

- Análisis elemental del combustible y su porcentaje de agua libre.
- Flujo de combustible suministrado al generador de vapor, así como su temperatura, presión y humedad del aire.
- Análisis de Orsat de los productos gaseosos secos (porcentajes de CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), temperatura de salida.
- Análisis elemental de los residuos o productos sólidos de la combustión.
- Temperatura y presión de agua suministrada.
- Temperatura, presión y flujo del vapor de agua producido.

Existen dos métodos para efectuar el balance, lo que proporciona dos formas para determinar la eficiencia de los generadores de vapor.

- ü Balance directo
- ü Balance indirecto

Solamente se utilizará el método indirecto pues este me permite conocer las pérdidas de energía en los gases de combustión.

### **2.3.1. Procedimiento para el cálculo de la eficiencia del generador de vapor por el método indirecto**

La eficiencia del generador de vapor la determinan fundamentalmente dos factores:

1. Una combustión completa del combustible.
2. Un enfriamiento profundo de los productos de la combustión.

La mayor parte del calor que se libera en el generador de vapor llega a la sustancia de trabajo a través de las superficies de transferencia, como resultado de lo cual el agua se calienta hasta la temperatura de saturación, evapora y el vapor se sobrecalienta. Este calor aprovechado constituye lo que se denomina *calor útil* ( $Q_1$ ) y el resto que no se utiliza para obtener vapor sobrecalentado constituye *las pérdidas* ( $\sum Q_p$ ) (Pérez L., 1972) según se expresa en la ecuación del balance térmico

$$Q_d = Q_1 + \sum Q_p \quad (2-1)$$

La eficiencia energética o rendimiento del generador de vapor  $\eta_t$  (%) está dado por la ecuación

$$\eta_t = \frac{Q_1}{Q_d} \cdot 100 = \frac{(Q_d - \sum Q_p)}{Q_d} \cdot 100 \quad (2-2)$$

### 2.3.1.1. Determinación del calor disponible

El calor disponible  $Q_d$  (kJ/kg) es el calor total que se pone a disposición del generador de vapor para ser transferido a la sustancia de trabajo, pues coincide con el valor calórico neto  $Q_d = Q_i^p = VCN$  debido a que la caldera es pirotubular y la atomización con vapor se utiliza en calderas acuotubulares.

El valor calórico neto para combustibles líquidos se puede determinar por la ecuación que propone (**Clavelo P., 2004**)

$$VCN = (81 \cdot C + 246 \cdot H - 26 \cdot (S + O) - 6 \cdot H_2O) \cdot 4,19 \quad (kJ / kg) \quad (2-3)$$

### 2.3.1.2. Determinación de las pérdidas de calor

La sumatoria de las pérdidas existentes en el generador de vapor  $\sum Q_p$  matemáticamente se expresa de la forma siguiente:

$$\sum Q_p = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2-4)$$

En este caso las pérdidas han sido expresadas como el calor perdido por cada kilogramo de combustible quemado, en caso de que se quiera utilizar las pérdidas en kilowatt (kW = kJ/s) se multiplica por el flujo de combustible quemado.

Las pérdidas pueden además, ser expresadas como por ciento del calor disponible.

$$\sum q_p = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (\%)$$

donde:

$$\text{a) } q_2 = \frac{Q_2}{Q_d} \cdot 100; \quad \text{b) } q_3 = \frac{Q_3}{Q_d} \cdot 100; \quad \text{c) } q_4 = \frac{Q_4}{Q_d} \cdot 100; \quad \text{d) } q_5 = \frac{Q_5}{Q_d} \cdot 100 \quad (2-5)$$

### 2.3.1.2.1. Energía perdida debido a los productos gaseosos secos

Constituye la mayor pérdida en los generadores de vapor y es una función de la temperatura a que salen los productos gaseosos ( $T_g$ ), de forma tal que cuanto mayor sea  $T_g$  mayores serán las pérdida de energía. Los precalentadores y economizadores contribuyen a disminuir esta pérdida. Otros factores, como un gran exceso de aire, una circulación pobre de agua en los generadores, superficies de transferencia de calor sucias, etc, también contribuyen a aumentar  $Q_2$ .

Estas pérdidas de energía se pueden estimar según (**Pons A. y Coautores, 1987**)

$$Q_2 = W_{GS} \bar{C}_{PGS} (T_{GS} - T_a) \quad (2-6)$$

La capacidad calorífica promedio  $\bar{C}_{PGS}$  entre  $T_a$  y  $T_{GS}$  para los productos gaseosos secos generalmente toma un valor de 1 kJ/kg-°C.

#### a) Determinación del número de kilogramos de los productos gaseosos

Para el cálculo del número de kilogramos de los productos gaseosos se procede mediante un balance de masa del que se obtiene que

$$W_{GS} = \frac{4(\%CO_2) + (\%O_2) + 700}{3(\%CO_2) + 3(\%CO)} [C_{RQ} + 0,425(S)] \quad (2-7)$$

donde:

(% $CO_2$ ), (% $CO$ ), (% $O_2$ ) - Se obtienen del análisis Orsat de los gases. **Anexo VI**

( $S$ )- Se obtiene del análisis elemental del combustible. **Anexo II**

**b) Determinación de la cantidad de kilogramos de carbono quemado por kilogramo de combustible**

A partir de un balance de masa de cenizas, se obtiene

$$m_R = \frac{A}{A_R} \quad (2-8)$$

A partir de un balance de masa de carbono, se obtiene

$$C_{RQ} = C - \frac{A}{A_R} C_R \quad (2-9)$$

o lo que es lo mismo  $C_{RQ} = C - \frac{W_R}{m_c} C_R$ . Para combustibles líquidos y gaseosos se considera que  $C_R = 0$  y, por tanto  $C_{RQ} = C$ .

**2.3.1.2.2. Energía no liberada por combustión incompleta de carácter químico**

La pérdida por incombustión química tiene su origen en el hecho de que no todo el carbono y demás sustancias combustibles encuentran la cantidad suficiente de oxígeno como para sufrir una oxidación total lo que trae como consecuencia que en la reacción sólo se llegue a productos intermedios, dejándose de desprender una determinada cantidad de calor. Los productos intermedios que generalmente se obtienen son  $CO$ ,  $H_2$  y  $CH_4$  los que deberían pasar mediante una oxidación total a  $CO_2$  y  $H_2O$  desprendiendo una mayor cantidad de calor.

En los generadores de vapor esta pérdida por lo general está en valores bajos, oscilando en los siguientes rangos.

Sólidos en cámara	→	$q_3 \approx 0,5 \%$
Líquidos y gases	→	$q_3 \approx 0,5 \%$
Sólidos en capa	→	$q_3 \approx 0,5 - 1 \%$
Sólidos en pila	→	$q_3 \approx 2 \%$

La magnitud de la pérdida por incombustión química puede calcularse por la siguiente ecuación. (UCLV)

$$Q_3 = 23571 C_{RQ} \frac{(\%CO)}{[(\%CO_2) + (\%CO)]} \quad (2-10)$$

### 2.3.1.2.3. Energía no liberada por combustión incompleta de carácter mecánico

La pérdida por incombustión mecánica tiene su origen en el hecho de que siempre en una combustión real, una pequeña parte de las sustancias combustibles por ejemplo el carbono no encuentra oxígeno y no se combustiona. Este carbono puede tomar dos caminos, irse por el tracto de gases constituyendo parte de los residuos volátiles o quedarse en la parrilla del horno para formar parte de los residuos que deberán ser extraídos mediante limpiezas.

El cálculo de la energía no liberada por combustión incompleta de carácter mecánico se puede realizar por la siguiente ecuación.

$$Q_4 = 33733 \frac{W_R}{m_c} C_R \quad (2-11)$$

### 2.3.1.2.4. Energía perdida debido a radiación, convección y conducción en la paredes del horno

Esta pérdida abarca todo el calor que por diferentes vías va a pasar al medio ambiente, ya sea por radiación directa a través de los registros abiertos o por conducción a través de las paredes.

El cálculo de la pérdida debido a la radiación, convección y conducción se puede determinar mediante la ecuación (2-5 d) donde  $q_5$  tiene los siguientes rangos de oscilación en dependencia de la producción del generador de vapor. (UCLV)

$$\begin{aligned} m_v < 10 \text{ t/h} & \rightarrow q_5 = 2 - 2,5 \% \\ m_v = 10 - 100 \text{ t/h} & \rightarrow q_5 = 0,5 - 2 \% \\ m_v = 100 - 300 \text{ t/h} & \rightarrow q_5 = 0,4 - 0,5 \% \end{aligned}$$

### **2.3.1.3. Determinación del calor útil**

El calor útil ( $Q_1$ ) es la cantidad de calor que se entrega a la sustancia de trabajo en todo su recorrido, desde que entra al economizador hasta que sale del último sobrecalentador. Su valor se obtiene de la ecuación del balance térmico.

## **2.4. Procedimiento para el cálculo de las pérdidas energéticas en las prensas industriales**

### **2.4.1. Consumo de vapor en las prensas industriales**

El consumo de vapor se obtiene a través del muestreo en cada equipo. Consiste en la toma de datos de volumen de condensado para varios tipos de neumáticos en correspondencia con su tiempo requerido en la operaciones de vulcanización, desahogo y enfriamiento, este último no aplicable a todos los tipos de neumáticos, solamente a los neumáticos del tipo 15.5-38.

Obtenidos los datos de volúmenes de condensado por neumático, se procede al cálculo del consumo de vapor a través de la ecuación:

$$m_{vE} = V_{cv} \cdot \rho_c \quad (\text{kg}_v / \text{neumático}) \quad (2-12)$$

donde  $m_{vE}$  es la cantidad real de vapor consumido en la etapa de vulcanización,  $V_{cv}$  el volumen medido experimentalmente y  $\rho_c$  es la densidad del condensado.

### **2.4.2. Pérdidas de energía en las prensas industriales**

La pérdida de energía de las prensas industriales (ver prensas en **anexo XVII**) está dada por el tiempo que permanecen abierta transcurrido el tiempo de vulcanización, correspondiente al tiempo de desahogo ( $I_{vd}$ ) y enfriamiento ( $I_{ve}$ ) para el caso de los neumáticos 15.5- 38.

Durante el transcurso del tiempo de desahogo que es de cinco minutos para todo tipo de neumáticos, las prensas permanecen abiertas y con circulación de vapor, por lo que provoca que la cantidad de vapor circulante por el equipo no sea útil, y por tanto la

energía que posee el vapor se pierde.

#### **2.4.2.1. Pérdidas de energía por el tiempo de desahogo**

La pérdida de energía en el tiempo en que permanecen abiertas las prensas está dada por la ecuación (2-12) pero utilizando:  $V_{cd}$  volumen de condensado correspondiente al tiempo desahogo, y para el caso del tiempo de enfriamiento se procede de la misma forma pero utilizando el volumen de condensado del tiempo de enfriamiento  $V_{ce}$ , multiplicada por la entalpía de cambio de fase del vapor.

### **2.5. Pérdida de calor en las tuberías**

El flujo de calor de las tuberías al aire ambiente usualmente es una pérdida y, por tanto, es deseable reportar el dato como *unidad de conductancia*  $k/L$ . Un tubo como el que se muestra en la Fig 2.2 cubierto con un aislante y que lleva vapor a la temperatura  $T_s$  considerablemente arriba de la temperatura atmosférica  $T_{ma}$ . La diferencia total de temperatura que origina el flujo de calor hacia fuera del tubo es  $T_s - T_{ma}$ . Las resistencias al flujo de calor tomadas al orden son, la resistencia del vapor al condensarse y dar su calor a la superficie interna del tubo, resistencia que experimentalmente se ha encontrado muy pequeña, de manera que  $T_s$  y  $T'_s$  son casi las mismas, la resistencia del tubo metálico, que es muy pequeña excepto para tuberías gruesas, la resistencia del aislante y la resistencia del aire que lo rodea para eliminar el calor de la superficie externa. (Kern D., 1995)

Condensación del vapor:

$$q = h_s \pi D'_s (T_s - T'_s) \quad (2-13)$$

Pared del tubo:

$$q = \frac{2\pi k_b}{2,3 \log D''_s / D'_s} (T'_s - T''_s) \quad (2-14)$$

Aislante:

$$q = \frac{2\pi k_c}{2,3 \log D_1 / D_s''} (T_s'' - T_1) \quad (2-15)$$

Radiación y convección al aire:

$$q = h_a \pi D_1 (T_1 - T_{ma}) \quad (2-16)$$

combinando

$$T_s - T_{ma} = q \left( \frac{1}{h_s \pi D_s'} + \frac{2,3}{2\pi k_b} \log \frac{D_s''}{D_s'} + \frac{2,3}{2\pi k_c} \log \frac{D_1}{D_s''} + \frac{1}{h_a \pi D_1} \right)$$

el término dentro del paréntesis son las cuatro resistencias, y de éstas, las primeras dos usualmente se desprecian y por tanto la ecuación se reduce a

$$q = \frac{\pi (T_s - T_{ma})}{\frac{2,3}{2k_c} \log \frac{D_1}{D_s''} + \frac{1}{h_a D_1}} \quad (2-17)$$

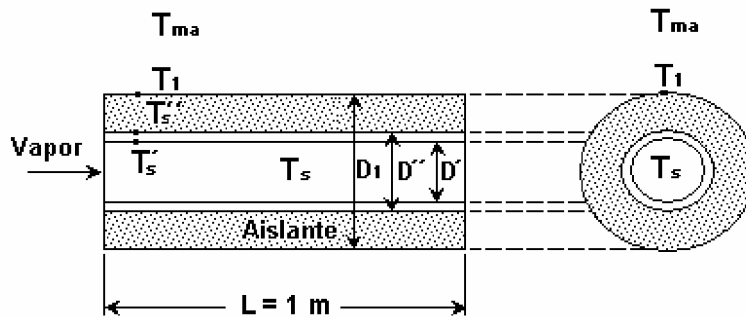


Fig. 2.2 Pérdida de calor de un tubo aislado.

### 2.5.1. Metodología para el cálculo de la pérdida de calor en las tuberías aisladas

El cálculo de las pérdidas de calor en las tuberías se realiza mediante tanteo según (**Kern D., 1995**). Todo está dado a que casi siempre se desconoce el valor de la temperatura en el exterior del aislante  $T_{1sup}$ . El procedimiento es el siguiente:

Primeramente se supone una temperatura  $T_1$  con la cual se determina el coeficiente

superficial de transferencia de calor ( $h_a$ ) mediante la ecuación de Hellman-Koch.

$$h_a = 9,4 + 0,052(T_1 - T_a) \quad (2-18)$$

Una vez determinado el valor de coeficiente superficial de transferencia de calor se procede al cálculo del flujo de calor a través de la ecuación (2-17) y con este valor de flujo de calor se calcula la temperatura en el exterior del aislante  $T_{1cal}$  utilizando la ecuación (2-15) y se hacen las siguientes comparaciones:

- Si  $T_{1sup} \neq T_{1cal}$  se repite el tanteo suponiendo el valor de  $T_{1cal}$ .
- Si  $T_{1sup} = T_{1cal} \pm 3^\circ C$  entonces se termina el tanteo y  $T_1 = T_{1sup}$  y por tanto el flujo de calor calculado sería el calor perdido.

### 2.5.2. Cálculo de la pérdida máxima de calor en las tuberías aisladas

Para aislantes planos, se cumple que entre más grueso es el aislante menor será la pérdida total de calor, no cumpliéndose para aislamientos curvos. En el caso de las tuberías a medida que el grueso del aislante se aumenta, la superficie de la que el calor debe ser removido por el aire aumenta y la pérdida total de calor puede aumentar si el área aumenta más rápidamente que la resistencia.

La máxima pérdida de calor por una tubería tiene lugar cuando el radio crítico ( $r_c$ ) es igual a la razón de la conductividad térmica del aislante ( $k_b$ ) al coeficiente de superficie de transferencia de calor ( $h_a$ ); o sea

$$r_c = \frac{k_b}{h_a} \quad (2-19)$$

Es necesario mantener el radio crítico tan pequeño como sea posible, de manera que la aplicación del aislante proporcione una reducción y no un aumento de la pérdida de calor en la tubería; y por tanto al usar un material aislante el radio crítico sea menor que el radio de la tubería  $r_c < r_1$ . (**Kern D., 1995**)

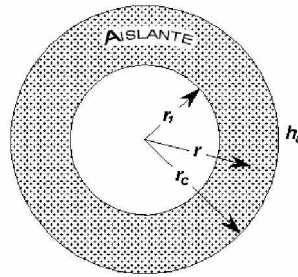


Fig. 2.3 El radio crítico

### 2.5.3. Cálculo de pérdida de calor tuberías sin aislamiento

En el cálculo de la pérdida de calor en las tuberías sin aislamiento sólo hay que tener en cuenta la resistencia que ejerce el espesor del tubo  $(D'' - D')/2$  y es necesario conocer el valor de la temperatura en el exterior del tubo ( $T_{ext}$ ) el cual se obtiene por medición experimental.

$$q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{\Delta T}{L_a / k_a A_m} = \frac{T_{ext} - T'_s}{\frac{(D'' - D')/2}{\pi k_a (D' + D'')/2}} \quad (2-20)$$

## 2.6. Análisis exergético

### 2.6.1. Cálculo de exergía en el generador de vapor

Se procede mediante la ecuación del balance de exergía (**Ecuación 1-1**) aplicada al generador, donde las corrientes de entradas y salidas se muestran a continuación.

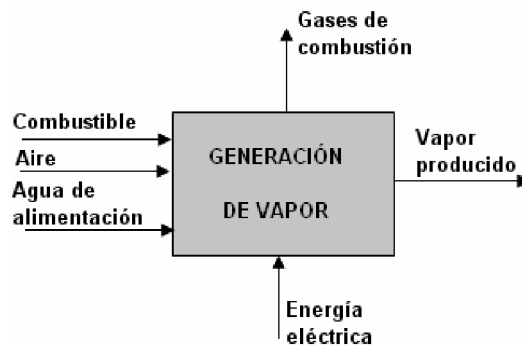


Fig. 2.4 Corrientes de entradas y salidas en el generador de vapor.

### 2.6.1.1. Exergía del combustible

La componente química de la exergía del combustible (fuel-oil) ( $b_c$ ) depende, entre otros factores de su composición química y de su estructura física, puede determinarse en función de la composición elemental de la masa orgánica a través de la siguiente ecuación (**Lapido M. y Col., 2006**)

$$b_c = K(1066 + 67.4 \cdot \omega + 1875 \cdot v + 3784 \cdot \sigma - 177,8 \cdot \zeta) \quad (\text{kJ} / \text{kg}) \quad (2-21)$$

donde

$$K = 7.817 \cdot C \quad (\text{kJ} / \text{kg})$$

$$v = \frac{3 \cdot N}{7} \cdot C \quad \sigma = 1 + \frac{3 \cdot \left( H - \frac{O - S}{8} \right)}{C} \quad \omega = 6 \cdot H \cdot C \quad \zeta = \frac{3 \cdot S}{8} \cdot C \quad (\text{J} / \text{kg})$$

La exergía del combustible ( $B_c$ ) se determina mediante la multiplicación de la componente química de la exergía con el flujo, o sea

$$B_c = b_c \cdot m_c \quad (\text{kJ} / \text{h})$$

### 2.6.1.2. Exergía del vapor a la salida y del agua de alimentación a la entrada

La componente química de la exergía del vapor se puede determinar mediante la ecuación empírica que propone (**Lapido M. y Col., 2006**)

$$b_v = -1154,3 + 4,58 \cdot (T_{(K)}) \quad (\text{kJ} / \text{kg}) \quad (2-22)$$

y para el agua de alimentación

$$b_L = -258,7 + 0,88 \cdot (T_{(K)}) \quad (\text{kJ} / \text{kg}) \quad (2-23)$$

### 2.6.1.3. Exergía de los gases productos de la combustión

Mediante la ecuación (1-1) se calcula la componente física de la exergía para cada sustancia producto afectado por la fracción másica de cada uno. Finalmente la sumatoria de la componente física de la exergía de cada sustancia producto se multiplica por el flujo de gases y se obtiene como resultado la exergía de los productos gaseosos de combustión. El estado de referencia es 25 °C. La fracción másica de los componentes

CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO y O<sub>2</sub> se determinó por medición experimental, el agua y el nitrógeno por balance de masa en el generador. **Anexo X**

Para la medición experimental de los gases secos de la combustión se utilizó el analizador de gases *ECOM-SG*. **Anexo VI**

Por otra parte el exceso de aire se puede determinar empleando la ecuación siguiente, **(Rodríguez J.)**

$$exc = \frac{3,76 \cdot \%O}{100 - \%CO_2 - 4,76 \cdot \%O} \quad (2-24 \text{ a})$$

$$\alpha = 1 + exc \quad (2-24 \text{ b})$$

Cuando se plantea que un horno trabaja con un coeficiente de exceso de aire  $\alpha = 1.2$  significa que se suministra 1.2 veces más aire que el teórico, o lo que es igual, un 20 % de aire más que el que teóricamente es necesario.

#### **2.6.1.4. Exergía del aire suministrado**

Primeramente, antes de determinar la exergía del aire es necesario obtener la cantidad de aire a suministrar al generador de vapor. Para ello se procede a través de la siguiente ecuación

$$m_{AS} = W_{AS} \cdot m_c \quad (kg_{AS} / h) \quad (2-25)$$

donde  $W_{AS}$  se obtiene al aplicar balance de masa en el generador y también se puede obtener por la ecuación siguiente **(Pons A. y Coautores, 1987)**

$$W_{AS} = \frac{3,036(\%N_2)}{[(\%CO_2) + (\%CO)]} \cdot C_{RQ} - \frac{N}{0,768} \quad (kg_{AS} / kg_c) \quad (2-26)$$

Finalmente mediante la ecuación **(1-1)** se procede al cálculo de la componente física de la exergía del aire y multiplicada por el flujo se obtiene la exergía del aire suministrado al generador de vapor.

#### **2.6.1.5. Exergía de los equipos eléctricos auxiliares**

La energía eléctrica que utilizan los equipos eléctricos (quemadores y calentadores)

tiene la particularidad de ser toda exergía, es una energía de alta calidad, con elevada capacidad para producir cambio. (*Libro del PAEC, 2002*) En la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica se obtienen rendimientos muy altos (90 % y a veces mayor) sólo se necesita eliminar las irreversibilidades del proceso como es la disminución de las fricciones, sin embargo en la conversión del calor en trabajo se muestran pobres rendimientos (alrededor de 40 % como máximo). (*Matos R., Hing R., 1988*) El consumo de energía eléctrica de los equipos se obtiene de los catálogos cuyos valores son resultados de procesamientos estadísticos de datos experimentales.

### **2.6.2. Determinación de la exergía en la válvula reductora**

El vapor de agua a una determinada presión posee una calidad de energía pero al ocurrir aumento o disminución de la presión la calidad de la energía también varía. Esto sucede en la válvula reductora donde ocurre una degradación de la exergía del vapor debido a la disminución de la presión del vapor. Por tanto la pérdida exergética y el rendimiento exergético en la válvula reductora se pueden determinar mediante las ecuaciones (1-5) y (1-4) respectivamente.

## **2.7. Residuales generados en el proceso**

### **2.7.1. Cantidad de residuos sólidos generado por unidad procesada**

Se procede a través de mediciones experimentales en la etapa de bofeo. Las mediciones consisten en cuantificar las cantidades de lascas y polvo de bofeo que se genera durante la etapa para diferentes tipos de neumático, la cantidad de residuo sólido se expresa en (kg/unidad procesada).

### **2.7.2. Caracterización de los residuales líquidos**

#### **2.7.2.1. Origen y composición de las aguas residuales**

Las aguas residuales de esta industria provienen de varios puntos del proceso productivo como son la caldera, las prensas, los compresores, etc., así como los

residuales del comedor los cuales vierten por vías al alcantarillado.

### **2.7.2.2. Muestreo, materiales y métodos**

El muestreo se realizó en el horario comprendido en una jornada de trabajo y se tomaron cinco muestras compuestas en los siguientes puntos.

Muestra 1 (M-1): salida de la caldera.

Muestra 2 (M-2): zanja de salida que procede de los compresores y del lavamanos de la producción.

Muestra 3 (M-3): zanja de las prensas.

Muestra 4 (M-4): salida de la extrusora compact 100.

Muestra 5 (M-5): salida comedor.

Los parámetros analíticos medidos fueron: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables totales, potencial de hidrógeno (pH), temperatura, conductividad eléctrica, hidrocarburos y grasas, nitrógeno total y fósforo total.

Estos parámetros se comparan con los establecidos en la Norma Cubana NC 27: 99 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones) con el fin de detectar si es significativo el impacto de estos residuales.

## **2.8. Conclusiones parciales**

1. Los métodos y procedimientos explicados avalan con adecuado rigor científico-técnico, los cálculos que pueden hacerse en función de evaluar las corrientes de interés en el proceso de recape de neumático.
2. La caracterización y/o cuantificación de los efluentes líquidos, residuos sólidos y emisiones gaseosas posibilitan evaluar el comportamiento ambiental a través de indicadores generados para la entidad objeto de estudio.

## Glosario de términos

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
$Q_d$	Calor disponible	$\text{kJ/kg}_c$
$Q_1$	Calor útil que es entregado a la sustancia de trabajo	$\text{kJ/kg}_c$
$\sum Q_p$	Sumatoria de las pérdidas de calor s en el generador de vapor	$\text{kJ/kg}_c$
$Q_i^p = VCN$	Calor de combustión inferior o valor calórico neto del combustible	$\text{kJ/kg}$
$Q_2$	Energía perdida debido a los productos gaseosos secos	$\text{kJ/kg}_c$
$Q_3$	Energía no liberada por combustión incompleta de carácter químico	$\text{kJ/kg}_c$
$Q_4$	Energía no liberada por combustión incompleta de carácter mecánico	$\text{kJ/kg}_c$
$Q_5$	Energía perdida debido a radiación, convección y conducción en la paredes del horno	$\text{kJ/kg}_c$
$b$	Componente física y/o química de la exergía	$\text{kJ/kg}$
$B$	Exergía	$\text{kJ/s ó kW}$
$W_{GS}$	Número de kilogramos de productos gaseosos secos por kilogramo de combustible alimentado	$\text{kg}_{GS}/\text{kg}_c$
$T_c$	Temperatura del combustible al entrar a los quemadores	$^{\circ}\text{C}$
$H_c$	Entalpía del combustible al entrar a los quemadores	$\text{kJ/kg}$
$H_v$	Entalpía del vapor producido por el generador de vapor	$\text{kJ/kg}$
$H_{aa}$	Entalpía del agua de alimentación	$\text{kJ/kg}$
$S$	Entropía	$\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{K}$
$T_a$	Temperatura de entrada del aire	$^{\circ}\text{C}$
$T_g$	Temperatura de salida de los productos gaseosos de combustión	$^{\circ}\text{C}$
$T_s$	Temperatura del vapor	$^{\circ}\text{C}$
$T_{ma}$	Temperatura ambiental	$^{\circ}\text{C}$
$T_1$	Temperatura en el exterior del aislante en una tubería aislada	$^{\circ}\text{C}$

**CAPÍTULO II**  
**Métodos y Procedimientos Aplicados**

$\bar{C}_{PGS}$	Capacidad calorífica promedio entre $T_a$ y $T_g$ para los productos gaseosos secos	kJ/kg °C
$C_c$	Capacidad calorífica del combustible	kJ/kg °C
$C_{RQ}$	Cantidad de kilogramos de carbono quemado por kilogramo de combustible	adim
$W_R$	Cantidad de kilogramos de residuos obtenidos por kilogramo de combustible alimentado	kg <sub>R</sub> /kg <sub>c</sub>
$A$	Fracción masa de ceniza en el combustible	kg <sub>cen</sub> /kg <sub>c</sub>
$C$	Fracción masa de carbono en combustible	kg <sub>car</sub> /kg <sub>c</sub>
$A_R$	Fracción masa de ceniza en el residuo	kg <sub>cen</sub> /kg <sub>c</sub>
$C_R$	Fracción masa de carbono en el residuo	kg <sub>car</sub> /kg <sub>c</sub>
$m_c$	Flujo de combustible	kg/h
$m_v$	Flujo de vapor producido por el generador de vapor	kg/h
$m_{vv}$	Flujo de vapor consumido en la etapa de vulcanización	kg/h
$V_c$	Flujo volumétrico experimental de condensado en la etapa de vulcanización.	m <sup>3</sup> /U
% <i>exc</i>	Porcentaje de exceso de aire	%
$\alpha$	Coefficiente de exceso de aire	adim
$I_{vd}$	Pérdida de energía en la prensa en el tiempo de desahogo	kJ/U
$I_{vE}$	Pérdida de energía en la prensa en el tiempo de enfriamiento	kJ/U
$V_{cd}$	Flujo volumétrico de condensado correspondiente al tiempo de desahogo	m <sup>3</sup> /U
$V_{ce}$	Flujo volumétrico de condensado correspondiente al tiempo de enfriamiento	m <sup>3</sup> /U
$q$	Flujo de calor en tuberías	kJ/(h-m)
$h_s, h_a$	Coefficientes superficiales de transferencia de calor	kJ/(h-m <sup>2</sup> -°C)
$k$	Conductividad térmica	kJ/(h-m-°C)
$D$	Diámetro	m
$r_c$	Radio crítico	m
$L$	Longitud de tubería	m

**CAPÍTULO II**  
**Métodos y Procedimientos Aplicados**

---

$A_m$	Área media logarítmica	adim
$\eta$	Eficiencia	%
$\lambda_v$	Calor latente de vaporización del vapor de agua	kJ/kg
$\rho_c$	Densidad del condensado	kg/m <sup>3</sup>



*C*APÍTULO III

### **CAPÍTULO III**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del análisis energético, análisis exergético y de las mediciones experimentales cuyos valores permiten realizar las propuestas de indicadores medioambientales a través de los cuales se puede conocer el comportamiento ambiental de la recapadora.

Cabe destacar la importancia del programa profesional EXCEL como herramienta de cálculo; los datos utilizados se muestran en **anexo III**.

#### **3.1. Presentación de los resultados y propuestas de los indicadores medioambientales**

Debido a las características del proceso en estudio los indicadores medioambientales que se proponen pertenecen al grupo de los indicadores de comportamiento medioambiental descrito en el capítulo I. Los mismos informan la relación a escala operativa del proceso con el medio ambiente. Para ello se analizan las entradas y salidas de los materiales de los que se dispone para elaborar el producto final (neumático recapado) en los puntos de mayor interés, tal como la generación, distribución y consumo de vapor y la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

Los datos cuantitativos que constituyen el punto de partida para la propuesta de indicadores medioambientales son: el consumo de energía y generación de residuos.

##### **3.1.1. Indicadores en la generación de vapor**

###### **3.1.1.1. Distribución de exergía en las corrientes de entrada y salida**

Con la aplicación del análisis exergético se obtuvo la distribución de exergía de cada corriente. La distribución para cada corriente por neumático procesado se muestra en las figuras 3.1 y 3.2. Las corrientes que entran y salen del generador de vapor se pueden observar en la Fig. 2.4.

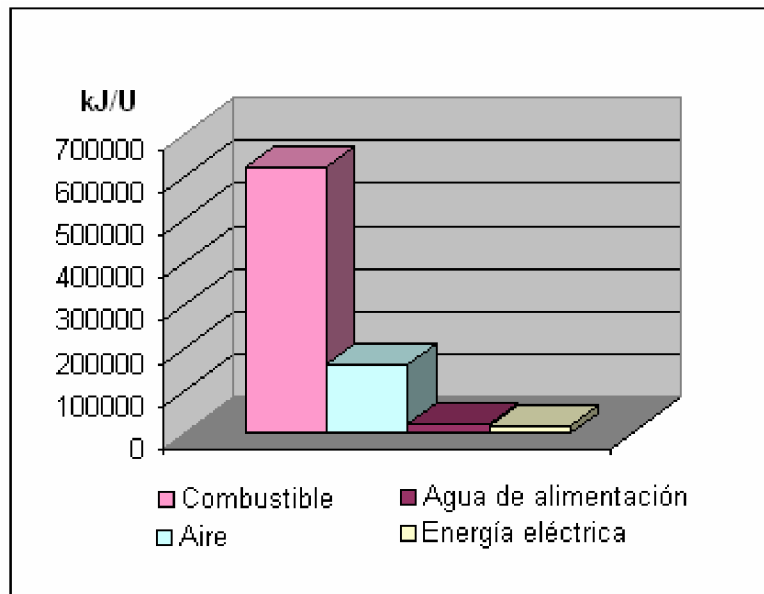


Fig. 3.1 Distribución de la exergía en las corrientes de entradas del generador de vapor.

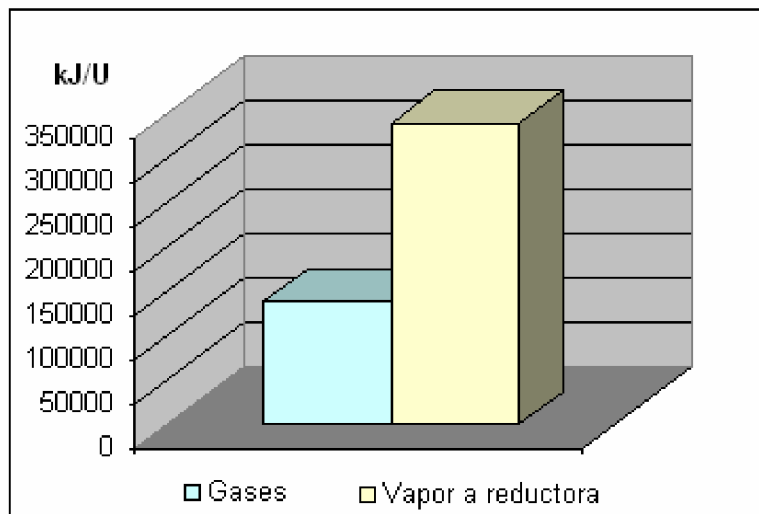


Fig. 3.2 Distribución de la exergía en las corrientes de salida del generador de vapor.

Según muestra la figura 3.2 los gases que salen a una temperatura de 250 °C contienen una cantidad de exergía de 138 235,44 kJ por unidad procesada.

### 3.1.1.2. Pérdidas por irreversibilidades o medida cualitativa de la energía

La energía que contiene el vapor es de gran importancia porque es la que se utiliza en el

proceso. Al pasar el vapor a través de la válvula reductora el vapor pierde calidad debido a la reducción de presión desde 0,69 Mpa hasta 0,42 Mpa que en esta se produce, esto provoca una degradación de la energía, o sea se tiene una medida cualitativa de la energía. En la figura 3.3 se muestra las pérdidas por irreversibilidades en el generador y en la válvula reductora.

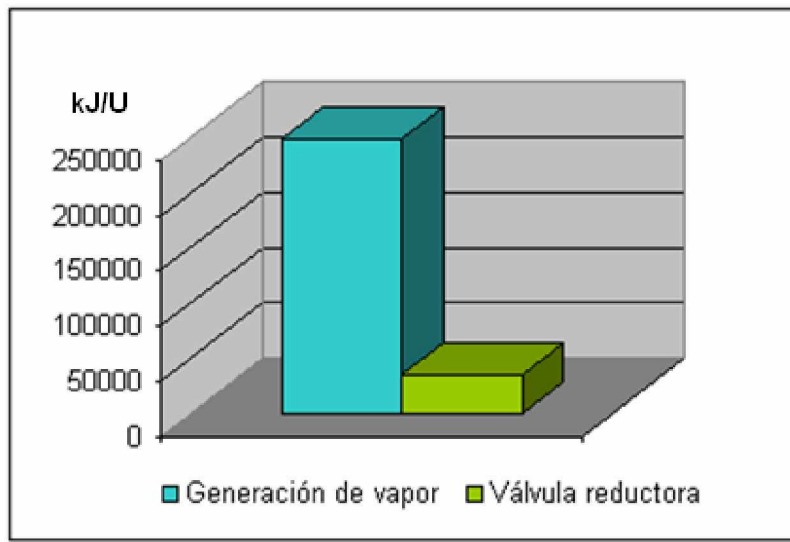


Fig. 3.3 Pérdidas de exergía por irreversibilidades en el generador de vapor y en la válvula reductora.

Por tanto:

- En el generador se pierden 248 193,70 kJ de exergía por cada unidad procesada (ver diagrama de flujo de exergía en **anexo XI**).
- En la válvula reductora se pierden 34 789,68 kJ de exergía por cada unidad procesada (ver diagrama de flujo de exergía en **anexo XII**).

En la siguiente tabla se resumen parámetros e indicadores propuestos en el generador de vapor y la válvula reductora luego de la aplicación del análisis energético y exergético,

Tabla 3.1 Parámetros e indicadores en el generador y la válvula reductora.

<b>Parámetros</b>	
Temperatura de los gases generados (°C)	250
Coeficiente de exceso de aire	1,235
Eficiencia térmica (%)	87,99
Cantidad de CO (% vol)	0,01 (100,2 ppm)
Cantidad de SO <sub>2</sub> (% vol)	0,0767 (767 ppm)
<b>Indicadores</b>	
Pérdidas de exergía en gases (kJ/U)	138 235,44
Pérdidas de exergía por irreversibilidades en el generador (kJ/U)	248 193,70
Pérdidas de exergía por irreversibilidades en la válvula reductora (kJ/U)	34 789,68
Índice de generación (kg <sub>v</sub> /kg <sub>c</sub> )	21,68

Se observa en la tabla 3.1 que la temperatura de los gases es elevada, puesto que (*Rubio A., 2000*) recomienda que la temperatura óptima de los gases a la salida del generador debe ser de 150 a 160 °C aunque en este intervalo de temperatura empieza a condensarse el vapor y los sustancias derivadas del azufre que provocan corrosión en el equipo, por lo que no debe ser menor de 200 °C, sin embargo la eficiencia térmica del generador está en el intervalo, el mismo autor recomienda que la eficiencia térmica de los generadores modernos debe oscilar entre 85 - 95 %. Por otra parte el coeficiente de exceso de aire está en el intervalo de 1,2 - 1,3 que propone (*Clavelo P., 2004*)

En cuanto a la emisión de gases no existe problemas graves de contaminación debido a que la cantidad de SO<sub>2</sub> y CO generados se encuentran por debajo del valor admisible reportado por (*Rubio A., 2000*). El valor admisible para el SO<sub>2</sub> y CO son 1299,9 ppm y 152,2 ppm respectivamente.

### 3.1.2. Indicadores en el sistema de distribución de vapor

El problema en el sistema distribución de vapor está dado por los tramos de tuberías sin aislar. Por inspección en el sistema de distribución de la recapadora se detectaron las

**CAPÍTULO III**  
**Presentación de los Resultados y Propuestas de los Indicadores**

siguientes tuberías con problemas:

Tubería	Diámetro	Aislamiento	Tramo sin aislar
Tubería de distribución de vapor principal	3 plg	1 plg de amianto	4 m
Tuberías de vapor a compact 100	3/4 plg	3/4 plg de amianto	0,5 m
Tuberías de vapor a ponchera	3/4 plg	3/4 plg de amianto	4 m
Tuberías bajante a prensas industriales	1/2 plg	1/2 plg de amianto	8 m

La pérdida de energía en cada tubería se muestra en la siguiente figura:

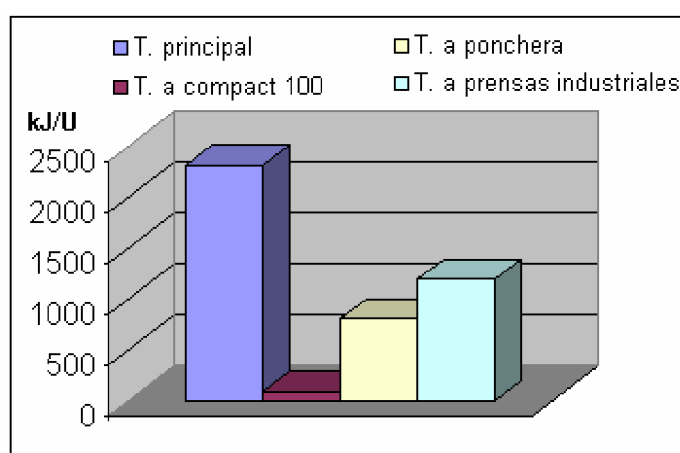


Fig. 3.4 Pérdidas de energía por falta de aislamiento en tuberías de distribución de vapor.

Por tanto como indicadores se tiene la distribución de estas pérdidas y se resumen en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 3.2 Indicadores en las tuberías de distribución de vapor.

Tubería	Pérdidas de energía en tuberías por unidad procesada	Consumo de combustible
Tubería de distribución de vapor principal	2 313,45 kJ/U	0,05 kg/U
Tubería de vapor a compact 100	101,2 kJ/U	0,00219 kg/U
Tubería de vapor a ponchera	809,63 kJ/U	0,0175 kg/U
Tuberías bajantes a prensas	1 197,19 kJ/U	0,0259 kg/U
<b>TOTAL</b>	-----	<b>0,096 kg/U</b>

En esta tabla se observa que los tramos de tuberías que presentan falta de aislamiento

provocan una pérdida de energía que se traduce en un consumo de combustible de 0,096 kg por cada unidad que se procesa, ello afecta la economía de la planta y el medio ambiente por que al consumir mayor cantidad de combustible se genera mayor cantidad de emisiones gaseosas, además de provocar calentamiento en las zonas de trabajo.

### 3.1.3. Indicadores en la etapa de bofeo

Los resultados obtenidos de las mediciones experimentales en la etapa de bofeo se muestran en la siguiente figura.

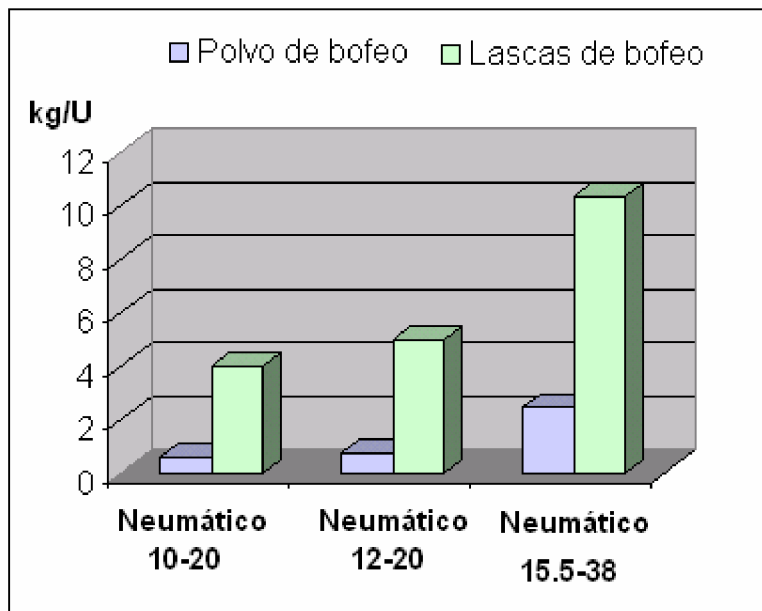


Fig. 3.5 Residuos sólidos generados en la etapa de bofeo por neumático procesado.

Por tanto, en la tabla 3.3 se muestra la relación de indicadores propuestos en la etapa de bofeo.

Tabla 3.3 Indicadores en la etapa de bofeo.

Neumático	Polvo de bofeo generado	Lascas de bofeo generada	Tasa de generación
10-20	0,6 kg/U	4,025 kg/U	0,154 kg <sub>RS</sub> /kg <sub>U</sub>
12-20	0,75 kg/U	5 kg/U	0,10 kg <sub>RS</sub> /kg <sub>U</sub>
15.5-38	2,47 kg/U	10,33 kg/U	0,152 kg <sub>RS</sub> /kg <sub>U</sub>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,27 kg/U</b>	<b>6,45 kg/U</b>	<b>0,135 kg<sub>RS</sub>/kg<sub>U</sub></b>

De la tabla anterior se observa que la relación de masa de residuo sólido (RS) generado

por masa de unidad procesada o tasa de generación está por encima del valor máximo del intervalo que reporta (Zaror C., 2000) el mismo es de 0,01-0,1 kg<sub>residuo</sub>/kg<sub>producto</sub>.

### 3.1.4. Indicadores en los consumidores de vapor (prensas industriales)

Las pérdidas en las prensas industriales están dadas por el tiempo en que permanecen abiertas las mismas con circulación innecesaria de vapor. La figura 3.6 muestra la distribución de dichas pérdidas para tres tipos de neumáticos.

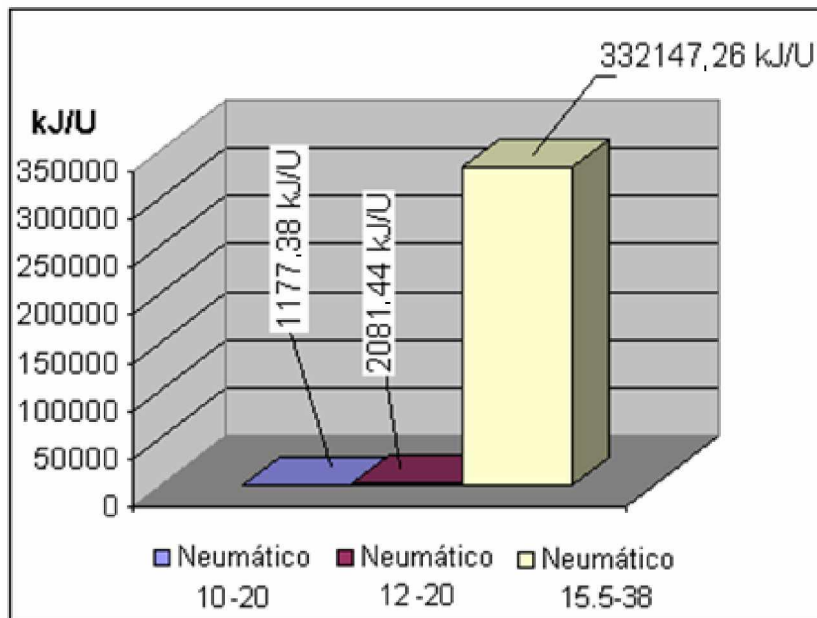


Fig. 3.6 Pérdidas de energía en las prensas industriales.

En resumen, la gráfica anterior muestra las pérdidas de energía en las prensas industriales para tres tipos de neumáticos procesados, y se expresan en la siguiente tabla

Tabla 3.4 Indicadores en las prensas industriales.

Neumáticos	Pérdidas	Consumo de combustible
10.00-20	1 177,38 kJ/U	0,026 kg/U
12-20	2 081,44 kJ/U	0,045 kg/U
15.5-38	332147,26 kJ/U	7,199 kg/U

Para el caso de la prensa que procesa el neumático 15.5-38 el consumo de vapor es muy elevado comparado con las otras dos prensas, esto se debe a que es un neumático mucho más grande y además del tiempo de desahogo tiene un tiempo de enfriamiento en el cual también fluye vapor innecesario.

### 3.1.5. Resultados de la caracterización en la generación de efluentes líquidos

La caracterización de los residuales líquidos arrojaron los resultados que se muestran en la tabla siguiente.

*Tabla 3.5 Resultado de la caracterización de los residuales líquidos.*

Determinaciones	U/M	Muestreo					
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	LMPP
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades	9,68	8,02	7,59	8,64	6,05	6,0-9,0
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	2780	806	412	681	1090	4000
DQO	mg/L	96	3460	144	56	1312	700
DBO <sub>5</sub>	mg/L	42	1610	62	32	620	300
Fósforo total (Pt)	mg/L	2,72	3,56	2,80	1,16	7,0	----
Temperatura	° C	34	32	32	48	30	50
Nitrógeno total (Nt)	mg/L	2,24	6,72	2,24	0,90	3,14	----
Grasas	mg/L	2,0	220	30	8,0	136	50
Sólidos sedimentables	mg/L	0,3	2,0	0,1	0,1	3,0	10
Hidrocarburos	mg/L	0,0	144	10	2,0	----	0,0

De acuerdo a los establecido en la NC 27: 99, el residual generado no cumple con los requisitos de la norma en el caso de la DQO, DBO<sub>5</sub>, hidrocarburos y grasas, en las muestras M-2, M-3 y M-4 para ser vertidos al alcantarillado.

Por tanto lo indicadores correspondientes a lo efluentes líquidos son los que se muestran en la siguiente tabla:

*Tabla 3.6 Indicadores correspondientes a los efluentes líquidos.*

Indicadores					
	U/M	M-2	M-3	M-4	M-5
DQO	mg/L/U	9,01	----	----	3,42
DBO <sub>5</sub>	mg/L/U	4,19	----	----	1,61
Grasas	mg/L/U	0,57	----	----	0,35
Hidrocarburos	mg/L/U	0,38	0,026	0,0052	----

### 3.1.6. Resumen de los indicadores medioambientales propuestos

Los indicadores medioambientales propuestos con anterioridad se resumen de forma general en la siguiente tabla.

*Tabla 3.7 Resumen de los indicadores medioambientales de la recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama*

<b>Indicadores de pérdidas energéticas</b>		
Exergía que se pierde en los gases de combustión	138 235,44	kJ/U
Pérdidas de exergía por irreversibilidades en el generador	248 193,70	kJ/U
Pérdidas de exergía por irreversibilidades en la válvula reductora	34 789,68	kJ/U
Intervalo de pérdidas de energía en tuberías	101,2 - 2313,45	kJ/U
Intervalo de pérdidas de energía en las prensas industriales	1177,38 - 332147,26	kJ/U
<b>Indicadores de consumo</b>		
Índice de generación del generador de vapor	21,68	kg <sub>v</sub> /kg <sub>c</sub>
Sobreconsumo de combustible por pérdidas de energía en tuberías	0,096	kg/U
Sobreconsumo de combustible por pérdidas de energía en la prensas industriales	7,27	kg/U
<b>Indicadores de generación de residuos</b>		
Intervalo de la tasa de generación de residuos sólidos	0,10 - 0,154	kg <sub>RS</sub> /U
DQO en la muestra M-2	9,01	mg/L/U
DQO en la muestra M-5	3,42	mg/L/U
DBO <sub>5</sub> en la muestra M-2	4,19	mg/L/U
DBO <sub>5</sub> en la muestra M-5	1,61	mg/L/U
Grasas en la muestra M-2	0,57	mg/L/U
Grasas en la muestra M-5	0,35	mg/L/U
Hidrocarburos en la muestra M-2	0,38	mg/L/U
Hidrocarburos en la muestra M-3	0,026	mg/L/U
Hidrocarburos en la muestra M-4	0,0052	mg/L/U

### 3.2. Propuestas de medidas de producción más limpia

Una vez realizada la evaluación y con ella la propuesta de los indicadores medioambientales en los puntos de mayor interés del proceso de recape de neumático y por tanto conocido su estado medioambiental, es necesaria la toma de medidas con el objetivo de lograr mejoras en el proceso.

Las medidas a tomar se promueven a través del concepto de producción más limpias abordado en el capítulo I.

### **3.2.1. Generación de vapor**

Dentro de las pérdidas que existen en la generación de vapor la más significativa es la correspondiente a las pérdidas en los gases de combustión debido a la elevada temperatura de salida de estos gases.

Para disminuir las pérdidas de exergía en la etapa de generación se proponen las siguientes medidas:

- Disminuir el coeficiente de exceso de aire actual (1,27) hasta el valor mínimo del intervalo que reporta (*Clavelo P., 2004*) que es de 1,2 para evitar la formación de óxidos de nitrógenos (NOx).
- Mantener limpias las superficies de transferencia de calor tanto por dentro como por fuera de la caldera.
- Instalar un economizador o un sobrecalentador para lograr que la temperatura de los gases a la salida, sea lo más baja posible.
- Eliminar la válvula reductora, y evaluar la posibilidad de instalar un sistema de cogeneración de energía eléctrica.
- Operar correctamente los quemadores manteniendo los parámetros establecidos para su explotación en cuanto a:
  - ü Presión de atomización.
  - ü Temperatura de calentamiento del combustible.
  - ü Humedad del combustible.
- Mantener los suministros de combustible a la planta en petróleo combustible ligero o mediano y de esta forma garantizar la combustión adecuada y una generación de residuos acorde a las normas. Las emisiones generadas en esta sección del proceso es fundamental, pues su importancia está en la emisión de componentes tales como SO<sub>2</sub> y CO en los gases de combustión, por lo que una de las causas principales que provoca estas emisiones es la característica del combustible.

### 3.2.2. Distribución de vapor

- La medida fundamental consiste en aplicar aislamiento térmico y se propone que se realice de la siguiente manera:

*Tabla 3.8 Relación de medidas de P+L propuestas para el sistema de distribución de vapor.*

<b>Tubería</b>	<b>Aplicar aislante</b>	<b>Ahorro de combustible</b>
Tubería de distribución de vapor principal	Amianto 3 plg de diámetro	0,03 kg/U
Tubería de vapor a compact 100	Amianto 3/4 plg de diámetro	0,00079 kg/U
Tubería de vapor a ponchera	Amianto 3/4 plg de diámetro	0,0064 kg/U
Tuberías bajantes a prensas	Amianto 3/4 plg de diámetro	0,00068 kg/U
<b>TOTAL</b>	-----	<b>0,038 kg/U</b>

La aplicación de aislante térmico a los tramos de las tuberías con falta de aislamiento, provoca un impacto económico-ambiental bajo ya que se ahorraría por cada neumático procesado 0,038 kg de combustible y las emisiones de gases productos serían menores.

### 3.2.3. Prensas industriales

Según muestran los indicadores en las prensas industriales, las pérdidas en las mismas es grande y por ende el consumo innecesario de combustible es elevado. Por tanto si se toma como medida,

- Mantener cerradas las válvulas de las tuberías de entrada de vapor a las prensas durante el tiempo de desahogo, y durante el tiempo de desahogo-enfriamiento para el neumático 15.5-38, se tendría como resultado un ahorro de 87,24 kg diarios de combustible para una producción de 12 neumáticos diarios para cada tipo (10-20, 12-20 y 15.5-38).

### 3.2.4. Generación de residuales líquidos y sólidos

Para los efluentes líquidos y sólidos es necesaria la toma de medidas que permitan disminuir hasta valores permisibles los diferentes indicadores de contaminación por lo que se proponen las siguientes:

- Ubicar trampas de grasa para el caso de los efluentes líquidos entre la caldera y el compresor y a la salida de los compresores, además de hacer solicitud de evaluación y diseño de un sistema de tratamiento adecuado para los residuales líquidos pues la DQO y DBO<sub>5</sub> reportan valores fuera de norma.
- La homogenización de los residuos sólidos de recape es la medida más efectiva. Permite disminuir los vertimientos de los residuales sólidos a los vertederos y a la vez permiten darle utilidad en otros procesos, tal es el caso de su uso como aditivo en mezclas de materiales de albañilería, mezclas asfálticas, impermeabilizantes, etc., lo que trae además del beneficio ambiental un beneficio económico para la Empresa. Para ello es necesario triturar el material hasta tamaño de partícula menor de 3 mm, por lo que se recurrió a la comparación técnico-económica de dos alternativas de trituración diseñadas.

### **3.3. Alternativas para la homogenización del residuo sólido de recape**

Para lo homogenización del residuo sólido del proceso de recape existen dos alternativas de trituración, para las cuales se diseñaron dos plantas, una de trituración mecánica según (*Maturell L., 2007*) y otra de trituración criogénica según (*Estrada E., 2003*) cuyos diagramas de flujos y descripciones tecnológicas se reportan en **anexo XIII** y **anexo XIV**. Técnicamente ambas alternativas son posibles. La comparación económica de las dos plantas se realiza teniendo como punto de partida que ambas tengan la misma capacidad de producción (3861,79 ton/año) y el producto final se venda al mismo precio (240 \$/ ton).

En las figuras 3.7 y 3.8 se muestran las etapas de ambas alternativas de trituración.

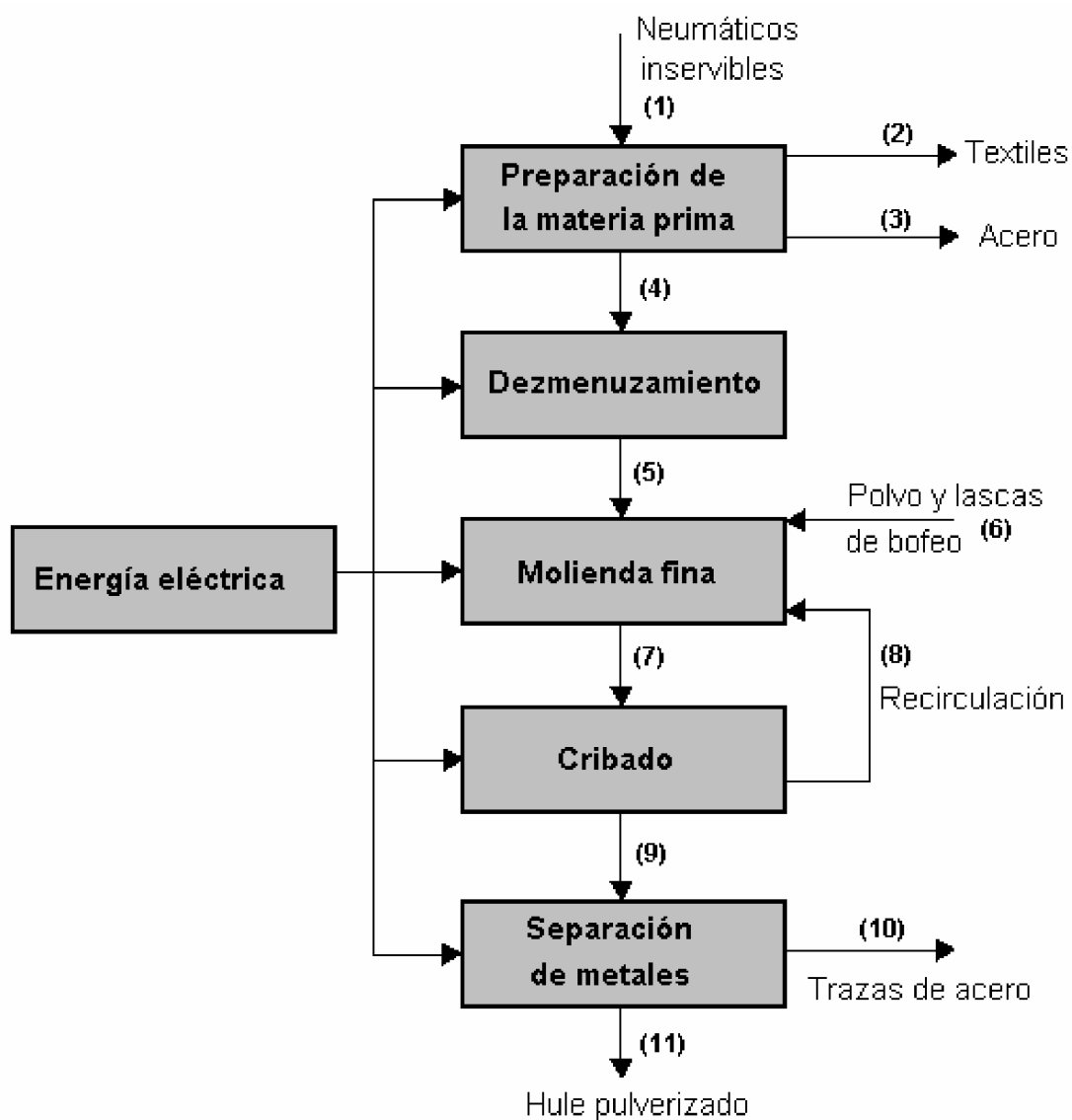


Fig. 3.7 Diagrama de bloques de la trituración mecánica.

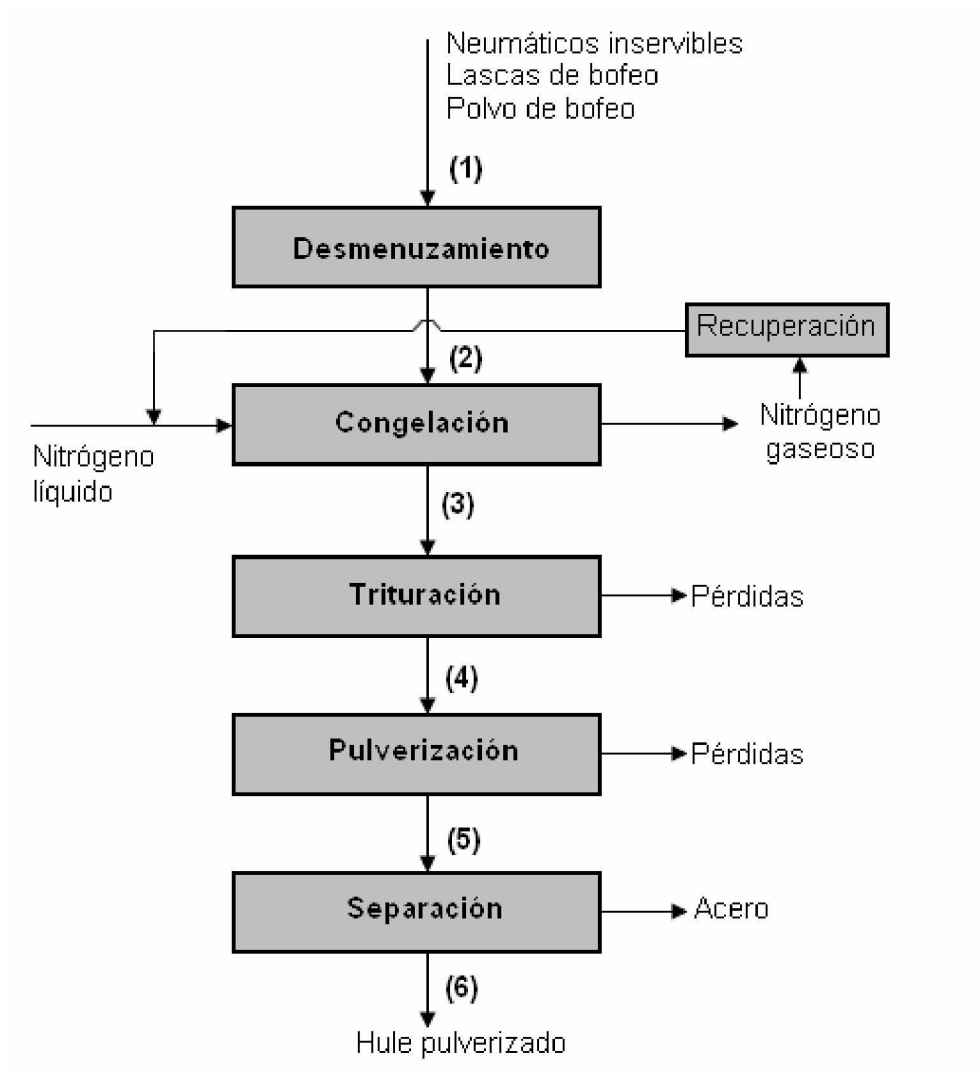


Fig. 3.8 Diagrama de bloques de la trituración criogénica.

### 3.3.1 Comparación de las alternativas de diseño

El diseño de ambos métodos arrojan los resultados que se muestran a continuación:

*Tabla 3.9 Indicadores de comparación de las alternativas de homogenización del residuo sólido.*

<b>Indicadores de comparación</b>	<b>Trituración mecánico</b>	<b>Trituración criogénica</b>
Costo total de Inversión (USD)	1 001 036,87	1 069 740,93
Costo total de Producción (USD/año)	148 069,6	151 356,67
Valor de la producción (USD /año)	926 829,6	926 829,6
Ganancia (USD/año)	778 760	775 472,9
VAN (USD)	1 238 127	1 116 232
TIR (%)	34	31
PRD (años)	2	3

De forma general, los dos métodos de trituración son rentables pero comparando uno con el otro según los indicadores que reporta la tabla anterior el método mecánico es más rentable que el método criogénico, esto se debe a que el tiempo que tarda el primer método en recuperar el capital invertido (PRD) es menor que el segundo método, o sea a partir de 2 años los ingresos derivados del proyecto representan ya beneficios y no mera recuperación de lo invertido, sin embargo el criogénico los beneficios comienzan a partir de 3 años. Por otra parte si se compara la tasa interna de rentabilidad (TIR) que es la tasa de actualización a la cual el valor actualizado neto (VAN) del proyecto es cero, el valor de la TIR del mecánico es mayor, por tanto es más rentable. Además, el método criogénico exige una inversión más alta y se obtiene una ganancia menor que el mecánico por lo que este queda descartado ante el método mecánico desde el punto de vista económico. (El análisis económico puede verse en **anexo XV** y **anexo XVI**)

En cuanto a su impacto en el medio ambiente, los dos métodos presentan un impacto ambiental poco significativo, que puede ser estudiado a mayor profundidad cuando se determine la alternativa a utilizar.

### 3.4. Conclusiones parciales

1. Los indicadores de comportamiento ambiental determinados muestran valores elevados de pérdidas energéticas en la válvula reductora.

2. La tasa de generación de residuos sólidos es elevada, se encuentra por encima del intervalo establecido que es de 0,01-0,1 kg<sub>RS</sub>/kg<sub>U</sub>.
3. El cálculo de la eficiencia del generador de vapor mostró que la eficiencia está por encima del 85 % y las emisiones gaseosas por debajo del permisible.
4. Los tramos de tuberías con falta de aislante térmico provocan un consumo considerable de combustible evaluados por los indicadores de pérdidas en tuberías.
5. La caracterización de los efluentes líquidos para algunos puntos de la Empresa muestran la existencia de parámetros como la DQO, DBO<sub>5</sub>, hidrocarburos y grasa fuera de la norma cubana NC 27:99.
6. La aplicación de las medidas de producción más limpias propuestas sugieren trazar estrategias para disminuir la generación de residuos y utilizar la energía con mayor eficiencia.
7. Económicamente la trituración mecánica de los residuos sólidos del recape de neumáticos es más factible que la trituración criogénica, esto se evidencia por un análisis comparativo donde se muestra que la recuperación se logra en un tiempo menor y con ganancias mayores



*C*ONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

1. El análisis energético-exergético permitió determinar indicadores de comportamiento ambiental, tal es el caso de las pérdidas de exergía en los gases productos de combustión, por concepto de irreversibilidades, pérdidas de energía en prensas industriales, tuberías con falta de aislamiento y consumo de combustible. Los indicadores que reflejan mayores resultados son las pérdidas de energía en prensas industriales con un intervalo de 1177,38 - 332147,26 kJ por cada unidad procesada.
2. Las pérdidas energéticas en las prensas industriales están dadas por manipulación ineficiente de las mismas y provocan un consumo de combustible de 87,24 kg para una producción total de 12 neumáticos diarios y los tramos de tuberías con falta de aislamiento un consumo de 0,096 kg de combustible por cada unidad procesada.
3. Las pérdidas exergéticas por concepto de irreversibilidades en la válvula reductora es elevada, pues se pierden 34 789,68 kJ por cada unidad procesada. Como medida de producción más limpia se propone la eliminación de la misma del proceso.
4. La caracterización de los efluentes líquidos en algunos puntos de la Empresa mostró que algunos parámetros tales como la DQO, DBO<sub>5</sub>, hidrocarburos y grasas tienen valores fuera de la norma cubana NC 27: 99.
5. Los indicadores correspondientes a la generación de residuos sólidos están comprendidos en el intervalo 0,1-0,15 por encima de 0,01-0,1 establecido por la bibliografía consultada.
6. Las alternativas de homogenización de los residuos sólidos comparadas desde el punto de vista técnico son posibles, sin embargo económicamente la trituración mecánica es más factible que la trituración criogénica porque la inversión se recupera en un tiempo menor (2 años).

7. Las medidas de producción más limpias que se proponen están fundamentalmente centradas a la reducción del consumo energético con el consecuente ahorro de combustibles fósiles.



***R*** ECOMENDACIONES

**RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda que la recapadora implemente las medidas de producción más limpias propuestas en este trabajo.
2. Evaluar el efecto que tiene el ruido generado por el proceso.
3. Proponer a la dirección de la recapadora de neumáticos David Díaz Guadarrama que implemente los indicadores que se proponen en este trabajo para evaluar periódicamente su desempeño ambiental.
4. Evaluar ambientalmente las dos alternativas de homogenización de los residuos sólidos generados.
5. Se sugiere que se analice la posibilidad de cogeneración de energía eléctrica y utilizar los indicadores propuestos en este trabajo para evaluar el desempeño ambiental con esas modificaciones.



***B****BIBLIOGRAFÍA*

**BIBLIOGRAFÍA**

1. -----; Protección Ambiental en la Recapadora de Neumáticos David Díaz Guadarrama.
2. ANDRADE, G. and ZARUR A. (1991); Breviario de Términos y Conceptos Sobre Ecología y Protección Ambiental; México D. F.
3. AUTORES, C. D. (1999); Tecnología y Sociedad; La Habana; Editorial Félix Varela.
4. AYES, G. (2003); Medio Ambiente, Impacto y Desarrollo; La Habana; Editorial Científico-Técnica.
5. CAMPOS, A. and SANTOS MACIAS L. (1998); La Termoeconomía como Herramienta y Optimización On-line de la Operación de una Central Termoeléctrica (CTE), Estudio de Caso: Unidades III y IV de la CTE Carlos Manuel de Céspedes de Cienfuegos; IV Conferencia de Termoenergética Industrial; Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera; Universidad Central de las Villas.
6. CAMPOS AVELLA, J. C. and SANTOS MACIAS L. (1998); Calidad de la Energía, Métodos Avanzados de Análisis de Sistemas Energéticos para Programas de Control y Mejoramiento de la Eficiencia de Procesos Industriales; Cuba; Universidad de Cienfuegos.
7. CAMPOS AVELLA, J. C. and SANTOS MACIAS L.; (1995); Análisis Termoeconómico: Herramienta para Establecer Acciones de Ahorro y Conservación de Energía; Revista Construcción de Maquinaria; Vol 2; N° 22; pp. 82-92.
8. CASTILLO, E. (2004-2005); Análisis de la Incertidumbre en los Balances de Masa y Energía en la Destilería Santa FE; Departamento de Ingeniería Química; Santa Clara; Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
9. CEE. (1982); Técnicas de Conservación Energética en la Industria.
10. CITMA. (1996); Estrategia Nacional Ambiental; La Habana.
11. CLAVELO, P. (2004); Estrategia para el Desarrollo de Habilidades de Análisis y Solución de Problemas Energético-Ambientales; Departamento de Fundamentos Químicos y Biológicos; Ciudad de la Habana; Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
12. CRUZ, L. and PONS A. (1985); Introducción a la Ingeniería Química; Editorial Pueblo y Educación.
13. DE LOS RÍOS, R. and CALVO G.; La Cogeneración en la Industria Azucarera; Revista

- Centro Azúcar, N° 2.
14. DELGADO, C. (1999); Cuba Verde en Busca de un Modelo para la Sustentabilidad en el Siglo XXI; Editorial José Martí.
  15. ENAST (2007); Caracterización de las Aguas Residuales de la Recapadora de Neumático de Villa Clara; Villa Clara.
  16. ERIJ, V., RÁSINA M. (1988); Química y Tecnología del Petróleo y del Gas; Moscú; Editorial MIR.
  17. ESPINOSA, R. (2000); Gestión Energética en la Industria Química; Santa Clara; UCLV.
  18. ESTRADA, E. (2002-2003); Análisis de Alternativas para la Gestión de los Residuos Sólidos de la Recapadora "David Díaz Guadarrama; Departamento de Ingeniería Química; Santa Clara; Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
  19. ESTUPIÑAN CASTELLANO, J.; Balances de Masa y Energía (Métodos Clásicos y Técnicas Modernas); UCLV.
  20. FERNANDEZ JAIME, D. (1997); Química General; México D. F.
  21. FERNANDEZ, P. (2003); Termodinámica Técnica; Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.
  22. FERNÁNDEZ, P. (2003); Ingeniería Térmica y de Fluidos; Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética Universidad de Cantabria.
  23. GLASSTONE, S. (1979); Termodinámica para Químicos; Madrid.
  24. GÓMEZ, D. (2003); Evaluación de Impacto Ambiental Un Instrumento Preventivo para la Gestión Ambiental; Madrid-Barcelona-México; Ediciones Mundi-Prensa.
  25. GUADARRAMA, R. D. N. D. D. (2001); Datos De Las Instalaciones Energéticas; Villa Clara.
  26. GUAYAR, J. and VALERO A.; Exergía y Ambiente de Referencia; España; Departamento de Ingeniería Mecánica, E.T.S.I.I.; Universidad de Zaragoza.
  27. GUAYAR, J. and VALERO A. (1990); Exergía y sus Componentes en una Mezcla; Revista Ingeniería Química; pp. 231-235.
  28. HOUGEN, O. and WATSON K. (1979); Principios de los Procesos Químicos, Balances de Material y Energía; Ciudad de la Habana; Editorial Pueblo y Educación.
  29. HOUGEN, O. and WATSON K. (1979); Principios de los Procesos Químicos,

- Termodinámica; Ciudad de la Habana; Editorial Pueblo y Educación.
30. ISACHENKO, V. and OSIPOVA V. (1979); Transmisión de Calor; Ciudad de la Habana; Editorial Pueblo y Educación.
31. KEENAN, J. and KEYES, F. (1978); Steam Tables, Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid and Solid Phases.
32. KERN, D. (1995); Procesos de Transferencia de Calor.
33. KOTAS, T. J. (1995); Different definitions of exergetics efficiencies.
34. LAPIDO, M. and ÁLVAREZ, M. (2006); Termodinámica Avanzada; Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente.
35. LAUREIRO, J. (2001-2002); Estudio de los Residuales del Proceso de Recape como Constituyentes de las Mezclas Usadas en la Pavimentación de Carreteras; Departamento de Ingeniería Química; Santa Clara; Universidad Central Marta Abreu de la Villas.
36. LIBRO DEL PAEC. (2002); Ahorro de Energía y Respeto Ambiental Bases para un Futuro Sostenible; La Habana; Editora Política.
37. LÓPEZ, A. (2001-2002); Análisis Energético de un Ingenio Azucarero Aplicando Métodos Basados en la Segunda Ley de la Termodinámica; Departamento de Ingeniería Química; Santa Clara; UCLV.
38. LOZANO, M. and GUAYAR, J. Teoría del coste exergético I, Principios básicos; España, Departamento de Ingeniería Mecánica; E.T.S.I.I.; Universidad de Zaragoza.
39. LOZANO, M. and VALERO A. (1986); Determinación de la exergía para sustancias de interés industrial; Revista Ingeniería Química; pp. 119-128.
40. LOZANO, M. and VALERO A. (1987); Los balances de energía, entropía, exergía y energía libre. Métodos para el diagnóstico de instalaciones industriales; Revista Ingeniería Química; pp. 143-153.
41. MARTÍNEZ, P. (2003-2004); Alternativas Tecnológicas que Permitan Alcanzar Producciones Más Limpias en el Establecimiento 101, Tenería "Patricio Lumumba" del Municipio de Caibarien; Departamento de Ingeniería Química; Santa Clara; UCLV.
42. MATOS, R. and HING R. (1988); Aspectos Fundamentales de la Química Física; Editorial Pueblo y Educación.
43. MATURELL, L. (2006-2007); Diseño de una Planta de Obtención de Hule a Partir de

- Residuos de Recape; Departamento de Ingeniería Química; Santa Clara; UCLV.
44. MCCABE, W. and SMITH J. (1966); Unit Operations of Chemical Engineering.
  45. MIKHEYEV, M. Fundamentals of Heat Transfer; Moscow; Peace Publishers.
  46. MONTERO, G; and RIVERO R. (1988); Métodos para la Estimación de la Exergía Química Estándar de los Compuestos Orgánicos; Revista de Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos; Vol. 9-10; pp. 14-18.
  47. MORAN, M. J. and SHAPIRO H. N. (1993); Fundamentos de Termodinámica Técnica; Barcelona.
  48. MUÑOZ, M. and VALERO A. (1990); La valoración económica en base exergética; Revista Ingeniería Química; pp. 167-171.
  49. NORMA CUBANA 27 (1999); Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones; Oficina Nacional de Normalización.
  50. OJOTIN, V., ZHIDKIJ, V. (1988); Fundamentos de Termotecnia; Moscú; Editorial Mir.
  51. PAK, P. S. and SUZUKI Y. (1997); Exergetic evaluation of methods for improving power generation efficiency of a gas turbine cogeneration system; International Journal of Energy Research; Vol. 31; pp. 737-747.
  52. PAVLOV, K., ROMANKOV, P. (1981); Problemas y Ejemplos para el Curso de Operaciones Básicas y Aparatos en Ingeniería Química; Moscú; Editorial Mir.
  53. PEREÑA BRAND, J. (1996); Dirección y Gestión de Proyectos; 2<sup>da</sup> Edición Revisada y Ampliada; Madrid; Ediciones Díaz de Santos.
  54. PÉREZ, L. (1972); Generadores de vapor; La Habana.
  55. PERRY, R. and CHILTON C. (1977); Chemical Engineer's Handbook; La Habana.
  56. PETRÓLEOS MEXICANOS, (1990); Ley General del Equilibrio Ecológico Y la Protección al Ambiente; Reglamento. México D. F.
  57. PONS, A. y COAUTORES. (1987); Termodinámica Técnica para Ingenieros Químicos; Ciudad de la Habana; Editorial Pueblo y Educación.
  58. PONS, F. and MOSSI, R. (2004); Guía Práctica de Indicadores Medioambientales en el Sector de la Madera y el Mueble.
  59. RANT, Z. (1960); Exergy Diagrams for Combustion Gases; Vol.12; N° 1; pp. 1-8.

60. RIERA, G. y COL. (1998); Estudio del consumo de energía; Revista ATAC; Vol. 2.
61. RIERA, P. (1993); Los Estudios de Impacto Ambiental desde la Economía; Una Perspectiva Europea.
62. RODRIGUEZ, J. A. (2002); La Ingeniería Ambiental entre El Reto y la Oportunidad; Editorial Síntesis.
63. RODRIGUEZ, J. A.; Introducción a la Termodinámica con Algunas Aplicaciones de Ingeniería; Universidad Tecnológica Nacional.
64. RUBIO GONZALEZ, A. M. (2000); Generadores de Vapor. Funcionamiento y Explotación; Santa Clara; UCLV.
65. SARDINAS, R. (2006); Análisis y Evaluación de la Tecnología Empleada para el Tratamiento del Residual Galvánico en la Planta Progar de la Empresa INPUD Primero de Mayo, Así como la Solución Adecuada al Residual Sólido como Efluente; Departamento de Ingeniería Química; Santa Clara; Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
66. SEOANEZ, M. and ANGULO I. (1999); Manual de Gestión Medioambiental de la Empresa, Sistema de Gestión Medioambiental, Auditorías Medio Ambientales, Evaluaciones de Impacto Ambiental y otras Estrategias; Madrid-Barcelona-México.
67. SHAVIT, A. and GUTFINGER C. (1995); Thermodynamics. From concepts to applications; London.
68. SMITH, J. M., VAN NESS, H. C. (1997); Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química; México; Editorial McGraw-Hill/Interamericana.
69. SZARGUT, J. and MORRIS, D. (1988); Exergy Analysis of Termal, Chemical and Metallurgical Processes; New York; Hemisphere Publishing Corporation.
70. TSATSARONIS, G. and KRANE R. J. (1993); Exergy analysis and thermoeconomic in search cost effective solutions; Editorial the Fairmont Press.
71. UCLV; Generadores de Vapor, Apuntes para un libro.
72. WARK, K. (1991); Termodinámica; México.
73. ZAROR ZAROR, C. A. (2000); Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos; Chile; Universidad de Concepción.
74. [www.qf.uclv.edu.cu/Links/IngQuimica/3Maestr%C3%ADas/2%2520Saneamiento%2520A](http://www.qf.uclv.edu.cu/Links/IngQuimica/3Maestr%C3%ADas/2%2520Saneamiento%2520A)

- mbiental/Progama%2520Maestr%C3%ADa.doc+recapadora+de+villa+clara&hl=es&ct=clnk&cd=8&gl=cu
75. ([http://209.85.165.104/search?q=cache:Q6kgJQkaSx4J:icuc.chem.uiuc.edu/icucwebsite/icuc/doc\\_files/A20Resumen.doc+el+recape+de+Neum%C3%A1ticos+y+su+imapcto+ambiental&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=cu&lr=lang\\_es](http://209.85.165.104/search?q=cache:Q6kgJQkaSx4J:icuc.chem.uiuc.edu/icucwebsite/icuc/doc_files/A20Resumen.doc+el+recape+de+Neum%C3%A1ticos+y+su+imapcto+ambiental&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=cu&lr=lang_es))
76. [www.cubaindustria.cu/pl/paginas/definiciones.htm&w=producciones+mas+limpias&d=WO-LNBleORdS&icp=1&.intl=us](http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/definiciones.htm&w=producciones+mas+limpias&d=WO-LNBleORdS&icp=1&.intl=us)
77. [http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod\\_limpias\\_sime.htm](http://www.cubaindustria.cu/pl/paginas/prod_limpias_sime.htm)
78. [http://66.218.69.11/search/cache?p=producciones+mas+limpias&ei=UTF-8&fr=yfp-t501&u=galeon.com/cienbas/Prod\\_Limpias.htm&w=producciones+mas+limpias&d=bFrN8BleObnP&icp=1&.intl=us](http://66.218.69.11/search/cache?p=producciones+mas+limpias&ei=UTF-8&fr=yfp-t501&u=galeon.com/cienbas/Prod_Limpias.htm&w=producciones+mas+limpias&d=bFrN8BleObnP&icp=1&.intl=us)
79. [www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm%26w=consumo%2Benergia%2By%2Bsu%2Bimpacto%2Bambiental%26d=fGNAzRIeOShb%26icp=1%26.intl=es](http://www.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm%26w=consumo%2Benergia%2By%2Bsu%2Bimpacto%2Bambiental%26d=fGNAzRIeOShb%26icp=1%26.intl=es)



## ANEXO I

Consumo de energía comercial primaria en el mundo, evolución por áreas (Mtep)

<b>ÁREA GEOGRÁFICA /AÑO</b>	<b>1987</b>	<b>1990</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>CUOTA TOTAL %</b>
<b>América del Norte</b>	2,095	2,231	2,471	2,490	29,3
<b>América del Sur y Central</b>	253	270	341	357	4,2
<b>Europa</b>	1,738	1,739	1,787	1,782	20,9
<b>Antigua Unión Soviética</b>	1,353	1,397	923	891	10,5
<b>Oriente Medio</b>	226	253	340	352	4,1
<b>África</b>	191	212	249	258	3,1
<b>Asia y Oceanía</b>	1,493	1,746	2,307	2,376	27,9
<b>Países OCDE</b>	4,202	4,437	4,917	4,950	58,2
<b>Unión Europea</b>	1,266	1,308	1,395	1,389	16,3

## ANEXO II

### **Análisis de los combustibles**

Consiste en determinar las cantidades relativas o proporciones de sus constituyentes. Para combustibles sólidos y líquidos, los análisis se reportan en base a porcentajes máscicos, mientras que para combustibles gaseosos se reportan en base a porcentajes en volumen. Además del análisis común, se suelen realizar otros dos análisis:

Análisis inmediato o próximo: Se determinan cuatro grupos de constituyente definidos arbitrariamente; humedad, materia volátil, carbono fijo y cenizas. Es un método muy usado para combustibles sólidos. (*Pons A. y Coautores, 1987*)

Análisis mediato o elemental: es un análisis químico complejo por medio del cual se determina el tanto por ciento de cada uno de los elementos principales. Usualmente se reportan como: (*Hougen A., 1979*)

- ü Humedad
- ü Agua combinada
- ü Carbono total
- ü Hidrógeno
- ü Oxígeno
- ü Nitrógeno
- ü Azufre
- ü Cenizas

En la siguiente tabla se reporta el análisis elemental del combustible utilizado.

<b>Constituyente</b>	<b>Fracción peso (%)</b>
C	87,3
H	11,85
S	2,5
O	0,62
N	0,88
H <sub>2</sub> O	0,4
Cenizas	0,05

## ANEXO III

### Tabla de datos

PARÁMETROS	DENOM	U/M	VALORES		FUENTES Y ANOTACIONES
Entalpía de cambio de fase del vapor producido	$\lambda_v$	kJ/kg	2128		Keenan J., 1978
Entalpía de cambio de fase del vapor a reductora	$\lambda_{vr}$	kJ/kg	2068		Keenan J., 1978
Entalpía del CO <sub>2</sub> a 25 °C y 250 °C	H <sub>CO2</sub>	kJ/kg	729,06	1378,5	Perry R., Chilton C., 1977
Entalpía del CO a 25 °C y 250 °C	H <sub>CO</sub>	kJ/kg	597	934,5	Perry R., Chilton C., 1977
Entalpía del SO <sub>2</sub> a 25 °C y 250 °C	H <sub>SO2</sub>	kJ/kg	617,3	878,8	Fernández P., 2003
Entalpía del H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub> a 25 °C y 250 °C	H <sub>H2O</sub>	kJ/kg	2547	2802	Keenan J., 1978
Entalpía del NO <sub>(g)</sub> a 25 °C y 250 °C	H <sub>NO</sub>	kJ/kg	3016,8	3241,8	Fernández D., 1997
Entalpía del aire a 25 °C y 30 °C	H <sub>Aire</sub>	kJ/kg	498.19	534.98	Fernández P., 2003
Entalpía del vapor producido	H <sub>v</sub>	kJ/kg	2763		Keenan J., 1978
Entalpía de agua de alimentación	H <sub>aa</sub>	kJ/kg	376,9		Keenan J., 1978
Entropía del CO <sub>2</sub> a 25 °C y 250 °C	S <sub>CO2</sub>	kJ/kg °K	5,9498	5,53	Perry R., Chilton C., 1977
Entropía del CO a 25 °C y 250 °C	S <sub>CO</sub>	kJ/kg °K	6,98	7,932	Perry R., Chilton C., 1977
Entropía del SO <sub>2</sub> a 25 °C y 250 °C	S <sub>SO2</sub>	kJ/kg °K	4,85	5,028	Fernández P., 2003
Entropía del N <sub>2</sub> a 25 °C y 250 °C	S <sub>N2</sub>	kJ/kg °K	4,07	6,037	Perry R., Chilton C., 1977
Entropía del H <sub>2</sub> O a 25 °C y 250 °C	S <sub>H2O</sub>	kJ/kg °K	8,558	4,6	Keenan J., 1978
Entropía del NO <sub>(g)</sub> a 25 °C y 250 °C	S <sub>NO</sub>	kJ/kg °K	7,02	7,58	Fernández D., 1997
Entropía del O <sub>2(g)</sub> a 25 °C y 250 °C	S <sub>O2</sub>	kJ/kg °K	6,4	6,94	Hougen O., Watson K., 1979
Entropía del aire a 25 °C y 30 °C	S <sub>Aire</sub>	kJ/kg °K	3,771	3,8548	Fernández P., 2003
Temperatura del combustible	T <sub>c</sub>	°C	90		Medición experimental
Temperatura del agua de alimentación al GV	T <sub>aa</sub>	°C	90		Medición experimental
Temperatura del aire de entrada al generador	T <sub>a</sub>	°C	30		Medición experimental
Temperatura de los gases de combustión	T <sub>GS</sub>	°C	250		Medición experimental
Temperatura de referencia o estado muerto	T <sub>o</sub>	°C	25		-----
Temperatura ambiente	T <sub>ma</sub>	°C	70		Medición aproximada
Temperatura de vulcanización	T <sub>v</sub>	°C	140		Medición experimental
Temperatura del condensado	T <sub>cond</sub>	°C	50		Medición experimental
Capac. calorífica media de los gases de combustión	Cp <sub>mgs</sub>	kJ/kg °C	1		Pons A., 1987
Presión del vapor producido por el GV	P <sub>v</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	7		Medición experimental
Presión del vapor a la salida de la válvula reductora	P <sub>v1</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	4,33		Medición experimental

*(Continuación)*

PARÁMETROS	DENOM	U/M	VALORES	FUENTES Y ANOTACIONES
Flujo de combustible	$m_c$	kg/h	36,9	Medición experimental
Producción de vapor por el generador de vapor (GV)	$m_v$	kg/h	800	Medición experimental
Flujo de agua de alimentación	$m_{aa}$	kg/h	800	Medición experimental
Densidad del condensado	$\rho_c$	kg/m <sup>3</sup>	988	Perry R., Chilton C., 1977
Temperatura del condensado	$T_{cond}$	°C	50	Medición experimental
Capac. calorífica media de los gases de combustión	$Cp_{mgs}$	kJ/kg °C	1	Pons A., 1987
Presión del vapor producido por el GV	$P_v$	kgf/cm <sup>2</sup>	7	Medición experimental
Presión del vapor a la salida de la válvula reductora	$P_{v1}$	kgf/cm <sup>2</sup>	4,33	Medición experimental
Flujo de combustible	$m_c$	kg/h	36,9	Medición experimental
Producción de vapor por el generador de vapor (GV)	$m_v$	kg/h	800	Medición experimental
Flujo de agua de alimentación	$m_{aa}$	kg/h	800	Medición experimental
Densidad del condensado	$\rho_c$	kg/m <sup>3</sup>	988	Perry R., Chilton C., 1977
Densidad del CO <sub>2</sub> a 250 °C	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	0,197	Perry R., Chilton C., 1977
Densidad del CO a 250 °C		kg/m <sup>3</sup>	0,125	Perry R., Chilton C., 1977
Densidad del N <sub>2</sub> a 250 °C		kg/m <sup>3</sup>	0,788	Perry R., Chilton C., 1977
Densidad del SO <sub>2</sub> a 250 °C		kg/m <sup>3</sup>	0,293	Perry R., Chilton C., 1977
Densidad del NO a 250 °C		kg/m <sup>3</sup>	0,134	Perry R., Chilton C., 1977
Densidad del O <sub>2</sub> a 250 °C		kg/m <sup>3</sup>	0,143	Perry R., Chilton C., 1977
Densidad del H <sub>2</sub> O a 250 °C		kg/m <sup>3</sup>	798	Fernández P., 2003
Consumo de energía eléctrica en el quemador	$E_{quemador}$	kW	3,00	Procesamiento estadístico de datos experimentales
Consumo de energía eléctrica en el calentador	$E_{calentador}$	kW	7,00	Procesamiento estadístico de datos experimentales
Consumo de energía eléctrica en la bomba	$E_{bomba}$	kW	1,5	Procesamiento estadístico de datos experimentales
Conductividad térmica del amianto	$k$	kJ/(h-m-°C)	0,41	Fernández P., 2003
Conductividad térmica del material de las tuberías	$k_t$	kJ/(h-m-°C)	162	Kern D., 1995
Tiempo de desahogo (neumático 10-20)		min	5	Medición experimental
Tiempo de desahogo (neumático 12-20)		min	5	Medición experimental
Tiempo de desahogo (neumático 15.5-38)		min	5	Medición experimental
Tiempo de vulcanización (neumático 10-20)		min	110	Medición experimental
Tiempo de vulcanización (neumático 12-20)		min	120	Medición experimental
Tiempo de vulcanización (neumático 15.5-38)		min	84	Medición experimental
Tiempo de enfriamiento (neumático 15.5-38)		min	30	Medición experimental
Masa de neumático 10-20		kg	30	Código PTR-03,2000
Masa de neumático 12-20		kg	56	Código PTR-03,2000
Masa de neumático 15.5-38		kg	84	Código PTR-03,2000

# ANEXO IV

## Especificaciones de productos combustibles

Dirección Técnica		<b>MINISTERIO INDUSTRIA BÁSICA UNION CUBAPETRÓLEO</b>  <b>MANUAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD</b> <i>Especificaciones de productos combustibles</i>	Cod.: DT-GC/C0702 Rev.: 00 Pag.: 18 de 42		
PRODUCTO:  PETRÓLEO COMBUSTIBLE MEDIANO: ALTO VANADIO BAJO VANADIO		CÓDIGO: BV: 2251020012 AV: 2251010020			
EMPRESAS PRODUCTORAS: E.P.D.P. HABANA E.P.D.P. SANTIAGO DE CUBA E.R.P. CABAIGUAN		PRINCIPALES CONSUMIDORES  UNE Y ECONOMIA			
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: LIQUIDO NEGRO Y VISCOSO  ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO					
INDICES DE CALIDAD	U/M	MÉTODO DE ENSAYO	VALOR ESPECIFICADO		
			BAJO VANADIO	ALTO VANADIO	LIM
VISCOSIDAD A 50 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM-D 44S/D 88	181-350	181-350	máx
AZUFRE TOTAL	% m/m	ASTM-D 129/1552/2622	3,5	3,5	min
TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN PM CC	°C	ASTM-D 93	62	62	máx
TEMPERATURA DE FLUIDEZ	°C	ASTM-D 97	+16	+16	máx
CENIZAS	% m/m	ASTM-D 482	0,10	0,10	máx
CARBON CONRADSON	% m/m	ASTM-D 189	15,0	15,0	min
VALOR CALÓRICO NETO	kcal/kg	ASTM-D 240/4868		9500(1)	máx
DENSIDAD A 15 °C	g/cm <sup>3</sup>	ASTM-D 1298		0,9959	min
GRAVEDAD A 15 °C	°API	ASTM-D 1298/ D287		10,5	máx
AGUA POR DESTILACIÓN	% v/v	ASTM-D 95		1,5 (2)	máx
SEDIMENTOS POR EXTRACCIÓN	% m/m	ASTM-D 473		0,15	máx
VANADIO	ppm	ASTM-D 1548/D 5863	180	400	máx
SODIO	ppm	ASTM-D 1318/D 5863	40	70	máx
ASFALTENOS	% m/m	IP-143	13,0 (3)	13,0 (3)	máx
ALUMINIO-SILICIO	ppm	ISO 10478	80 (3)	80 (3)	máx
USOS COMBUSTIBLE DE USO GENERAL EN HORNOS Y CALDERAS INDUSTRIALES Y MARINAS					
ENVASE Y ALMACENAMIENTO: ENTREGA A GRANEL ALMACENAMIENTO EN TANQUES SUPERFICIALES O SOTERRADOS					
PELIGROSIDAD LIQUIDO COMBUSTIBLE EVITESE CONTACTO CON LA PIEL					
OBSERVACIONES		PARA ENTREGA A LA ECONOMIA (1) 9200 mm (2) 2,0 max (3) NO ESTA ESPECIFICADO			
Copia controlada No			Fecha Emisión		
PROHIBIDA SU REPRODUCCION SIN LA AUTORIZACION DEL AREA EMISORA DE CUPET					

## ANEXO V

### **Características técnicas del generador de vapor**

- Tipo: Pirotubular
- Fabricante: Empresa Nacional de Construcción y Servicios a Calderas (Alastor)  
Guasabacoa N<sup>o</sup> 401 Luyanó Habana Cuba.
- Año de fabricación: 1984
- Capacidad máx.: 1,56 t/h
- Presión nominal: 10 kgf/cm<sup>2</sup> (0,98 MPa)
- Presión real: 7 kgf/cm<sup>2</sup> (0,686 MPa)
- Tipo de combustible: Petróleo Combustible mediano
- Tipo de quemador:

Oertli Modelo OE-180 Caldera #1

- Combustible Fuel – oil
- Viscosidad del combustible que admite el quemador 75 Cst (75 mm<sup>2</sup>/s) a 50<sup>o</sup>C

ü Presión de trabajo 14-28 bar (1,4-2,8 MPa)

- Consumo máximo 128 kg/h
- Consumo mínimo 70 kg/h
- Potencia nominal máxima 1413 kw
- Potencia nominal mínima 760 kw
- N<sup>o</sup> de fabricación 18004

## ANEXO VI

### Características del analizador de gases

El Analizador de gases *ECOM-SG PLUS* es utilizado para el análisis automático de gases.

El equipo posee cuatro pantallas. La primera y principal, marca los % o ppm (partes por millón) del gas en la mezcla de productos gaseosos de la combustión y la temperatura del gas y del local (este sería el ambiente del equipo).

Los valores mostrados son de la emisión instantánea, y los valores calculados de CO<sub>2</sub>, eficiencia de la combustión, coeficiente de exceso de aire, las pérdidas sólo se indican cuando el % de O<sub>2</sub> medido está por debajo del 20,5 % y la diferencia de temperatura es mayor que 5 °C ( $T_{\text{gas}} - T_{\text{Local}} > 5 \text{ °C}$ ). Las otras tres pantallas muestran la información (durante el transcurso de las mediciones) de valores medios de forma automática en intervalos de tiempo dados. Todas las emisiones son reportadas en ppm, pero estas unidades pueden ser variadas expresando los resultados en % o mg/m<sup>3</sup>.



Componente	% vol	ppm
CO <sub>2</sub>	12,22	1222
CO	0,0001	100,2
O <sub>2</sub>	4,24	424
SO <sub>2</sub>	0,00076	767
NO	0,0002	239,4
N <sub>2</sub>	83,5	----

## ANEXO VII

### Relación de algunas ecuaciones utilizadas

ECUACIÓN	FUENTE
(1-3)	[Ec III.3.1; Lapidó M. y Col, 2006]
(1-4)	[Ec III.3.2; Lapidó M. y Col, 2006]
(2-1)	[Ec 3.1; UCLV]
(2-2)	[Ec 3.20; Ojotin V. Zhidkij V., 1988]
(2-4)	[Ec 3.8; UCLV]
(2-5)	[Ec 3.8; UCLV]
(2-6)	[Ec 4.29; Pons A. y Coautores, 1987]
(2-7)	[Ec 4.16; Pons A. y Coautores, 1987]
(2-8)	[Ec 4.12; Pons A. y Coautores, 1987]
(2-9)	[Ec 4.13; Pons A. y Coautores, 1987]
(2-10)	[Ec 4.30; Pons A. y Coautores, 1987]
(2-11)	[Ec 4.31; Pons A. y Coautores, 1987]
(2-13)	[Ec 1.2; Kern D., 1995]
(2-14)	[Ec 2.31; Kern D., 1995]
(2-15)	[Ec 1.2; Kern D., 1995]
(2-19)	[Ec 2.39; Kern D., 1995]
(2-20)	[Ec 2.35; Kern D., 1995]
(2-22)	[Il.5.14; Lapidó M. y Col, 2006]
(2-23)	[Il.5.15; Lapidó M. y Col, 2006]
(2-26)	[Ec 4.19; Pons A. y Coautores; 1987]

## ANEXO VIII

### Balance de energía en el generador de vapor

METODO INDIRECTO					
COMBUSTIBLE (Análisis Elemental)			PARÁMETRO	VALOR	U/M
<b>FUEL OIL</b>	<b>VALOR</b>	<b>U/M</b>	Calor perdido en los gases de escape, $Q_2$	<b>3830.85</b>	kJ/kg <sub>c</sub>
Flujo, $m_c$	36.9	kg <sub>c</sub> /h			
Valor Calórico Neto, VCN	<b>40271</b>	kJ/kg	Calor perdido por incombustión de carácter químico, $Q_3$	<b>0,16</b>	kJ/kg <sub>c</sub>
Capac Calorífica, $C_c$	<b>1.965</b>	kJ/kg <sup>o</sup> C			
C	83.7	%	Calor perdido por incombustión de carácter mecánico, $Q_4$	<b>0</b>	kJ/kg <sub>c</sub>
H	11.85	%			
S	2.5	%	Calor perdido por conducción y convección, $Q_5$	<b>1006.78</b>	kJ/kg <sub>c</sub>
O	0.62	%			
N	0.88	%	Calor disponible, $Q_d$	<b>40271.26</b>	kJ/kg <sub>c</sub>
H <sub>2</sub> O	0.4	%	$\Sigma Q_p = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$	<b>4837.79</b>	kJ/kg <sub>c</sub>
Cenizas, A	0.05	%	Energía útil, $Q_1$	<b>35433.47</b>	kJ/kg <sub>c</sub>
GASES SECOS DE COMBUSTIÓN			Masa de carbono que reacciona químicamente por kg de combustible, $C_{RQ}$	<b>0.837</b>	
GASES SECOS	VALOR	U/M			
Número de kg, $W_{GS}$	<b>17.399</b>	kg <sub>GS</sub> /kg <sub>c</sub>			
Capac. Calorífica media, $C_{pmGS}$	1	kJ/kg <sup>o</sup> C			
CO <sub>2</sub>	12.22	% vol	<b>EFICIENCIA DE LA CALDERA</b>	<b>VALOR</b>	<b>U/M</b>
CO	0.0001	% vol	Eficiencia, $\eta$	<b>87.99</b>	%
O <sub>2</sub>	4.24	% vol	Índice de Generación, IG	<b>21,68</b>	kg <sub>v</sub> /kg <sub>c</sub>
SO <sub>2</sub>	0.00076	% vol			
N <sub>2</sub>	83.5	% vol			
RESIDUO					
RESIDUO	VALOR	U/M			
Flujo, $m_R$	0	kg/h			
Cenizas, $A_R$	0	kg <sub>cenizas</sub> /kg <sub>comb</sub>			
Fracción masa de carbono, $C_R$	0	kg <sub>Carbono</sub> /kg <sub>comb</sub>			
EXTRACCIONES DE FONDO					
EXTRACCIONES	VALOR	U/M			
Flujo, $m_e$	0	kg/h			
DATOS					
Temp del combustible, $T_c$	90	°C			
Temp de los gases, $T_{GS}$	250	°C			
Temp del vapor, $T_v$	164.39	°C			
Presión del vapor, $P_v$	0.69	Mpa			
Temp del aire, $T_a$	30	°C			
Temp del agua, $T_{aa}$	90	°C			
Capac. caloríf agua, $C_{paa}$	1	kJ/kg <sup>o</sup> C			
Entalpía del combustible, $h_c$	<b>176.86</b>	kJ/kg			
Entalpía del vapor a reductora, $\lambda_v$	2068	kJ/kg			
Entalpía del vapor a consumidores, $\lambda_{vc}$	2128	kJ/kg			
Flujo de vapor, $m_v$	800	kJ/h			
Entalpía del agua, $H_{aa}$	376.9	kJ/kg			
$q_5$ (en función de $m_v$ )	2.5	%			

## ANEXO IX

### Análisis exergético

EXERGÍA QUÍMICA DEL COMBUSTIBLE					
FUEL OIL	VALOR	U/M			
Flujo, $m_c$	36.9	kg/h			
Valor Calórico Neto, VCN	40271.26	kJ/kg			
C	83.7	%			
H	11.85	%			
S	2.5	%			
O	0.62	%			
N	0.88	%			
Coeficientes					
Humedad	0.4	%	K	654.28	kJ/kg
Cenizas, A	0.05	%	v	31.5669	
			$\sigma$	1.4332	
Comp Qca de Exergía, ( $b_c$ )	33880.35	kJ/kg	$\omega$	0.8495	
Exergía ( $B_c$ )	347.27	kW	$\zeta$	78.4688	
EXERGÍA DEL VAPOR Y DEL AGUA					
	Flujo (kg/h)	Presión (MPa)	Temp (°C)	Comp Qca, $b_v$ (kJ/kg)	Exergía (kW)
Vapor a reductora	800	0.69	164.39	848.95	188.65
Vapor a consumidores	800	0.42	145.4	761.97	169.33
Agua alimentación	800	0.1	90	60.74	13.50
EXERGÍA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS					
Corriente	$E_{\text{eléctrica}}$ (kW)	Exergía (kW)			
Quemador	3	3.00			
Calentador	7	7.00			
EXERGÍA DEL AIRE					
Temperatura, $T_a$	30	°C			
Entalpía	534.98	kJ/kg			
Entropía	3.8548	kJ/kg°K			
Aire seco suministrado	16.229	kgas/kgc			
Flujo de aire seco	598.856	kgas/h			

*(Continuación)*

Exergía del aire	32.566	kW							
<b>EXERGÍA DE LOS GASES HÚMEDOS PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN</b>									
Gases	Temp (°C)	C. Sust (kmol)	$X_{molar}$	Masa (kg)	$X_{masa}$	H (kJ/kg)	S (kJ/kg°K)	Comp Fca, $b_{GH}$ (kJ/kg)	Exergía (kW)
CO <sub>2</sub>	250	6.99	0.055	307.56	0.1	1378.5	5.53	77.454	<b>76.797</b>
CO	"	0.0057	4.47e-5	0.159	5.36e-5	934.5	7.932	0.00288	
SO <sub>2</sub>	"	0.0004	3.45e-6	0.028	9.44e-6	878.8	5.028	0.002	
H <sub>2</sub> O	"	70.25	0.55	1264.5	0.43	2802	6.073	428.078	
O <sub>2</sub>	"	2.42	0.019	77.44	0.026	0	6.94	-4.184	
NO	"	0.00014	1.1e-6	0.0042	1.42e-6	3241.8	7.58	8.25e-5	
N <sub>2</sub>	"	47.74	0.37	1336.72	0.45	0	4.6	-71.073	
<b>Flujo de gases (kg/h)</b>	<b>TOTAL</b>	127.4	0.994	2986.4	1.006			430.279	
<b>642.02</b>									
Estado de referencia (Estado muerto)	Temp, T <sub>o</sub> (°C)	H <sub>o</sub> (kJ/kg)	S <sub>o</sub> (kJ/kg°K)						
CO <sub>2</sub>	25	729.06	5.9498						
CO	"	597	6.98						
SO <sub>2</sub>	"	617.3	4.85						
N <sub>2</sub>	"	428.7	4.07						
O <sub>2</sub>	"	0	6.4						
H <sub>2</sub> O	"	2547	8.558						
NO	"	3016.8	7.02						
Aire	"	498.19	3.771						

## ANEXO X

### Balance de masa en el generador

#### Balance de carbono

Base: 100 kg de combustible

$$\text{- Carbono del combustible} = 83,7 \text{ kg} \cdot \frac{\text{kmol}}{12 \text{ kg}} = 6,98 \text{ kmol}$$

#### Carbono en los gases

Base: 1 kmol de gas

$$\left. \begin{array}{l} \text{CO}_2 = 0,1222 \text{ kmol} \\ \text{CO} = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ kmol} \end{array} \right\} \text{carbono total en gases} = 0,1222 + 1,00 \cdot 10^{-4} = 0,1221 \text{ kmol}$$

Kmoles de gases secos por 100 kg de combustible quemado

$$\frac{6,98 \text{ kmol}_{\text{carbono en combustible}}}{0,1221 \text{ kmol}_{\text{carbono en gases}}} = 57,17 \text{ kmoles}$$

#### Productos gaseosos secos totales

Base: 100 kg de combustible quemado

	Masa molar	kmoles	X <sub>molar</sub>	Masa (kg)	X <sub>masa</sub>
CO <sub>2</sub>	44	0,1222 · 57,17 = 6,99	0.122	307,56	0,177
CO	28	1,00 · 10 <sup>-4</sup> · 57,17 = 0,0057	9,98 · 10 <sup>-5</sup>	0,159	9,23 · 10 <sup>-5</sup>
O <sub>2</sub>	32	2,42 · 57,17 = 2,42	0.042	77,44	0,0449
N <sub>2</sub>	28	0.835 · 57,17 = 47,74	0.835	1336,72	0,776
SO <sub>2</sub>	64	7.67 · 10 <sup>-6</sup> · 57,17 = 0,00044	7,698 · 10 <sup>-6</sup>	0,028	1,63 · 10 <sup>-5</sup>
NO	30	2,39 · 10 <sup>-6</sup> · 57,17 = 0,00014	2,45 · 10 <sup>-6</sup>	0,0042	2,44 · 10 <sup>-6</sup>
<b>Total</b>		<b>57,17</b>	<b>0,999</b>	<b>1721,9</b>	<b>0,998</b>

#### Balance de nitrógeno

Base: 100 kg de combustible quemado

- Nitrógeno en los productos gaseosos = 47,74 kmol

$$\text{- Nitrógeno que aporta en combustible} = \frac{0,88 \text{ kg}}{28 \text{ kg / kmol}} = 0,031 \text{ kmol}$$

- Nitrógeno en el aire = 47,74 - 0,031 = 47,1 kmol

$$\text{- kmoles de aire totales secos} = \frac{47,1 \text{ kmol}}{0,79} = 59,6 \text{ kmol}$$

- kg de aire seco totales =  $59,6 \cdot 30,9 = 1841,64 \text{ kg}_{AS}$

### Humedad en el aire

Temperatura de bulbo seco ( $T_{BS}$ ) = 35 °C (95 °F)

Temperatura de bulbo húmedo ( $T_{BH}$ ) = 30 °C (86 °F)

Con  $T_{BH}$  y la fracción mol del  $\text{CO}_2$  en los gases en la carta de humedad se determina la humedad molar (0,035 mol de  $\text{H}_2\text{O}$ /mol de gas seco)

- Agua en el de aire de entrada =  $59,6 \text{ kmol}_{GS} \cdot 0,035 \frac{\text{kmol}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kmol}_{GS}} = 2,086 \text{ kmol}_{\text{H}_2\text{O}}$

### Balance de hidrógeno

Base: 100 kg de combustible quemado

- Humedad introducida con el aire = 61,9 kmol

- Agua libre en el combustible =  $\frac{0,4 \text{ kg}}{18 \text{ kg / kmol}} = 0,022 \text{ kmol}$

- Hidrógeno que entra en el combustible =  $\frac{11,85 \text{ kg}}{2 \text{ kg / kmol}} = 5,93 \text{ kmol}$

Suponiendo que todo el hidrógeno que entra al sistema sale en forma de vapor de agua en los gases, entonces:

- Agua en los gases de salida =  $61,9 + 0,022 + 5,93 = 67,85 \text{ kmol}_{\text{H}_2\text{O}}$  (1221,3  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ )

- kmoles de gas húmedo =  $57,17 + 67,85 \text{ kmol}$  (2930,5  $\text{kg}_{GH}$ )

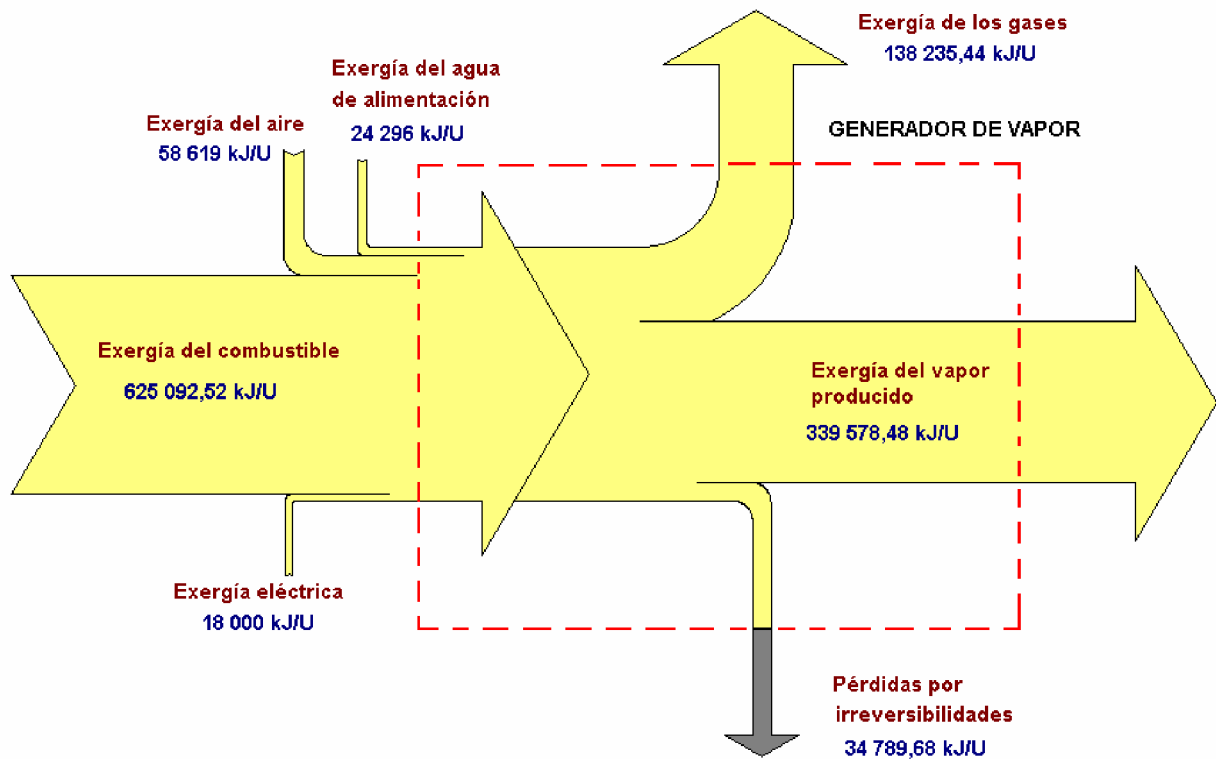
### Productos gaseosos húmedos totales

Base: 100 kg de combustible quemado

	Masa molar	kmoles	$X_{\text{molar}}$	Masa (kg)	$X_{\text{masa}}$
$\text{CO}_2$	44	$0,1222 \cdot 57,17 = 6,99$	0,055	307,56	0,1
CO	28	$1,00 \cdot 10^{-4} \cdot 57,17 = 0,0057$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	0,159	$5,4 \cdot 10^{-5}$
$\text{O}_2$	32	$2,42 \cdot 57,17 = 2,42$	0,019	77,44	0,026
$\text{N}_2$	28	$0,835 \cdot 57,17 = 47,74$	0,38	1336,72	0,45
$\text{SO}_2$	64	$7,67 \cdot 10^{-6} \cdot 57,17 = 0,00044$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	0,028	$9,5 \cdot 10^{-6}$
NO	30	$2,39 \cdot 10^{-6} \cdot 57,17 = 0,00014$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,0042	$1,42 \cdot 10^{-6}$
$\text{H}_2\text{O}$		67,85	0,54	1221,3	0,41
<b>Total</b>		125	0,994	2943,2	0,99

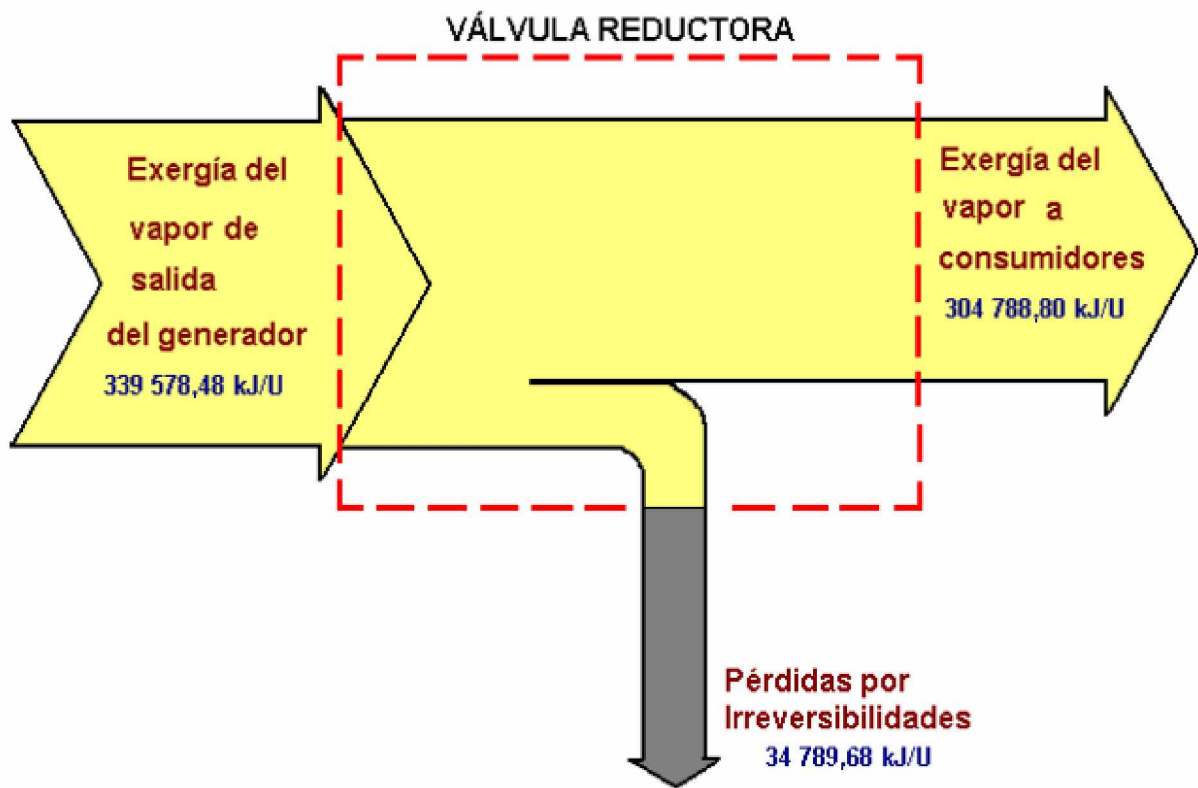
## ANEXO XI

### Diagrama de flujo de exergía (Grassmann) en el generador de vapor



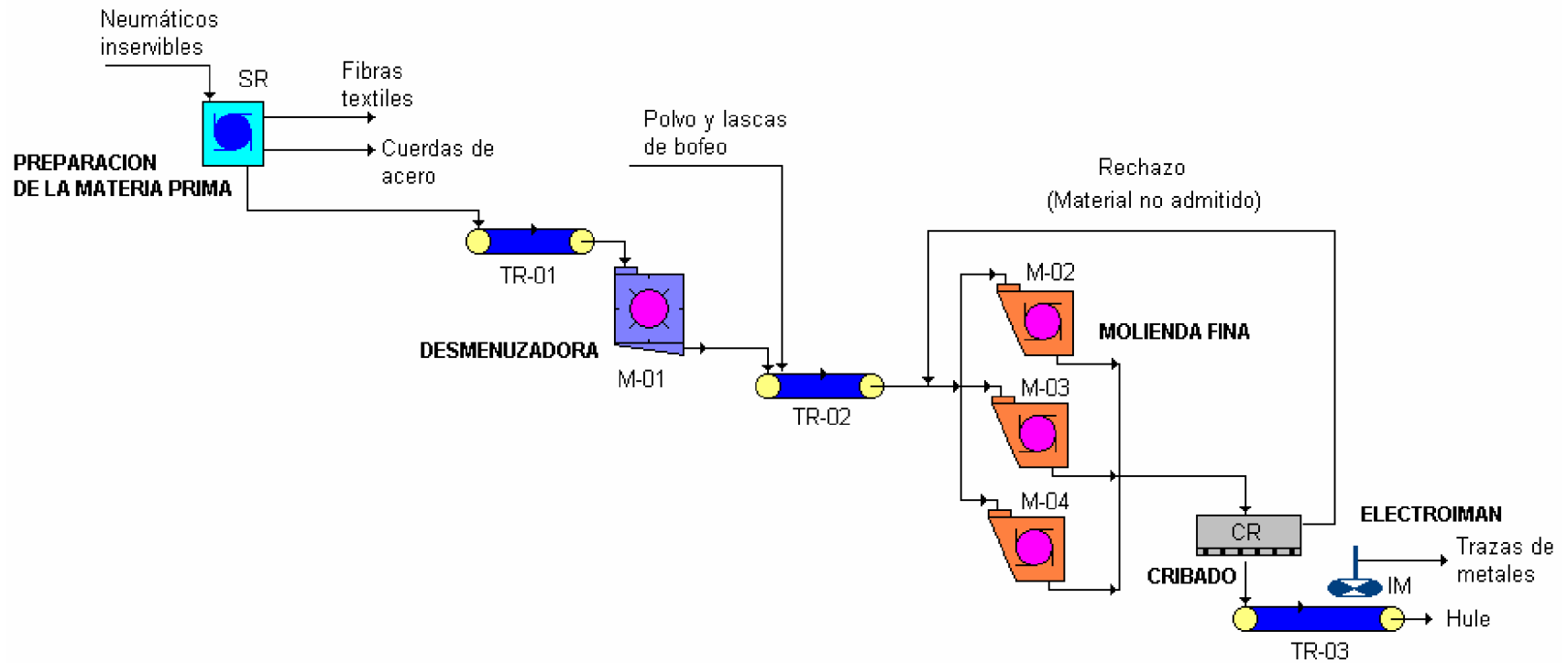
ANEXO XII

Diagrama de flujo de exergía (Grassmann) en la válvula reductora



## ANEXO XIII

### Diagrama de flujo de la planta de trituración mecánica



(Continuación)

## **Descripción tecnológica**

El proceso tecnológico propuesto para la obtención de hule por trituración mecánica a partir de neumáticos en inservibles, polvo y lascas de bofeo se basa fundamentalmente en la reducción de tamaño de dichos productos hasta un tamaño de partícula oscilante a los 3 mm.

El esquema productivo se puede dividir en etapas, la primera consiste en la preparación de la materia prima, o sea picotear los neumáticos mediante una máquina cortadora especializada para este fin y en eliminar previamente las fibras textiles y las cuerdas de acero manualmente, esto es necesario porque el destino del producto final es utilizarlo como aditivos para mezclas asfálticas e impermeabilizantes, por tanto el contenido de textiles puede formar áreas permeables. Luego la materia prima es introducida a la segunda etapa que tiene como equipo principal una desmenuzadora (M-01) acoplada con una criba cuyo objetivo es de reducir el tamaño de las partículas del material. Posteriormente el material de tamaño reducido que se obtiene de esta segunda etapa se le añade el polvo y lascas de bofeo los que por su características de tamaño no es necesario desmenuzar y entra a la tercera etapa en la que ocurre la molienda fina en el molino que no es más que una cortadora giratoria o de discos.

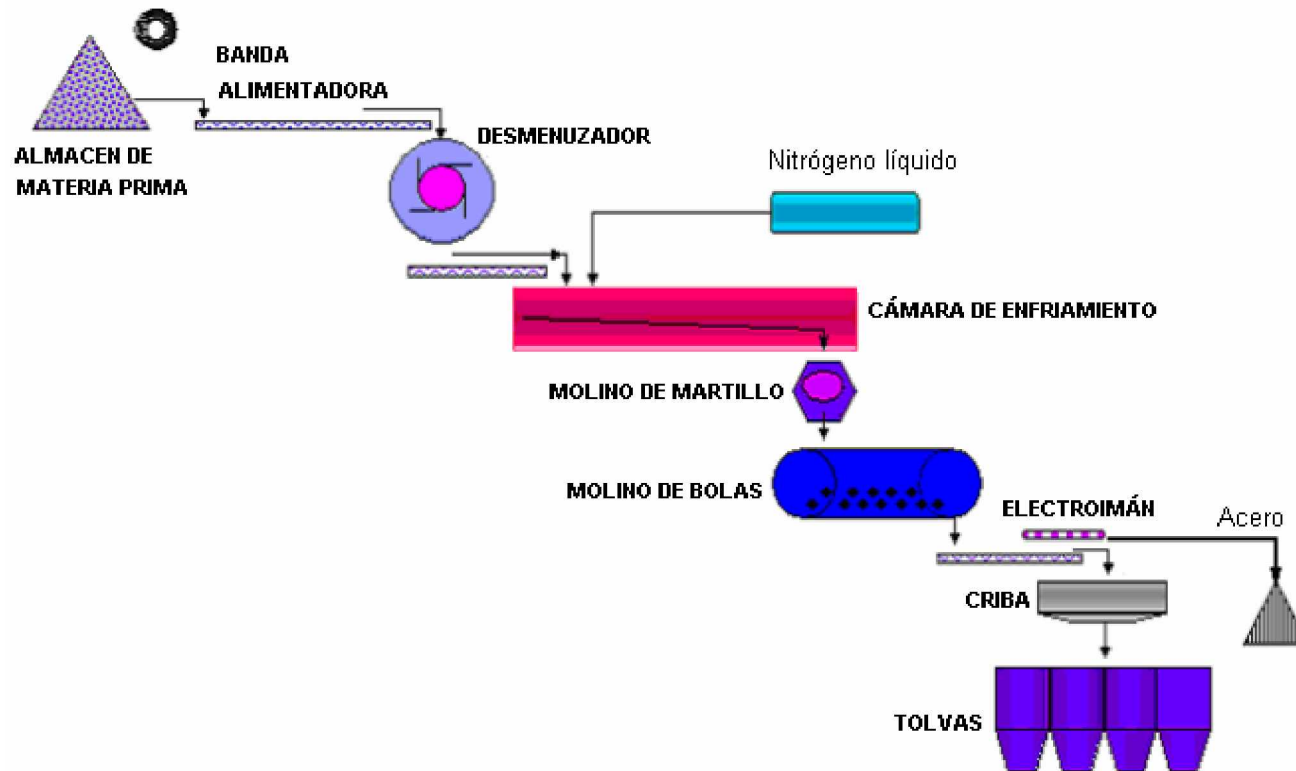
El producto fino producido en la tercera etapa, debe ser cribado en una cuarta etapa (CR) con el objetivo de separar las partículas de tamaño aproximado de 3 mm con las de tamaño mayor que puedan quedar de la etapa de molienda, siendo las últimas recirculadas a la etapa de molienda fina.

El producto final es introducido en una etapa de separación de metales a través del imán (IM) con el objetivo de eliminar totalmente las posibles trazas de metal que puedan quedar de las etapas anteriores, saliendo así el producto final con todas las especificaciones de calidad requerida para su futura aplicación.

Para el transporte de los productos a través de las etapas del proceso se utilizan transportadores para materiales sólidos.

## ANEXO XIV

Diagrama de flujo de la planta de trituración criogénica



(Continuación)

## **Descripción tecnológica**

El proceso de trituración de la goma es un proceso caro, ya que el caucho es un material que por sus características es imposible triturarlo desde 3 hasta 0.4 mm de tamaño. Para lograr esto es que se ha establecido una vía que se basa en cambiar las propiedades del caucho con el fin de que se convierta en un sólido rígido y facilite su pulverización.

Para lograr el cambio de las propiedades del caucho es necesario congelarlo para que de esa forma cristalice, pero como el caucho de los neumáticos tiene un contenido de acero hay que lograr que este componente cristalice también. Para lograr la cristalización del caucho y del acero es necesario pasar el material por un equipo de transferencia de calor (enfriador), tipo túnel, con el objetivo de disminuir temperatura. La temperatura que se debe lograr es de  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , esto sólo se puede lograr utilizando como refrigerantes el helio y el nitrógeno, de ellos se ha seleccionado para usar el nitrógeno ya que se encuentra en un 78 % en el aire, además es mucho más barato su obtención que la del helio.

Para disminuir el consumo de nitrógeno, el cual deberá estar en estado líquido, se disminuirá el tamaño de partícula de entrada al túnel, para ello se usará un molino de cuchillas que como se ha dicho se encargará de trocear las lascas de bofeo y los neumáticos inservibles. El producto troceado al salir de la cámara pasará a un molino de martillos donde se realizará una trituración media y por último pasar el caucho hasta un molino de bolas el cual se encargará de hacer la pulverización final del caucho.

Después de haber logrado que tanto el caucho como el acero hayan sido triturados hasta lograr el tamaño de partícula deseado es necesario someter este producto obtenido a un proceso de separación mecánica de los componentes, es decir se necesita separar el acero del caucho. Esta operación se puede hacer utilizando un electroimán, este aditamento se basa en las propiedades magnéticas que el posee para extraer el acero que debe estar pasando por debajo. Este acero que se extrae tiene un mercado probable en la Antillana de Acero de la Habana, los cuales lo deberán usar en las fundiciones y materiales que ellos producen.

El caucho ya triturado se pasará a unas tolvas de acumulación con el objetivo de ser acumulado para su posterior venta.





## ANEXO XVII

**Prensas industriales de la recapadora de neumático David Díaz Guadarrama**



*ANEXO XVIII*

**Neumáticos recapados**



ANEXO XIX

**Quemador de la caldera**

