

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA



PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Determinación de la huella de carbono de la tubería corrugada de doble pared de diámetro
cuarenta y dos pulgadas, fabricada por Durman Esquivel S.A.

REALIZADO POR:

Ariel Barrantes Vargas

FECHA DE PRESENTACIÓN:

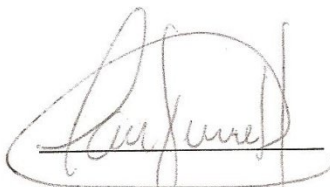
Mayo, 2013

Determinación de la huella de carbono de la tubería corrugada de doble pared de diámetro cuarenta y dos pulgadas, fabricada por Durman Esquivel S.A.

2

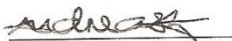
Informe presentado a la Escuela de Química del Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Ambiental con el grado de Licenciatura

Miembros del tribunal



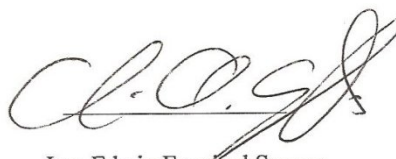
Ing. Laura Quesada Carvajal

Directora de tesis



Ing. Andrea San Gil

Lector 1



Ing. Edwin Esquivel Segura

Lector 2

Dedicatoria

A todas las personas que de una u otra forma me han apoyado a lo largo de mi vida universitaria, en especial a mis padres, hermanos y a la familia Trejos Vargas.

Agradecimientos

Agradezco al personal de Durman por brindarme la información necesaria para que el proyecto se pudiera llevar a cabo de buena forma.

Agradezco a mi directora de tesis y lectores por los consejos brindados durante la ejecución de este documento.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos.....	IV
Índice de figuras.....	VII
Índice de cuadros.....	VIII
Resumen.....	IX
Abstract.....	X
Lista de acrónimos.....	XI
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	4
2.1. General.....	4
2.2. Específicos.....	4
3. Marco teórico.....	5
3.1. Efecto invernadero y cambio climático: desafíos de la humanidad.....	5
3.2. Antecedentes históricos.....	9
3.3. Conceptos sobre huella de carbono.....	11
3.4. Estándares y metodologías para el cálculo de huellas de carbono en productos.....	13
3.4.1. PAS 2050.....	13
3.4.2. Normas ISO.....	16
4. Metodología.....	18
4.1. Definición del estudio.....	18
4.2. Identificación de las fuentes de emisión y alcance del proyecto.....	18
4.3. Variables del proyecto.....	21
4.4. Recolección de información y métodos de cuantificación.....	22
4.4.1. Transporte marítimo de materias primas.....	23
4.4.2. Transporte terrestre de materias primas.....	23
4.4.3. Consumo de electricidad en la producción.....	23
4.4.4. Consumo de aceite lubricante en la producción.....	24
4.4.5. Consumo GLP de montacargas para almacenar producto terminado.....	24
4.4.6. Transporte terrestre de materias producto terminado.....	24
4.5. Cálculo de la huella.....	25
4.6. Propuesta de medidas de reducción de GEI.....	26
5. Resultados y discusión.....	27
5.1. Emisiones por obtención de materias primas.....	28
5.1.1. Emisiones por transporte marítimo de materias primas.....	28
5.1.2. Emisiones por transporte terrestre de materias primas.....	32
5.2. Emisiones por manufactura y almacenamiento.....	33
5.2.1. Emisiones por consumo de electricidad.....	33
5.2.2. Emisiones por consumo de aceite lubricante.....	36
5.2.3. Emisiones por consumo de gas licuado de petróleo.....	39
5.3. Emisiones por distribución y venta al cliente.....	40
5.3.1. Emisiones por transporte terrestre de producto terminado.....	40
5.4. Emisiones totales.....	43
5.5. Opciones de reducción.....	46
5.5.1. En el transporte marítimo de materia prima.....	46
5.5.2. En el transporte terrestre de materia prima y producto terminado.....	52

5.5.3. En el consumo eléctrico	54
5.5.4. En el consumo de GLP.....	57
5.5.5. En el consumo de aceite lubricante	58
5.6. Análisis de la peligrosidad de la tubería en la etapa de disposición final	59
6. Conclusiones y recomendaciones.....	63
7. Recomendaciones.....	64
8. Referencias bibliográficas	66
9. Anexos.....	71
Anexo 1. Características y descripción del proceso de producción de la TDP 42”..	71
Anexo 2. Especificaciones del equipo Fluke 1735	73
Anexo 3. Materias primas utilizadas en la fabricación de la tubería	74
Anexo 4. Movimientos marítimos realizados en el 2012.....	75
Anexo 5. Datos de las embarcaciones que transportan las materias primas.....	81
Anexo 6. Consumo de combustible de cada buque contenedor	84
Anexo 7. Cantidad de TDP 42” fabricada y porcentaje de reproceso	87
Anexo 8. Tipos de combustibles marinos utilizados actualmente	88
Anexo 9. Reciclaje Vinyloop.....	89
Anexo 10. Detalles horarios de las mediciones de consumo eléctrico.....	91

Índice de figuras

Figura 1. Distribución promedio de la energía primaria mundial.....	5
Figura 2. Consumo energético mundial en el año 2008.....	6
Figura 3. Esquema general del efecto invernadero indicando los flujos globales de energía en watts por metro cuadrado.....	7
Figura 4. Comportamiento de la concentración de los principales GEI a lo largo de la historia.....	8
Figura 5. Tendencia de la temperatura 1970-2000.....	9
Figura 6. Comité de las partes del CMCC.....	10
Figura 7. Diagrama de flujo general del ciclo de vida de un producto.....	14
Figura 8. Ecoetiqueta tipo II de productos Casino en Francia.....	17
Figura 9. Mapa de procesos en la etapa del ciclo de vida obtención de materias primas.....	19
Figura 10. Mapa de procesos en la etapa del ciclo de vida manufactura y almacenamiento.....	20
Figura 11. Mapa de procesos en la etapa del ciclo de vida distribución/venta al cliente.....	21
Figura 12. Distribución porcentual de consumo eléctrico en las máquinas.....	35
Figura 13. Cantidad de GEI emitida por proceso.....	45
Figura 14. Cantidad de GEI emitida (kg CO ₂ /ton _{prod}) y distribución porcentual por etapa.....	45
Figura 15. Rangos típicos de eficiencia de CO ₂ de barcos comparados con trenes y furgones.....	47
Figura 16. Componentes del sistema de niebla.....	58
Figura 17. Etapas del reciclaje mecánico de la tubería de PVC.....	65

Índice de cuadros

Cuadro 1. Fuentes de emisiones globales de GEI.....	11
Cuadro 2. Comparación entre los etiquetados ambientales de productos.....	16
Cuadro 3. Variables y procesos involucrados en la evaluación de emisiones según etapa del ciclo de vida	22
Cuadro 4. Potencial de Calentamiento Global.....	25
Cuadro 5. Número de buques analizados y cantidades transportadas de materias primas en el año 2012.....	29
Cuadro 6. Consumo de combustible (ton/día) para las embarcaciones que transportan la materia prima Durastrength D320.....	30
Cuadro 7. Tiempo promedio recorrido (días) para las embarcaciones que transportan la materia prima Durastrength D320.....	30
Cuadro 8. Consumo de combustible promedio como función del GT y tiempo promedio de recorrido para el transporte de cada materia prima	31
Cuadro 9. Huella de carbono relacionada con el transporte marítimo de materia prima desde los puertos de carga hasta puerto Limón	32
Cuadro 10. Huella de carbono relacionada con el transporte terrestre de materia prima desde Puerto Limón hasta Durman Esquivel	33
Cuadro 11. Energía consumida (kilowatts-hora) por las máquinas involucradas en el proceso de producción de TDP 42”	34
Cuadro 12. Históricos de consumo de aceite en el departamento de extrusión de Durman Costa Rica para un año base.....	37
Cuadro 13. Huella de carbono del consumo de aceite en la línea de extrusión 23 durante la producción de la tubería	39
Cuadro 14. Huella de carbono del transporte terrestre de producto terminado en montacargas	40
Cuadro 15. Cantidad de TDP 42” distribuida y entregada al cliente durante el año 2012.....	41
Cuadro 16. Rendimiento estimado de consumo de combustible por distancia recorrida a cada uno de los países de exportación.....	42
Cuadro 17. Huella de carbono relacionada con el transporte terrestre de producto terminado que se entrega al cliente en Panamá, Guatemala y México.....	43
Cuadro 18. Resumen de emisiones de dióxido de carbono equivalente según etapas y sub etapas analizadas.....	44

Resumen

En búsqueda de contribuir a la meta país de ser carbono neutro en el año 2021, la empresa Durman Esquivel S.A. realizó un inventario parcial de la huella de carbono en uno de sus productos: la tubería PVC corrugada de doble pared de diámetro nominal igual a 42 pulgadas. Esta investigación corresponde a la primera en su tipo desarrollada a nivel de la empresa. Para ello se siguieron las pautas establecidas por la norma internacional PAS 2050 en su apartado de evaluación parcial o *business-to-business* y algunas disposiciones del IPCC.

Esta determinación sirve como punto de partida para que se siga calculando la huella de carbono en el resto de sus productos. Por otro lado, le permite a este optar por sistemas internacionales de eco etiquetado y así incursionar en mercados verdes. En el caso de Costa Rica, se ha iniciado la aplicación de una Norma Nacional para demostrar la C-neutralidad (INTE 12-01-06:2011) que permite a las empresas verificar sus emisiones, huella de carbono y declaración de C-neutralidad de forma voluntaria utilizando Organismos de Verificación acreditados con la norma ISO 14065 por el Ente Costarricense de Acreditación, y así poder optar por el sello de C-neutralidad del MINAEM.

El producto fue previamente seleccionado tomando en cuenta intereses comerciales y recomendaciones técnicas del personal de producción de la compañía. Se establecieron los límites del sistema en estudio considerando las etapas de la cadena de suministro donde hubo acceso satisfactorio a la información, asegurándose que la misma provino de fuentes confiables. Las etapas del ciclo de vida del producto a las que se le realizó el análisis de huella de carbono, y que correspondieron a un inventario parcial, fueron: obtención de materias primas incluyendo el transporte marítimo y terrestre; manufactura y almacenamiento incluyendo el consumo de insumos energéticos: electricidad, aceite lubricante y GLP; y distribución y venta al cliente incluyendo el transporte de producto terminado al consumidor.

La huella de carbono de la TDP 42 pulgadas en las etapas analizadas de su ciclo de vida es de 38,46 ton CO_{2e}/ton_{prod}. La etapa del ciclo de vida que más emite es la de obtención de materias primas con un total de 33,57 ton CO_{2e}/ton_{prod} (87,29% del total de la huella). El proceso individual que más emite es el transporte marítimo de materia prima con un total de 33,36 ton CO_{2e}/ton_{prod} (86,74% del total de la huella). La etapa de distribución de producto terminado aporta un 12,69% del total de la huella. Los procesos de la etapa de manufactura y almacenamiento presentan aportes porcentuales muy cercanos a cero (0,02% del total de la huella), sobre todo el consumo de aceite lubricante cuyo aporte porcentual fue el menor de todos.

Por último, se propusieron medidas a corto, mediano y largo plazo para reducir la huella de carbono dentro de las etapas seleccionadas del ciclo de vida. Dichas propuestas se enfocaron en la implementación de buenas prácticas para mejorar la eficiencia energética, la adaptación de tecnologías más eficientes y utilización de fuentes de energía renovable.

Abstract

Seeking to contribute to the goal of being carbon neutral country by 2021, Durman Esquivel S.A. enterprise performed a partial inventory of the carbon footprint for one of their products: the double wall corrugated pipe made of PVC with nominal diameter equal to forty-two inches. It corresponds to the first in its type at enterprise level. The guidelines set by PAS 2050 international standard in the category of partial evaluation or business-to-business and some rules of IPCC were taken into account for this project.

This determination serves as a starting point to continue calculating the carbon footprint of other products. On the other hand, the product could opt for an international eco labeling system and thus gain access to green markets. In the case of Costa Rica, the country has begun implementing a C-neutrality National Standard (INTE 12-01-06:2011) that allows companies to voluntarily verify their emissions, carbon footprint and C-neutrality declarations using Verification Bodies accredited with the ISO 14065 norm by the Costa Rica Accreditation Entity, and thus be able to opt for MINAEM C-neutrality seal.

The product was preselected considering commercial interests and technical recommendations of Durman production staff. The limits of the studied system were established considering the stages of the supply chain where there was adequate access to information, making sure that it came from reliable sources. The stages of the product life cycle in which the carbon footprint analysis was performed, and accounted for a partial inventory, are: obtainment of raw materials including maritime and land transportation; manufacture and storage including consumption of energy inputs: electricity, lubricating oil and LPG; and distribution/retail including transportation of the final product to the consumer.

The carbon footprint of the 42 inches PVC, considering the stages where the life cycle analysis was done, is of 38,46 ton CO_{2e}/ton_{prod}. The stage of the life cycle that emits the most is the obtainment of raw materials with a total of 33.57 ton CO_{2e}/ton_{prod} (87,29% of the total footprint). The single most emitting process was the shipping of raw materials with a total of 33.36 ton CO₂/ton_{prod} (86,74% of total emissions). The distribution of final product stage provided 12,69% of total emissions. The processes of manufacture and storage stage had a percentage very close to zero (0,02% of total emissions), especially lubricating oil consumption which had the lowest emission percentage contribution of all.

Finally, several measures were set for short, mid and long term to reduce the carbon footprint in all of the selected life cycle stages. This suggestions focus on implementing best practices to improve energy efficiency, adaptation of more effective technology and use of renewable energy sources.

Lista de acrónimos

CO₂e: Dióxido de Carbono Equivalente.

GEI: Gases con Efecto Invernadero.

GLP: Gas Licuado de Petróleo.

GNL: Gas Natural Licuado.

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

IEA: Agencia Internacional de Energía.

IMN: Instituto Meteorológico Nacional.

IPCC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.

MINAEM: Ministerio de Ambiente, Energía y Mares

PVC: Poli Cloruro de Vinilo.

TDP: Tubería de Doble Pared.

TEP: Toneladas Equivalentes de Petróleo.

1. Introducción

El cambio climático compete a todas las áreas geográficas e individuos, por lo tanto las empresas y sus procesos productivos no son la excepción. El consumo de energía para impulsar los equipos y maquinaria industrial, iluminación, climatización o refrigeración, así como el uso de transporte para el aprovisionamiento o distribución de mercancías, genera emisiones de GEI que inciden de forma significativa en el cambio climático (Jiménez, de la Cruz, Carballo, & Domench, 2012).

Costa Rica pretende alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2021, siendo la primera nación del orbe en fijarse esta meta como política de estado. Esta última tuvo su origen en el Plan de Paz con la Naturaleza y en la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Se establece que, mediante la oficialización de los procesos relacionados con el reporte de inventarios de gases con efecto invernadero y la aplicación de la Norma Nacional para demostrar la C-neutralidad, se le permita a las empresas obtener un sello oficial con respaldo nacional, luego de someterse a un proceso de verificación de tercera parte de forma voluntaria. Se están realizando esfuerzos para que esta norma obtenga reconocimiento internacional (Dirección de Cambio Climático, 2013).

Este es el primer paso de la empresa Durman (Durman Esquivel S.A.) en desarrollar inventarios de carbono en sus cadenas de suministro para optar por un sello de esta índole. Por ello, el cálculo de la huella de carbono en uno de sus productos más significativos se convertirá en el primer acercamiento de la subsidiaria a este tema, y servirá como base metodológica para seguir las cuantificaciones en los demás productos. En este proyecto se realizó un inventario parcial (evaluación business-to-business o cradle-to-gate¹), que servirá como principio para que en un futuro se continúe con las etapas de verificación y certificación de la huella del producto por un ente reconocido.

La certificación por la que podrá optar Durman, al igual que los productos de cualquier otra empresa, es entregada por British Standards Institution (BSI) por medio de la norma internacional para la verificación de huella de carbono PAS 2050:2011. Es

¹ Ver apartado 6.2 de la norma PAS 2050: “*Cradle-to-gate GHG emission and removals assessment*”.

importante mencionar que esta certificación únicamente incluye la verificación de la huella dentro del ciclo de vida del producto, sin tomar en cuenta criterios de compensación de GEI.

Para analizar este tipo de huellas, la BSI también incluye en su portafolio la norma para demostrar la carbono neutralidad, PAS 2060:2010. La misma proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI sobre una materia específica; incluidas las actividades, productos, servicios, edificios, proyectos y desarrollos importantes, pueblos, ciudades y eventos.

Las principales ventajas competitivas que buscan las empresas en los mercados internacionales al calcular la huella de sus productos y buscar certificaciones PAS (Polo et al, 2012) son:

- Reducir sus emisiones de GEI: el hecho de identificar oportunidades de reducción, tanto a nivel interno como a nivel de clientes y proveedores, permitirá determinar qué etapas de su cadena de suministro tienen más influencia ambiental para reducirla.
- Cumplir con sus objetivos medioambientales y de sostenibilidad: en caso de que existan demandas externas de los resultados medioambientales del producto, la empresa proporcionará tales bases.
- Permitir que los clientes sepan que las declaraciones sobre verificación y certificación de las emisiones de carbono de las empresas son verdaderas y fiables.
- Permitir a las organizaciones utilizar los mismos criterios que los competidores: esto permitirá comparar entre dos posibles proveedores para analizarlos a igualdad de condiciones en función de su huella de carbono.
- Mejorar el rendimiento energético, lo que permitirá reducir las facturas de energía.
- Elegir un formato de presentación de su producto.

Esta investigación permitió cuantificar las emisiones de dióxido de carbono equivalente en las etapas seleccionadas del ciclo de vida del producto previamente escogido. La

elección de las fuentes de emisión se basó en la cantidad y calidad de información que exista al respecto. También se propusieron opciones de reducción en cada uno de los procesos seleccionados.

En este caso no se realizó un análisis de incertidumbre para los resultados. Para demostrar que los mismos tuvieron una validez adecuada, se trabajó con datos primarios y factores de emisión de GEI nacionales siempre que la actividad lo permitiera.

Sin embargo, en un estudio de este tipo se recomienda realizar un análisis de incertidumbre, el cual es un proceso laborioso con tantas etapas y fuentes de datos como el mismo cálculo de la huella en sí. Resulta de interés conocer el nivel de incertidumbre al que está sometido el resultado a fin de poder proporcionar un alto nivel de confianza al receptor del valor. En la realidad existen numerosas fuentes de incertidumbre que deben tenerse en cuenta, principalmente por incertidumbre técnica de los datos de la actividad, así como por la natural variabilidad de los datos al ser medidos (Polo et al, 2012).

En forma general, un proyecto de este tipo ayudará a demostrar la preocupación de Durman por los impactos medioambientales de su producto. Además, permitirá a la empresa comunicar a los consumidores acerca de sus esfuerzos en reducir el impacto del mismo y así adquirir diferenciación en el mercado. Por lo tanto, evidentemente se estará aportando en la reducción/mitigación de impactos a la atmósfera y se contribuirá en alcanzar la meta país: “*ser carbono neutral en el 2021*”.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar la huella de carbono de la tubería de doble pared de diámetro nominal 42 pulgadas, fabricada por la empresa Durman Esquivel S.A.

2.2 Objetivos específicos

1. Definir los límites del sistema en estudio para evaluar sus emisiones de GEI, mediante la elección de las etapas del ciclo de vida de la tubería y las actividades involucradas.
2. Cuantificar la emisión de GEI de la tubería dentro de los límites del sistema en estudio.
3. Identificar las oportunidades de reducción de GEI a corto, mediano y largo plazo dentro de los límites del sistema en estudio.

3. Marco teórico

3.1. Efecto invernadero y cambio climático: desafíos de la humanidad

Las combustibles fósiles proveen en promedio casi el 80% de la energía primaria mundial, mientras que el 20% restante lo aportan fuentes renovables (Beyond Petroleum, 2010). En la figura 1 se muestran las distribuciones porcentuales promedio.

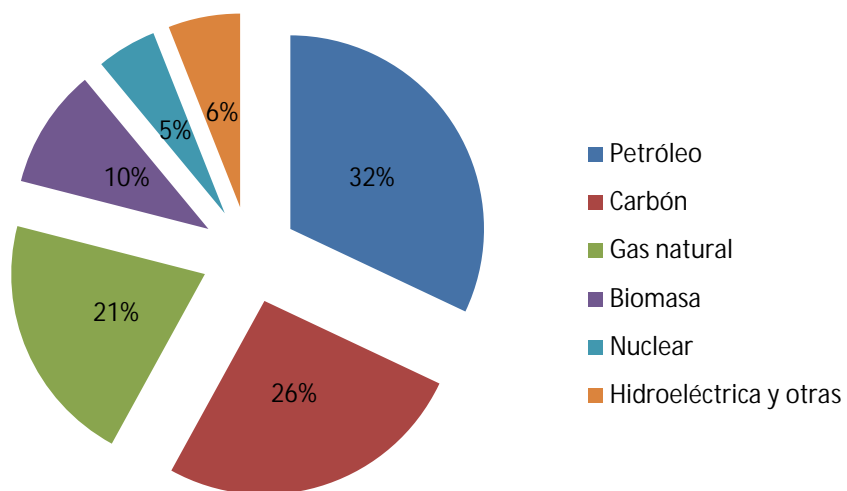


Figura 1. Distribución promedio de la energía primaria mundial. Fuente: (Beyond Petroleum, 2010).

Por su parte, se estimó que el consumo mundial de combustibles fósiles en el año 2009 fue de 12.500,00 millones de toneladas de petróleo equivalente (TEP), y que la tasa promedio de emisión de carbono ese año fue de 8.000,00 millones de toneladas. En el 2008, la Agencia Internacional de Energía calculó el consumo energético mundial tal y como se observa en la figura 2.

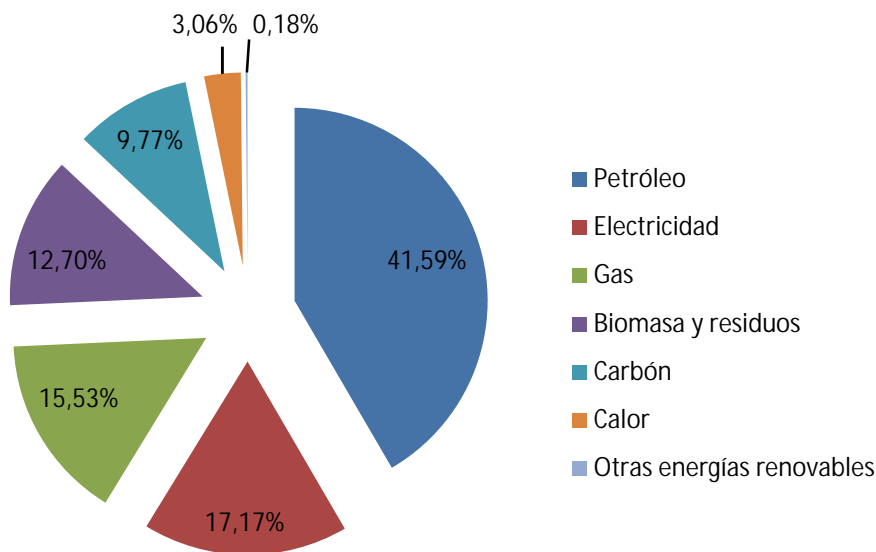


Figura 2. Consumo energético mundial en el año 2008.
Fuente: (IEA, 2008).

Es así como la generación de energía producto de la utilización de sistemas de combustión ha contribuido, a nivel global, con la elevada generación de gases con efecto invernadero (GEI). También poseen un gran aporte la agricultura y el cambio de uso de la tierra (IPCC, 2007). Por otro lado, la Agencia Internacional de Energía calculó que el consumo de energía es responsable de aproximadamente un 80% de la emisión de GEI, y que sólo al sector eléctrico le corresponde un 25% (IEA, 2008).

Los GEI son aquellos gases presentes en la atmósfera que absorben radiación infrarroja y retienen parte de la radiación de onda larga emitida por la Tierra. Este efecto, debido a emisiones naturales, ha contribuido por millones de años a mantener estable la temperatura terrestre y permitir la vida en general (ver figura 3). No obstante, las fuentes de emisión antropogénicas lograron alterar ese equilibrio haciéndose aún más notable en este siglo (Fasullo, Trenberth, & Kiehl, 2008).

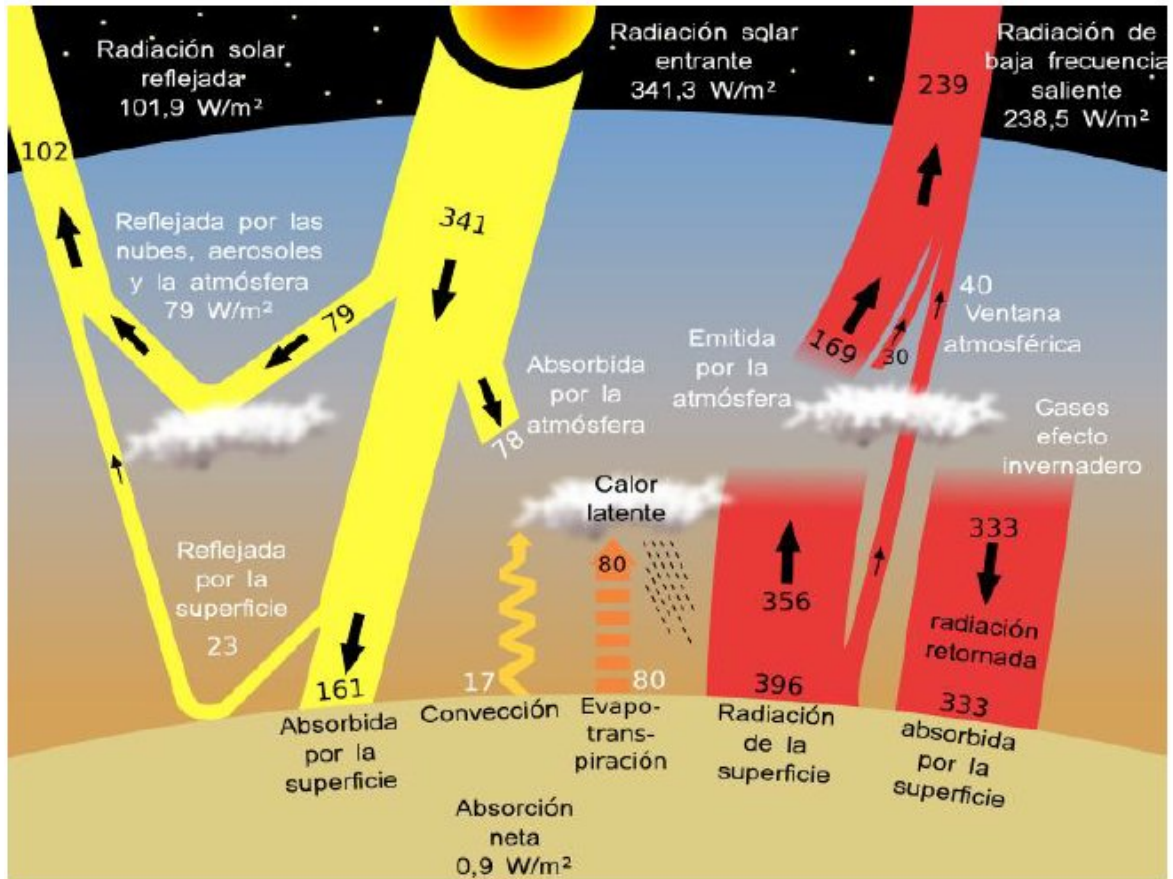


Figura 3. Esquema general del efecto invernadero indicando los flujos globales de energía en watts por metro cuadrado. Fuente: (Fasullo, Trenberth, & Kiehl, 2008)

El acelerado crecimiento poblacional y sus actividades cotidianas han contribuido a que gases como el vapor de agua, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, así como la amplia familia de gases hidrofluorocarbonos (HFCs) y perfluorocarbonos (PFCs), hayan aumentado a lo largo de la historia y absorban más radiación infrarroja de lo normal (Zaror, 2012). Este efecto se puede apreciar en la figura 4).

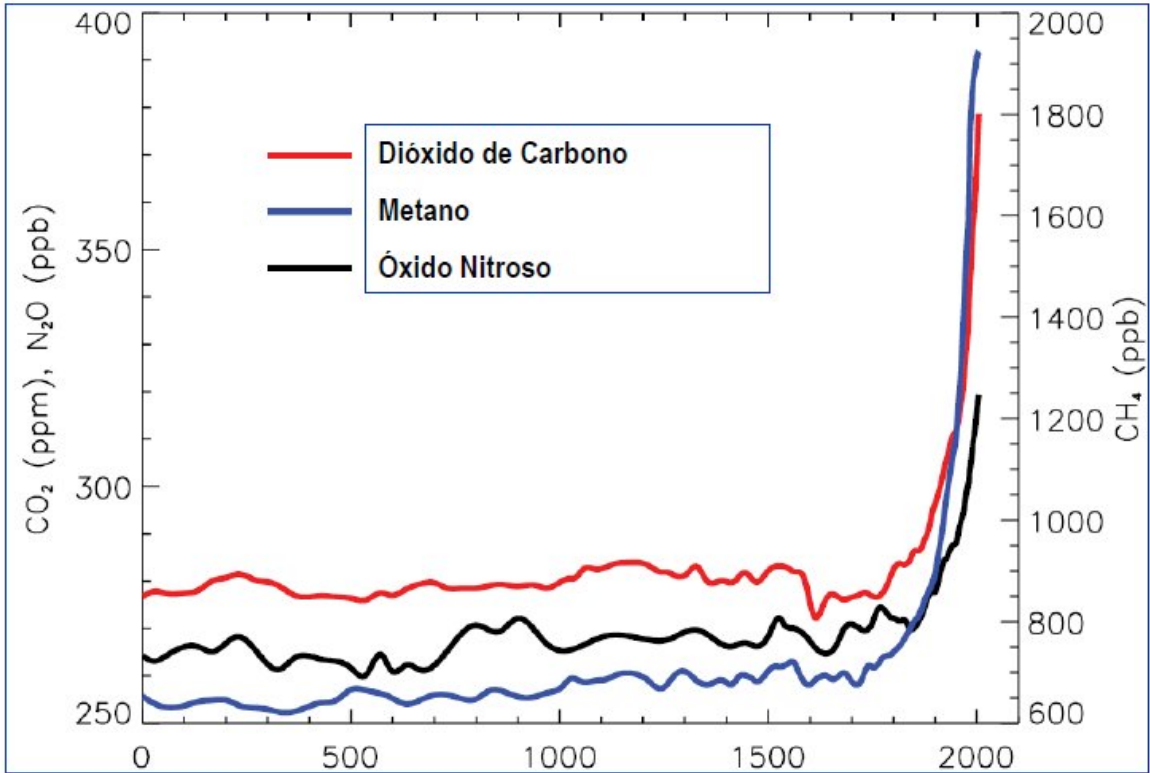


Figura 4. Comportamiento de la concentración de los principales GEI a lo largo de la historia. Fuente: (Zaror, 2012).

El aumento de GEI gracias a la mano del hombre ha propiciado lo que hoy se conoce como cambio climático y que ha sido responsable de cambios en las precipitaciones, sequías e inundaciones, aumento del nivel del mar, y en general, del aumento de la temperatura global en las últimas décadas (ver figura 5). De esta forma se han visto afectados los ecosistemas, la biodiversidad, los alimentos, el agua, la energía, los asentamientos humanos y la salud.

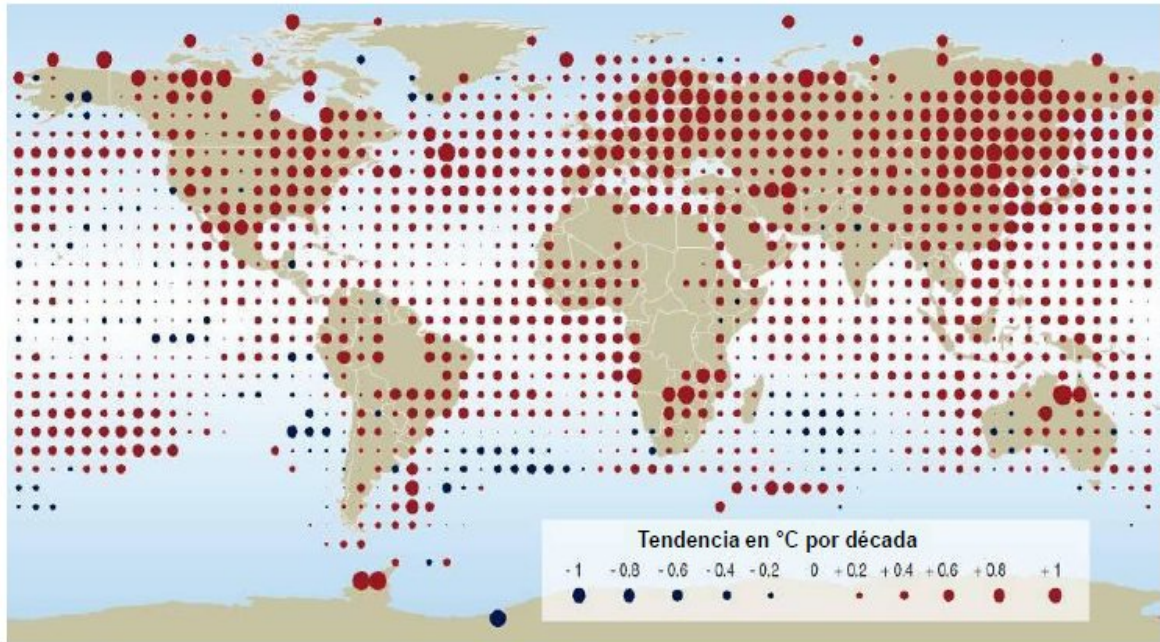


Figura 5. Tendencia de la temperatura 1970-2000. Fuente: (Zaror, 2012).

Han surgido esfuerzos internacionales para mitigar el calentamiento global y el cambio climático con iniciativas enfocadas a controlar el consumo de combustibles fósiles y motivar inversiones para reducir las emisiones. Entre ellos se pueden destacar el Protocolo de Kioto en 1997 y la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. El artículo 12 del Protocolo de Kioto insta a las empresas de los países en vías de desarrollo a certificar sus reducciones de emisiones de GEI y rentabilizarlas en el mercado de bonos de carbono.

Algunos proyectos considerados en los Mecanismos de Desarrollo Limpio del Acuerdo de Kioto incluyen, por ejemplo: opciones de reducción como eficiencia energética y disminución de la demanda; captura y almacenamiento de carbono proveniente de combustibles fósiles; reemplazo de combustibles fósiles (carbón a gas); uso de energías renovables (hidroeléctrica, solar, eólica, mareomotriz y geotérmica); y captura de carbono por medio de sumideros forestales (reforestación).

3.2. Antecedentes históricos

Según evidencia científica recopilada desde hace unos 30 años por grupos expertos, se alertó sobre un posible cambio climático permanente e irreversible a escala mundial.

Ante esta preocupación se han creado organizaciones que establezcan políticas para gestionar los aspectos relacionados con las emisiones de GEI (Zaror, 2012).

En 1988 se crea el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). Este organismo lo constituyen científicos de todo el mundo y es dirigido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (Zaror, 2012).

Para 1992, la firma del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), con 154 gobiernos adscritos, se dio a la tarea de enfrentar las actividades humanas generadoras del calentamiento global. La Convención entró en vigor a nivel mundial el 24 de marzo de 1994 y resalta lo siguiente: *“El problema del cambio climático constituye una preocupación común de la humanidad y por ello, es necesario elaborar una estrategia mundial destinada a proteger el sistema climático para las generaciones presentes y futuras sobre bases de equidad, debiéndose tener en cuenta las necesidades específicas de los países en desarrollo, en especial de los países más vulnerables (Zaror, 2012)”*. La CMNUCC creó la Conferencia de las Partes (COP) como órgano supremo en la toma de decisiones e implementación de políticas para neutralizar las emisiones de GEI. Precisamente, el Protocolo de Kioto surge de la COP-3 realizada en dicha ciudad de Japón. En la figura 6 se muestran las COP’s que se han realizado desde 1995 hasta el 2011.

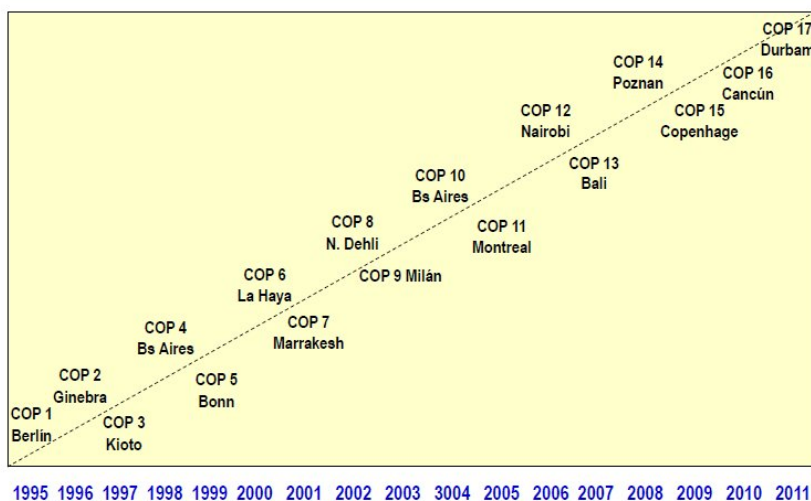


Figura 6. Comité de las partes del CMCC. Fuente: (Zaror, 2012).

El Protocolo de Kioto es un acuerdo legalmente vinculante bajo el cual los países industrializados deben reducir sus emisiones colectivas de seis tipos de GEI en un 5,2% para el periodo 2008-2012. Esto con la ayuda de tres mecanismos: Desarrollo Limpio, Régimen de Comercialización de Emisiones e Implementación Conjunta.

En el 2009 se realizó la COP-15 en la ciudad de Copenhague. Aquí se fijó como objetivo que el incremento del promedio de la temperatura terrestre debe ser máximo de 2°C para finales del siglo XXI. Ante esta situación tan alarmante, se propone reducir las emisiones por deforestación y degradación de bosques. También se dicta incrementar los fondos para el financiamiento de proyectos y programas para países en vías de desarrollo, que van desde los US\$ 30.000 millones para el periodo 2010-2012 hasta US\$ 100.000 por año para el 2020 (Zaror, 2012).

Finalmente, para el año 2015 se evaluará la posibilidad de limitar el aumento de la temperatura promedio terrestre a un valor máximo de 1,5°C.

3.3. Conceptos sobre huella de carbono

Las emisiones globales antropogénicas de GEI se deben principalmente a las fuentes mostradas en el cuadro 1. También existen emisiones naturales bastante significativas, como los océanos y la vegetación.

Cuadro 1. Fuentes de emisiones globales de GEI.

Fuente emisión		Porcentaje emisión (%)
Uso energía	Generación eléctrica	21
	Industria	17
	Transporte	14
	Producción fósiles	11
	Doméstico y comercial	10
Total (%)		73
Agricultura		13
Cambio uso suelo (deforestación)		10
Generación residuos		4

Fuente: (Zaror, 2012).

La huella de carbono es una herramienta de medición que contribuye a la producción más limpia. Es un término utilizado para describir la cantidad de GEI emitidos en términos de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) y por efecto directo o indirecto de un individuo, país, organización, actividad o producto (Zaror, 2012). Cabe destacar que las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de biomasa no se contabilizan como parte de la huella de carbono, estas se consideran como CO₂ biogénico² y se informan por separado. Tampoco se incluyen las emisiones por consumo de agua y evaporación de la misma (vapor de agua), ya que las mismas corresponden a un análisis separado de huella hídrica³.

Se han creado estándares y metodologías para calcular las huellas de carbono asociadas a bienes y servicios, sin embargo, muchos están en pleno desarrollo. Además han surgido los sistemas de etiquetado ecológico de productos. Estos declaran el efecto y el desempeño de los productos sobre el medio ambiente por medio de información completa y confiable al consumidor.

En el sector productivo la huella de carbono de un producto hace referencia a las emisiones de GEI a través de su ciclo de vida. Se consideran todas las fases que lo componen desde la extracción de materias primas hasta la disposición final, pasando por la producción, distribución, consumo y reciclaje.

Por otra parte, la huella de carbono empresarial o inventario de emisiones empresarial cuantifica las emisiones de GEI generadas por las actividades de la empresa. Aquí se contemplan las emisiones que provienen directamente de las operaciones que son propiedad y están bajo el control de la empresa, así como las emisiones generadas indirectamente al adquirir bienes y servicios externos tales como: electricidad, materias primas, insumos químicos y transporte de vehículos de terceros.

² Una parte significativa de las emisiones de dióxido de carbono procede de la combustión de biomasa (material biológico compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno). La quema de biomasa produce emisiones consideradas neutras respecto al carbono, pues este se genera en el ciclo natural del carbono. Visto (en línea) en: <http://www.sgs.es/es-ES/Environment/Climate-Change/Biogenic-CO2-Emissions.aspx>.

³ La huella hídrica o huella del agua es un indicador que incluye el consumo de agua directo o indirecto de un consumidor o productor. Está definida como el volumen total de agua que se necesita para producir los bienes y servicios consumidos por los mismos. El uso del agua se mide en volumen de agua consumida (o evaporada) o contaminada por unidad de tiempo (Grajales, Jaramillo & Cruz, 2008).

El concepto de huella de carbono también se puede aplicar a nivel de cada nación como parte de los compromisos establecidos en el Convenio Marco de Naciones Unidas para el cambio climático. Cada país debe establecer su propio inventario nacional de emisiones de GEI.

En el caso de Costa Rica se pretende alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2021, siendo la primera nación del orbe en fijarse esta meta como política de estado. Esta idea tuvo su origen en el Plan de Paz con la Naturaleza y en la Estrategia Nacional de Cambio Climático, y su implementación es actualmente impulsada por la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente, Energía y Mares (MINAEM).

Se establece que mediante la oficialización de los procesos relacionados con el reporte de inventarios de gases con efecto invernadero y la aplicación de la Norma Nacional para demostrar la de C-neutralidad, se le permita a las empresas obtener un sello oficial con respaldo nacional, luego de someterse de forma voluntaria a un proceso de verificación de tercera parte. Esta norma sigue lo estipulado internacionalmente en cuanto a procesos verificación por parte de un organismo que debe estar acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación, siguiendo los lineamientos de la ISO 14065 (Dirección de Cambio Climático, 2013). Cabe destacar que esta normativa costarricense es exclusiva para el cálculo de huellas a nivel empresarial, aún no existe legislación específica a nivel de ciclo de vida de productos.

Además, entre los años 2000 y 2005 se había desarrollado el Inventario Nacional de Emisión de GEI y de Absorción de Carbono en Costa Rica. Este definió factores de emisión para las principales actividades productivas del país, así como su fijación mediante sumideros de carbono (Chacón, Montenegro, & Sasa, 2009).

3.4. Estándares y metodologías para el cálculo de huellas de carbono en productos

3.4.1. PAS 2050

Es una norma británica especialmente diseñada para estandarizar los cálculos de emisiones a nivel de productos considerando su ciclo de vida. La elaboración de esta

norma fue obra de la Institución Británica de Estándares (BSI) con la colaboración del Carbon Trust, del Departamento del Medioambiente, Alimentos y Asuntos Rurales del Gobierno de Reino Unido (DEFA) y del aporte técnico de instituciones académicas, empresariales y ONG's. Esta norma establece que se deben contabilizar las emisiones de GEI generadas por los materiales y actividades dentro de los límites del ciclo de vida del producto al que se le aplica el estudio.

Un mapa de proceso completo del ciclo de vida de un producto incluye todas las etapas desde las materias primas hasta la disposición (figura 7), incluyendo todos los flujos de material, energía y residuos.

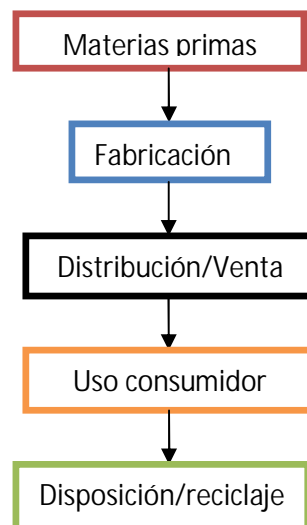


Figura 7. Diagrama de flujo general del ciclo de vida de un producto. Fuente: (Barrantes Ariel, 2013).

Cada etapa del ciclo de vida debería incluir los siguientes aspectos (PAS 2050, 2011):

Materias primas:

En esta etapa se consideran todas las actividades relacionadas con el manejo de materia prima, entre ellas: la minería (extracción de minerales); la agricultura; los procesos forestales; y el pre-procesamiento, embalaje, almacenamiento y transporte. También, si

fuera el caso, se deben incluir otros aspectos como uso de fertilizantes (producción, transporte, aplicación) y cambio del uso de la tierra.

En este apartado puede ser muy común que las materias primas sean importadas vía marítima. La Organización Marítima Internacional destaca la importancia de calcular las emisiones de GEI asociadas a este tipo de transporte. Este organismo estimó que el transporte marítimo en general fue el causante en el 2007 de la emisión de 1.046 millones de toneladas de CO₂, lo que representó el 3,3% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial (Benedito Benet & Rúa Costa, 2012).

Fabricación:

En esta etapa se consideran todas las actividades involucradas desde que las materias primas llegan al sitio de manufactura hasta la distribución de producto terminado. Se incluyen todos los procesos de producción; el transporte y almacenamiento relacionado con la producción; el embalaje; todos los materiales producidos: emisiones relacionadas con el sitio (ej. iluminación, ventilación, temperatura), producto, residuos, co-productos (subproductos útiles) y emisiones directas.

Distribución/venta al por menor:

En esta etapa se consideran todas las etapas de transporte y almacenamiento relacionado con la entrega del producto al consumidor; así como el almacenamiento al por menor y muestras.

Uso del consumidor:

En esta etapa se considera la energía requerida durante la fase de uso producto del almacenamiento, preparación, aplicación y mantenimiento/repación (ej. para las etapas de largo uso) del producto que se recibió.

Disposición/reciclaje:

En esta etapa se incluyen todos los pasos antes de la disposición, entre ellos el transporte, almacenamiento y procesamiento del producto una vez que acaba su vida

útil; la energía requerida en los procesos de eliminación/reciclaje; las emisiones directas debido a la disposición/reciclaje (descomposición de carbono, liberación de metano y emisión de gases producto de la incineración).

La norma PAS 2050 excluye las fuentes de emisiones no significativas o inmateriales (menos del 1% del total de las emisiones totales de GEI en el sistema); los insumos humanos para los procesos; el transporte de los consumidores a los comercios minoristas; y los animales que proporcionan transporte (ej. animales de granja utilizados en la agricultura o minería en países en desarrollo). Por lo tanto, un inventario de este tipo debería involucrar todas las emisiones significativas generadas como resultado directo del bien producido, utilizado y dispuesto/reciclado (PAS 2050, 2011).

3.4.2. Normas ISO

Al calcularse, verificarse y certificarse la huella de carbono de un producto este puede optar por usar alguno de los tres sistemas de eco etiquetado existente, que se rigen según las normas ISO 14024, ISO 14021 e ISO 14025. En el cuadro 2 se muestra una comparación entre cada uno de estos esquemas.

Cuadro 2. Comparación entre los etiquetados ambientales de productos.

Etiqueta	Tipo I ISO 14024	Tipo II ISO 14021	Tipo III ISO 14025
Criterios considerados	Constatación de aspectos y criterios ambientales	Generalmente considera solo un aspecto ambiental	Constatación de aspectos ambientales cuantitativos
Metodología	Evaluación de ciclo de vida	No hay metodología única	Evaluación de ciclo de vida
Elaboración de criterios	Instancias públicas o privadas independientes	Productor o distribuidor	Productor o distribuidor
Verificación	Externa o de tercera parte (pública o privada)	No obligatoria, auto declaración	Externa o de tercera parte (privada)
Importancia para el público	Son los más reconocidos	Credibilidad limitada cuando no hay verificación externa	Altamente reconocidos

Fuente: (Zaror, 2012).

Las etiquetas ambientales para productos buscan informar sobre los aspectos ambientales de los mismos de manera exacta, verificable y veraz; incentivar la oferta y

demanda de aquellos que presentan menores presiones sobre el medio ambiente; y permitir que el mercado actúe como promotor del mejoramiento ambiental continuo.

Un ejemplo de etiquetado tipo I es la Ecolabel de la Unión Europea. Es una etiqueta voluntaria establecida en 1992 bajo la regulación número 66/2010 UE. Por su parte, un ejemplo de etiquetado tipo II es el que desarrolló el Grupo Casino en Francia con el apoyo de la Agencia para la Gestión Ambiental y Energética. La eco etiqueta indica la cantidad de GEI emitidas en las principales fases del ciclo de vida de sus productos (actividades agrícolas, procesos de manufactura, transporte, envasado y distribución al punto de ventas). El diseño de la misma se observa en la figura 8.

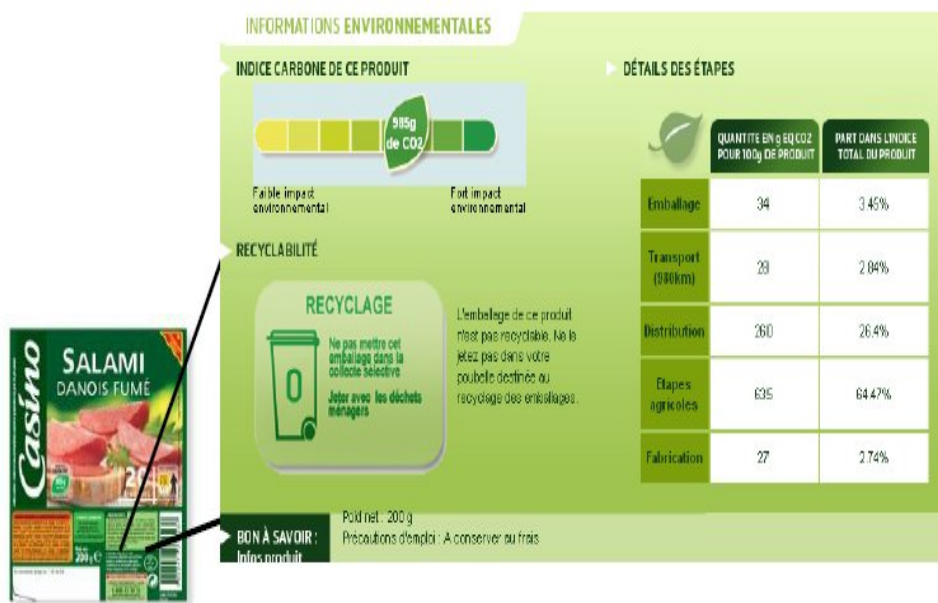


Figura 8. Eco etiqueta tipo II de productos Casino en Francia. Fuente: (Jan, 2012).

4. Metodología

4.1. Definición del estudio

La cuantificación de las emisiones de GEI se llevó a cabo en la empresa Durman Esquivel Costa Rica, sede del Coyol de Alajuela, más específicamente en el parque industrial Propark. Para su desarrollo se tomó como base lineamientos y disposiciones de la norma internacional PAS 2050 para inventarios parciales, y algunas anotaciones del IPCC.

El producto previamente seleccionado fue la tubería TDP 42". Su escogencia se basó en intereses comerciales y recomendaciones técnicas del personal de producción de la compañía. La unidad funcional⁴ seleccionada fue la cantidad de tubería producida en toneladas (peso real). El flujo de referencia fue de una tonelada, es decir, la cantidad de GEI emitida se midió con relación a una tonelada de producto terminado.

4.2. Identificación de las fuentes de emisión y alcance del proyecto

Para identificar las fuentes que serían consideradas en la evaluación de emisiones de GEI se realizaron visitas a la planta de producción de la empresa. Además se habló con personal de distintas áreas de la empresa para conocer todas las actividades y procesos relacionados con el ciclo de vida del producto; y se tuvo contacto con los diferentes departamentos involucrados, entre ellos: extrusión, compras, logística, almacén de suministros y gestión ambiental.

A continuación se enlistan las etapas del ciclo de vida y los procesos que se tomaron en cuenta para la evaluación de emisiones de GEI.

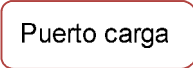
Obtención de materias primas necesarias para la fabricación:

Se contemplaron los siguientes procesos o actividades:

⁴ Una unidad funcional se puede definir como una cantidad conocida de un producto resultante de una cadena de suministro para su empleo como unidad de referencia para el cálculo de las emisiones asociadas al producto (Polo et al, 2012). Normalmente, la unidad funcional corresponde bien a una cantidad de producto presentado al cliente en el formato específico sobre el que se etiqueta (p. ej. bolsa de patatas fritas, litro de aceite, prenda de vestir), o bien, a una cantidad típica de consumo (250 g de conservas, 100 ml de aceite, etc.). Esta cantidad suele ser coherente con la marcada en la ficha nutricional.

- Transporte marítimo de materias primas desde los respectivos puertos internacionales de carga hasta el puerto de descarga en Moín de Limón, Costa Rica.
- Transporte terrestre de las materias primas desde el puerto de descarga hasta la empresa en Coyol de Alajuela, Costa Rica.

En la figura 9 se muestra un diagrama general de estos procesos.



Puerto carga

Figura 9. Mapa de procesos en la etapa del ciclo de vida *obtención de materias primas*.

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

Manufactura y almacenamiento de la tubería:

Se contemplaron los siguientes procesos o actividades:

- Consumo de energía eléctrica y aceite lubricante en las máquinas y equipos necesarios para la manufactura del producto.
- Consumo de gas licuado de petróleo de los montacargas que transportan el producto terminado desde la sala de producción hasta el patio de almacenamiento de la empresa.

En la figura 10 se muestra un diagrama general del proceso de fabricación.

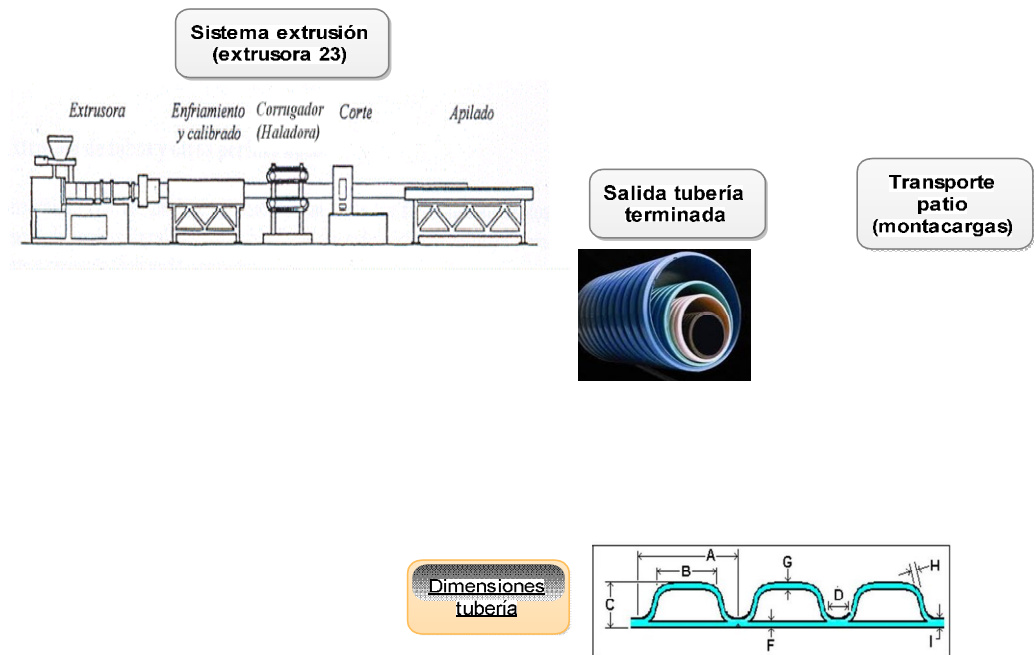


Figura 10. Mapa de procesos en la etapa del ciclo de vida *manufactura y almacenamiento* (ver otras particularidades del proceso, características y dimensiones de la tubería final en el anexo 1). Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

Distribución y venta al cliente:

Se contemplaron los siguientes procesos o actividades:

- Transporte terrestre del producto terminado desde el patio de almacenamiento en la empresa hasta los clientes en Panamá, Guatemala y México.

En la figura 11 se muestra un diagrama general de estos procesos.

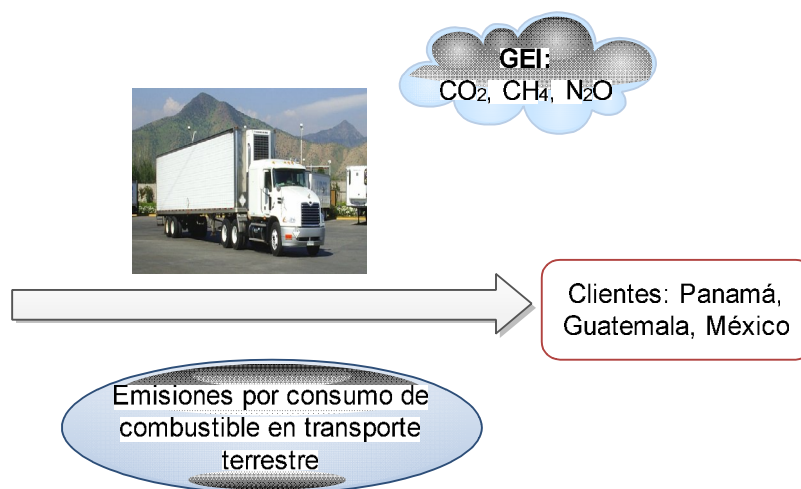


Figura 11. Mapa de procesos en la etapa del ciclo de vida *distribución/venta al cliente*.

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

4.3. Variables del proyecto

Las variables del estudio y las unidades de medición según etapa del ciclo de vida y proceso involucrado, se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Variables y procesos involucrados en la evaluación de emisiones según etapa del ciclo de vida.

Etapa ciclo vida	Proceso	Variable	Unidad medida
Obtención de materias primas	Transporte marítimo	Consumo de combustible del buque por tonelada de tubería producida	$\text{Ton}_{\text{comb}}/\text{ton}_{\text{prod}}$
	Transporte terrestre	Consumo de combustible del furgón por tonelada de tubería producida	$\text{Litros}_{\text{comb}}/\text{ton}_{\text{prod}}$
Manufactura Almacenamiento	Mezclado	Energía eléctrica consumida por tonelada de tubería producida	$\text{Kilowatt-hora}/\text{ton}_{\text{prod}}$
	Línea de extrusión 23		
	Molino (reproceso)		
	Sistema enfriamiento con agua, secadores y aire comprimido	Aceite consumido por tonelada de tubería producida	$\text{litros aceite}/\text{ton}_{\text{prod}}$
	Sistema lubricación		
	Sistema iluminación		
	Montacargas	Consumo GLP por tonelada de tubería producida	$\text{Litros GLP}/\text{ton}_{\text{prod}}$
Distribución/venta cliente	Transporte terrestre	Consumo de combustible del furgón por tonelada de tubería producida	$\text{Litros}_{\text{comb}}/\text{ton}_{\text{prod}}$

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

4.4. Recolección de información y métodos de cuantificación

A continuación se describe la metodología que se empleó para recopilar la información en cada uno de los procesos o actividades seleccionados en las etapas del ciclo de vida.

En este proyecto no se realizó un análisis de incertidumbre. No obstante, para tratar de trabajar con la menor incertidumbre posible se siguieron las siguientes pautas: se utilizaron datos primarios en vez de secundarios siempre que fue posible; y se utilizaron

factores de emisión de carbono adaptados a Costa Rica siempre que el análisis lo permitiera.

4.4.1. Transporte marítimo de materias primas

Para las materias primas en análisis se recopiló información de la mayoría de movimientos de contenedores realizados durante el año 2012, específicamente hasta octubre. Parte de la información fue entregada en tablas de Microsoft Excel vía correo electrónico y mediante llamadas por teléfono por la empresa encargada de controlar los movimientos marítimos. También se tuvo que visitar el departamento de compras de Durman, ubicado en Tibás de San José, para buscar registros en los documentos archivados. Se solicitó información sobre los nombres de las embarcaciones, la naviera a la cual pertenecen, las fechas de carga y descarga, las cantidades transportadas, entre otros.

También se utilizó una herramienta de acceso on-line para calcular las distancias desde los respectivos puertos de carga hasta el puerto de descarga en Limón. Este calculador de distancias se denomina *Portworld Distance Calculator*. Además, para cada uno de los barcos que realizaron los transportes se consultó en la web su dato de tonelaje bruto (GT) y velocidad promedio de viaje. Toda esta información se tabuló de forma adecuada.

4.4.2. Transporte terrestre de materias primas

Se tuvo contacto vía correo electrónico y mediante llamadas telefónicas con el personal de la empresa contratada para realizar los transportes terrestres, y así se conocieron datos sobre consumo de combustible por viaje, modelo de los furgones utilizados, cantidades transportadas por furgón, distancia y duración de recorrido. Dicha información se tabuló adecuadamente.

4.4.3. Consumo de electricidad en la producción

El consumo eléctrico de cada una de las máquinas involucradas en el proceso de producción se midió con el equipo *Fluke 1735 Three-Phase Power Logger* (ver

especificaciones del equipo en el anexo 2). La cuantificación la realizó personal del departamento de mantenimiento de la empresa durante un periodo base de producción de la tubería y en tiempos iguales para cada máquina. Los resultados fueron debidamente tabulados.

Se descargaron los datos de energía consumida en una computadora mediante el software Power Log, especializado para leer datos del equipo. Se analizaron los datos específicos que el equipo arrojó, los cuales son mostrados durante cada minuto de medición y manipulados estadísticamente. Se tomaron las fechas y horas exactas de medición y los valores promedio.

4.4.4. Consumo de aceite lubricante en la producción

El consumo de aceite en el proceso se estimó a partir del indicador mensual (litros aceite/toneladas producidas globales) que el departamento de extrusión controla mes a mes. Se tomaron los registros mensuales desde setiembre del 2011 hasta setiembre de 2012. La información fue tabulada adecuadamente.

4.4.5. Consumo de GLP de los montacargas para almacenar producto terminado

Se consultó al almacén de suministros y al personal de mantenimiento de los montacargas de la empresa datos de peso del cilindro de GLP y tiempo que tarda en consumirse. También se investigó en internet sobre el volumen de gas que puede contener un cilindro de determinado peso en condiciones normales de presión y temperatura. Los datos fueron descritos adecuadamente.

4.4.6. Transporte terrestre de producto terminado

Se contactó vía correo electrónico y mediante llamadas telefónicas al personal del departamento de venta y logística de Durman, y a la empresa contratada para realizar transportes en furgones diesel; así se conocieron datos sobre cantidades vendidas de tubería, ubicación de los clientes, cantidades transportadas por furgón, consumo de combustible por viaje, modelo de los furgones, distancia y duración del recorrido. La información fue tabulada adecuadamente.

4.5. Cálculo de la huella

Para calcular la huella de carbono se utilizó la ecuación general del cálculo de la huella de carbono (ecuación 1), modificada según la variable analizada en la evaluación de emisiones de GEI (cuadro 3).

$$\text{Huella de carbono} = \text{Variable} \times \text{Factor emisión} \quad \text{Ecuación 1}$$

Una vez que las emisiones de GEI fueron calculadas para cada variable, se convirtieron a CO₂ equivalente usando el factor de potencial de calentamiento global (GWP) según el cuadro 4 y aplicando la ecuación 2. Los resultados fueron tabulados adecuadamente.

Cuadro 4. Potencial de Calentamiento Global.

GEI	Potencial de calentamiento global
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional.

$$m \text{ CO}_2 \text{ equivalente} = m \text{ CO}_2 \times 1 + m \text{ CH}_4 \times 21 + m \text{ N}_2\text{O} \times 310 \quad \text{Ecuación 2}$$

Para calcular la huella relacionada con el consumo de diesel en transporte terrestre, consumo de electricidad y consumo de GLP se utilizaron los factores de emisión disponibles para Costa Rica reportados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en el documento: “Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (2011)”.

Para el caso del transporte marítimo y consumo de aceite lubricante no existen factores de emisión para Costa Rica, por lo tanto se utilizaron bases metodológicas de las directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de GEI. En el primer caso se siguieron las recomendaciones descritas en el apartado de navegación marítima y fluvial (volumen II: energía, capítulo 3: combustión móvil). En el segundo caso se siguieron las recomendaciones descritas en el apartado de uso de lubricantes (volumen III: procesos industriales y uso de productos, capítulo 5: uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes); en el apartado de introducción (volumen II: energía); y en el apartado de combustión estacionaria (volumen II: energía).

Para la estimación de las emisiones marítimas se aplicaron las metodologías propuestas por EMEP/Corinair: “consumo de combustible” y “desplazamiento de embarcaciones” (IPCC, 2006). Las directrices de la IPCC 2006 en su apartado de combustión móvil: navegación marítima y fluvial, recomiendan emplear estos métodos los cuales se basan en el tipo de barco, potencias de los motores (principales y auxiliares) y desplazamiento del mismo (distancia y velocidad en el trayecto). En general, el proceso empleado para calcular el consumo aproximado de combustible y tiempo de recorrido de los buques fue el siguiente:

- a. Se consideró que los motores de los buques operan a potencia total y se aplicó la ecuación disponible para calcular el consumo promedio de combustible⁵, como función del arqueo bruto (tonelaje bruto⁶) promedio de los buques contenedores:

$$\text{Tasa consumo combustible} \left(\frac{\text{ton}}{\text{día}} \right) = 8.0552 + (0.00235 \times GT) \quad \text{Ecuación 3}$$

- b. Además, se determinó el tiempo medio de las embarcaciones en realizar sus respectivos recorridos desde los puertos internacionales de carga hasta puerto Limón. El número de días que tardó cada buque se calculó mediante la diferencia entre la fecha de salida (ETD por sus siglas en inglés) del puerto de origen y la fecha de llegada (ETA por sus siglas en inglés) al puerto destino.

4.6. Propuesta de medidas de reducción de GEI

Se propusieron medidas de reducción cuyo periodo de aplicación sea a corto, mediano y largo plazo con base a observaciones realizadas durante la ejecución del proyecto y mediante la investigación de diversas fuentes bibliográficas. Se definió corto plazo como un periodo base de 1 a 2 años, mediano plazo de 2 a 5 años y largo plazo un tiempo de 5 años o más.

⁵ IPCC, 2006. “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” volumen 2. Capítulo 3 – Combustión móvil. Cuadro 3.5.6. Factores de consumo de combustible, potencia total.

⁶ El arqueo es el modo de medir el tamaño de los buques a partir de su volumetría (interior del casco y superestructuras). El tonelaje bruto o gross tonnage (GT) es el volumen total de los espacios de un buque, excepto algunos espacios mínimos excluidos por reglamento. En contraparte, el tonelaje neto o net tonnage (NT) sólo contabiliza los espacios utilizables y destinados para el cargamento (espacio para pasajeros, bodega de máquinas, cámara de combustible, entre otros). El volumen se mide en tonelada Moorson que equivalen a 100 pie³ (2,83 m³).

5. Resultados y discusión

La escogencia de la tubería PVC de doble pared, diámetro nominal 42 pulgadas, se basó en recomendaciones técnicas del departamento de extrusión de la empresa. Este es uno de los productos del stock de Durman que posee registros más actuales y de primera mano, ya que se trata de una línea que inició su producción en el año 2012.

Sin embargo, a pesar de poseer estas ventajas la información recopilada no fue suficiente para evaluar la cadena de suministro completa. Para elaborar una evaluación de la huella de carbono lo más adecuada posible se eligieron las tres primeras etapas del ciclo de vida: obtención de materias primas, manufactura/almacenamiento y distribución/venta. En las etapas posteriores: uso del consumidor y disposición-reciclaje, la empresa no realiza ningún tipo de control y por lo tanto fue muy difícil adquirir la información necesaria para cuantificar las emisiones en estos puntos. En otras palabras, el alcance que tuvo la cuantificación de emisiones de GEI se basó en la información que se pudo recolectar y en las consultas realizadas a los encargados de las distintas partes involucradas.

Dentro de las etapas mencionadas del ciclo de vida se seleccionaron las fuentes de emisión cuya información disponible fue lo más completa y confiable posible. Por ende, la cuantificación de emisiones se llevó a cabo en las actividades de consumo de combustible para transporte de materias primas y producto terminado; así como en el consumo de electricidad, aceite, agua y gas licuado de petróleo para manufactura y almacenamiento del producto.

Las etapas del ciclo de vida y los procesos involucrados se enfocaron en un análisis “*de la cuna a la puerta*”. Este inventario “*cradle to gate*”, también conocido como *B2B (business to business)*, es un registro parcial que incluye emisiones de GEI en el ciclo de vida de un producto desde el comienzo del ciclo de vida hasta el punto de distribución al consumidor, incluyendo las emisiones de procesos controlados por la empresa que reporta (PAS 2050, 2011).

Seguidamente se describe la información recopilada y los resultados de CO₂e emitido en cada uno de los procesos analizados.

5.1. Emisiones por obtención de materias primas

Las materias primas necesarias para la fabricación provienen de diferentes empresas proveedoras en Estados Unidos, Canadá y Ucrania. El nombre de la materia prima, proveedor y puerto de carga de los contenedores se detallan en el anexo 3.

5.1.1. Emisiones por transporte marítimo de materias primas

Las emisiones marítimas se calcularon en sentido de ida, es decir, no se consideró el retorno con los contenedores vacíos. Además, no fue posible tener acceso a información más específica que permitiera un análisis más completo, que debería incluir datos específicos de consumos energéticos en el transporte desde la empresa proveedora hasta los respectivos puertos de carga, infraestructura de los puertos de origen y destino de la mercancía, y movimientos de grúas de carga y descarga (Benedito & Rúa, 2012).

En el cuadro 5 se muestra el resumen de los movimientos marítimos de materia prima. Se indicó, por tipo de materia prima, lo siguiente: el número de buques o movimientos analizados, la cantidad total que se transportó, la cantidad promedio transportada por buque (dividiendo las cantidades anteriores), el número total de contenedores movidos especificando el tamaño del mismo, y la cantidad transportada por contenedor (dividiendo la cantidad transportada total por el número de contenedores).

Cuadro 5. Número de buques analizados y cantidades transportadas de materias primas en el año 2012.

Materia prima	Número buques analizados	Cantidad transportada total (kg)	Cantidad transportada buque (kg)	Número total y tamaño contenedores	Cantidad transportada contenedor (kg)
Durastrength D320	13	365.082,52	28.083,27	20 FEU	18.254,13
Acrostab t-5003	3	24.010,56	8.003,52	1 FEU, 2 TEU	8.003,52
Estearato calcio FN	6	90.151,32	15.025,22	6 FEU	15.025,22
Parafina D08	2	55.113,00	27.556,50	3 FEU	18.371,00
Plastistrength P550	5	67.782,00	13.556,40	3 FEU, 2 TEU	13.556,40
Polietileno AC 629A	1	18.371,00	18.371,00	1 FEU	18.371,00
Carbonato calcio FT D07	10	520.506,00	52.050,60	27 FEU	19.278,00
Dióxido de titanio D38	9	180.000,00	20.000,00	9 TEU	20.000,00
Resina PVC extrusion	34	11.409.404,00	335.570,21	564 FEU	20.229,44
Total	83	-	518.216,72	Promedio	16.787,63

Fuente: Econocaribe Consolidators Inc. y Departamento Compras Durman Costa Rica.

En el anexo 4 se colocó el cuadro completo, el cual detalla cada uno de los movimientos de forma individual de acuerdo al nombre de la naviera, el buque transportista, la fecha de salida y llegada de cada barco, el número de contenedores y la cantidad transportada. Por su parte, los datos del tonelaje bruto (GT) de cada embarcación, su velocidad promedio de viaje y las distancias puerto de carga al puerto de descarga se muestran en el anexo 5. En el cuadro 6 se muestra el cálculo específico de consumo de combustible promedio (en toneladas por día) para una sola materia prima (Durastrength D320). En el cuadro 7 se muestra el tiempo estimado de recorrido de las embarcaciones (en días) para la misma materia prima.

Cuadro 6. Consumo de combustible (ton/día) para las embarcaciones que transportan la materia prima Durastrength D320.

Nombre embarcación	Muestra cálculo (factor GT ecuación 3)	Tasa consumo combustible (ton/día)
Stardt Rotenburg V. 77	9.528,00	30,45
Stardt Rotenburg V. 79	9.528,00	30,45
Pacifica Voyager V. 187	25.637,00	68,30
Pacifica Voyager V. 191	25.637,00	68,30
Iller Trader V. 02	9.981,00	31,51
Iller Trader V. 03	9.981,00	31,51
Merwe Trader V. 45	9.981,00	31,51
Vega Pollux V. 08	9.981,00	31,51
Maerks Wolfsburg	18.123,00	50,64
Maerks Winnipeg V. 1206	18.123,00	50,64
Ocean Emerald V. 1206	18.123,00	50,64
Ocean Emerald V. 1208	18.123,00	50,64
Ocean Emerald V. 1206	18.123,00	50,64
Consumo promedio		44,37

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

Cuadro 7. Tiempo promedio recorrido (días) para las embarcaciones que transportan la materia prima Durastrength D320.

Nombre embarcación	ETD-ETA	Tiempo recorrido (días)
Stardt Rotenburg V. 77	(07/08/2012) – (20/08/2012)	13
Stardt Rotenburg V. 79	(21/08/2012) – (03/09/2012)	13
Pacifica Voyager V. 187	(13/09/2012) – (24/09/2012)	11
Pacifica Voyager V. 191	(10/10/2012) – (22/10/2012)	12
Iller Trader V. 02	(24/02/2012) – (28/02/2012)	4
Iller Trader V. 03	(16/03/2012) – (22/03/2012)	6
Merwe Trader V. 45	(10/08/2012) – (14/08/2012)	4
Vega Pollux V. 08	(05/10/2012) – (08/10/2012)	3
Maerks Wolfsburg	(20/02/2012) – (07/03/2012)	16
Maerks Winnipeg V. 1206	(27/02/2012) – (16/03/2012)	18
Ocean Emerald V. 1206	(05/03/2012) – (23/03/2012)	18
Ocean Emerald V. 1208	(01/04/2012) – (18/04/2012)	17
Ocean Emerald V. 1206	(01/04/2012) – (18/04/2012)	17
Promedio		11,69

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

En el cuadro 8 se resumen los resultados para el transporte de toda las materias primas. Los resultados individuales para cada embarcación se muestran en el anexo 6.

Cuadro 8. Consumo de combustible promedio como función del GT y tiempo promedio de recorrido para el transporte de cada materia prima.

Materia prima	Tasa consumo combustible (ton/día)	Tiempo recorrido (días)	Consumo combustible (ton)
Durastronght D320	44,37	11,69	518,69
Acrostab t-5003	42,76	10,33	441,71
Estearato de calcio FN	45,13	9,67	436,41
Parafina D08	49,96	6,50	324,74
Plastistrength P550	39,79	11,00	437,69
Polietileno AC 629 ^a	31,55	4,00	126,20
Resina PVC extrusión	54,10	6,15	332,72
Dióxido de titanio D38	72,56	45,00	3.265,20
Carbonato de calcio FT	42,80	7,8	333,84
Total			6.217,20

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

De esta forma, el consumo total de combustible de los buques para transportar todas las materias primas desde los respectivos puertos de carga hasta puerto Limón es de 6,22 *ton*. Esta cantidad se dividió por las 518,22 toneladas de materia prima totales obtenidas por transporte marítimo desde los puertos de descarga hasta puerto Limón (cuadro 5). Además, se sabe que aproximadamente el 87% de las materias primas sale como producto terminado (ver anexo 7). Por ende, el consumo de combustible en relación con las toneladas producidas es:

$$\frac{6.217,20 \text{ ton}_{comb}}{518,22 \text{ ton}_{materia\ prima}} \times 0,87 = 10,44 \frac{\text{ton}_{comb}}{\text{ton}_{prod}}$$

Según la metodología EMEP/Corinair se utilizaron los factores de emisión para el CO₂, CH₄ y N₂O proporcionados por los siguientes autores: Lloyd's Register (1995), IPCC (1997) y Cooper (1996), cuyos valores son 3.170,00 kg/ton combustible, 0,05 kg/ton

combustible y 0,08 kg/ton combustible respectivamente. Luego, al multiplicar el consumo de combustible por tonelada producida por su respectivo factor de emisión se obtienen los resultados mostrados en el cuadro 9:

Cuadro 9. Huella de carbono relacionada con el transporte marítimo de materia prima desde los puertos de carga hasta puerto Limón.

GEI	Emisión individual (ton GEI/ton_{prod})
CO ₂	33,09
CH ₄	5,22x10 ⁻⁴
N ₂ O	8,35x10 ⁻⁴
Emisión equivalente (ton CO₂e/ton_{prod})	33,36

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

5.1.2. Emisiones por transporte terrestre de materias primas

En este trayecto se emplean camiones de diesel. Cada vehículo consume aproximadamente un total de 165 litros por viaje (ida y vuelta) y transporta los contenedores de tamaño y cantidad de materia especificadas en el anexo 5. Cada camión mueve un único contenedor por viaje. La distancia aproximada de ida es de 175 kilómetros con una duración aproximada de 3.5 horas. Los camiones que realizan los movimientos son los siguientes modelos: Kenworth T600 Y T2000, Freightliner FLD120 e International 9200. La antigüedad de la flota es del año 1999.

En general, la fórmula de consumo de combustible que utiliza la compañía es de aproximadamente un litro por cada dos kilómetros recorridos. Cada materia prima se descarga en contenedores diferentes y se transporta por separado. Se requieren entonces nueve sub-viajes (uno por cada contenedor de materia prima) para transportar todo el lote necesario para la fabricación.

A partir del cuadro 5 se sabe que la cantidad promedio de materia prima transportada por contenedor es de 16,79 ton de la materia prima por contenedor. Además, se sabe que el 87% de las materias primas sale como producto terminado (ver anexo 7). Por consiguiente, el consumo de diesel en relación con las toneladas producidas es:

$$\frac{165 \text{ l}_{diesel}}{16,79 \text{ ton}_{materia\ prima}} \times (9 \text{ sub viajes}) \times 0,87 = 76,95 \frac{\text{l}_{diesel}}{\text{ton}_{prod}}$$

Se utilizaron los factores de emisión propuestos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2011) para los GEI involucrados. Estos son:

- 2,69 Kg CO₂/l diesel
- 0,1416 g CH₄/l diesel
- 0,1416 g N₂O/l diesel

Se aplicó la *Ecuación 1* y la *Ecuación 2*, el resultado de la huella se muestra en el cuadro 10.

Cuadro 10. Huella de carbono relacionada con el transporte terrestre de materia prima desde Puerto Limón hasta Durman Esquivel.

GEI	Emisión individual (ton GEI/ton _{prod})
CO ₂	0,207
CH ₄	1,09x10 ⁻⁵
N ₂ O	1,09x10 ⁻⁵
Emisión equivalente (ton CO₂e/ton_{prod})	0,211

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

5.2. Emisiones por manufactura y almacenamiento

5.2.1. Emisiones por consumo de electricidad

Los resultados de las mediciones de consumos en las máquinas de proceso se detallan en el cuadro 11. En el anexo 10 se detalla la fecha y hora exacta de los periodos de medición según datos arrojados por el equipo *Fluke*. Las mediciones se realizaron durante distintas tandas de fabricación de tubería. Estas no siguen un orden cronológico previamente definido (fechas variables) y los periodos de medición no son constantes en cada máquina, debido a que el equipo de medición no estuvo disponible todo el tiempo. Este sufrió desperfectos entre tandas y se tuvieron que detener las mediciones hasta esperar su reparación. Además, durante la producción de los lotes en los que se realizaron las mediciones hubo problemas técnicos en el equipo de extrusión y las

tuberías finales no adquirirían la calidad deseada, por lo que se dieron paros constantes de producción y atrasos en ese sentido.

Cuadro 11. Energía consumida (kilowatts-hora) por las máquinas involucradas en el proceso de producción de TDP 42”.

Máquina	Tiempo medición (horas: minutos: segundos)	Energía consumida promedio por hora (kWh)
Mezclador caccia	05:59:50	470,070
Bomba pequeña vacío (hacia E-23)	01:11:58	0,264
Bomba grande vacío (hacia E-23)	00:49:57	11,040
Bomba sistema carga (tolva E-23)	01:10:09	4,596
Cañón extrusión	71:58:00	1.218,930
Cabezal	49:01:00	303,107
Corrugador 3030	00:10:50	4,282
Chiller	00:19:47	0,675
Bomba sumergible	00:15:23	0,0356
Bomba agua 1	00:32:56	2,420
Bomba agua 2	00:17:11	0,1934
Sierra 3030	00:14:02	0,1907
Molino 2	01:00:56	11,344
Sistema iluminación (10 lámparas tipo METALARC 0,400 kWh c/u)		4,000
Total consumido (kWh)		2.031,15

Fuente: mediciones realizadas por el departamento de mantenimiento, Durman Costa Rica.

Se pudo observar que se utilizaron tiempos de medición muy variables, desde lapsos cercanos o menores a una hora (caso 1) hasta incluso varios días de medición (caso 2), debido a los problemas que se discutieron anteriormente.

En el primer caso las mediciones fueron realizadas en puntos donde se tuvo certeza que la producción de tubería arrancó o estuvo en caliente. Es decir, se llevaron a cabo una vez que ya habían pasado las pruebas previas que se realizan cotidianamente y que aseguran la calidad del lote de producción según estándares definidos por el departamento de producción y satisfacción del cliente. Aún así las mediciones no se realizaron en tiempos iguales debido a que, como se ha venido mencionado, la poca disponibilidad del equipo no permitió definir una metodología de medición óptima. Por

lo tanto, los periodos de tiempo mostrados fueron escogidos a criterio del personal que realizó las mediciones.

El segundo caso correspondió a mediciones donde el equipo se dejó cuantificando esa cantidad de días a la espera de que la producción se estabilizara, ya que no se podía asegurar con certeza cuándo sucedería. Durante todo ese periodo se registraron tanto, valores picos constantes (producción estable), como valores medios y bajos muy fluctuantes debido a los paros de producción y arranques en frío durante pruebas previas.

La distribución porcentual de los consumos se observa en la figura 12.

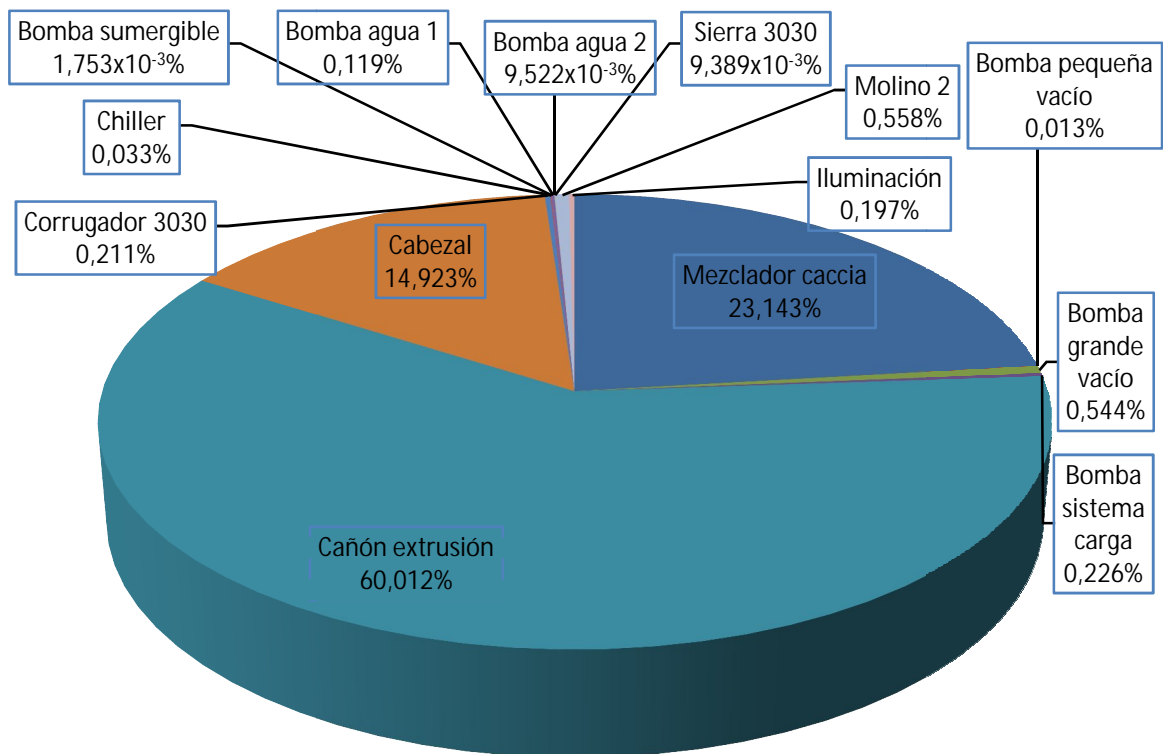


Figura 12. Distribución porcentual de consumo eléctrico en las máquinas. Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

Como se observa en la figura 12, el cañón de extrusión, el mezclador caccia y el cabezal son los equipos de mayor consumo con un 60%, 23% y 15% respectivamente, para un

total aproximado del 98% del consumo. La bomba grande de vacío y el molino 2 consumen aproximadamente un 1%, mientras que los demás se reparten el 1% restante.

El consumo de electricidad total fue de 2.031,15 kWh. Se tomó como base la tanda de producción base de 53,976 ton de peso real de tubería (anexo 7). Al dividir estas cantidades se obtuvo un consumo eléctrico con relación a las toneladas producidas, tal y como se muestra a continuación:

$$\frac{2.031,148 \text{ kWh}}{53,976 \text{ ton}_{prod}} = 37,63 \text{ kWh/ton}_{prod}$$

Se empleó el factor de emisión del Instituto Meteorológico Nacional para el sector electricidad del año 2011 (IMN, 2011) expresado como masa de dióxido de carbono equivalente por unidad de consumo (0,0824 kg CO₂ e/kWh). Es por ello que la emisión por tonelada producida se calculó tal y como se muestra:

$$37,631 \frac{\text{kWh}}{\text{ton}_{prod}} \times 0,0824 \frac{\text{kg CO}_2 e}{\text{kWh}} = 3,10 \times 10^{-3} \text{ ton CO}_2 e/\text{ton}_{prod}$$

5.2.2. Emisiones por consumo de aceite lubricante

El consumo de aceite en la producción se registra en la empresa como un indicador que se empezó a cuantificar desde febrero del año 2008. En el cuadro 12 se muestran los registros mensuales para un año base, desde setiembre del 2011 hasta setiembre del 2012. Estos corresponden a un consumo global en todas las líneas de producción del área de extrusión con respecto a todas las toneladas de productos elaborados durante su respectivo mes.

Cuadro 12. Históricos de consumo de aceite en el departamento de extrusión de Durman Costa Rica para un año base.

Mes	Año	Consumo aceite (l/ton)
Setiembre	2011	0,227
Octubre		0,076
Noviembre		0,341
Diciembre		0,189
Enero	2012	0,151
Febrero		0,151
Marzo		0,151
Abril		0,265
Mayo		0,114
Junio		0,189
Julio		0,341
Agosto		0,076
Setiembre		0,076
Consumo promedio (l/ton)		

Fuente: Departamento de extrusión, Durman Costa Rica.

Para poder estimar el consumo de aceite durante la producción de la tubería estudiada se hizo una relación entre la cantidad de producto terminado correspondiente al mes de julio del año 2012, que fue de 53,976 toneladas de peso real (anexo 7), y la cantidad de producto terminado para el mismo mes y año en todas las líneas de producción del área de extrusión, que fue de 1.311,389 toneladas de peso real según el departamento de extrusión de Durman Costa Rica.

Por lo tanto, se determinó que la producción de la tubería analizada representó un 4,11% de la producción global. Así, se utilizó este porcentaje para estimar el consumo de aceite en la línea de producción de la tubería. El resultado fue el siguiente:

$$0,181 \frac{l}{ton_{prod}} \times 0,0411 = 7,44 \times 10^{-3} \frac{l}{ton_{prod}}$$

Se partió del supuesto que toda la cantidad de lubricantes que se perdieron durante el uso sufren combustión completa. Es decir, se consideró que el factor de oxidación durante el uso (ODU) es de 100% por lo que no hay almacenamiento a largo plazo de carbono bajo la forma de ceniza o de residuos posteriores a la combustión. En otras palabras, no se cuantificó la fracción parcialmente oxidada que se emite primero como COVDM y CO producto de la combustión incompleta.⁷

Se utilizaron los factores de emisión propuestos por el IPCC para industrias manufactureras y de la construcción. La empresa se ubica en la categoría de manufactura de productos plásticos según el código 2220 de la revisión 4 del ISIC (International Standard Industrial Classification).

Se tomaron los siguientes factores de emisión⁸:

- 73.300,00 Kg CO₂/TJ lubricante
- 3,00 Kg CH₄/TJ lubricante
- 0,60 Kg N₂O/TJ lubricante

Fue necesario convertir el dato de consumo de volumen a unidades energéticas (terajulio), tomando en cuenta la densidad (910 kg/m³) y el valor calórico neto (VCN) o poder calorífico inferior (PCI) del lubricante⁹ (40,2 TJ/Gg):

$$7,44 \times 10^{-3} \frac{l_{aceite}}{ton_{prod}} \times 9,1 \times 10^{-7} \frac{Gg_{aceite}}{l_{aceite}} \times \frac{40,2 TJ}{Gg_{aceite}} = 2,72 \times 10^{-7} \frac{TJ}{ton_{prod}}$$

⁷ IPCC, 2006. “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” volumen 3. Capítulo 5 – Uso de lubricantes. Procesos industriales y uso de productos. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes.

⁸ IPCC, 2006. “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” volumen 2. Capítulo 2 – Combustión estacionaria. Cuadro 2.3.

⁹ IPCC, 2006. “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero” volumen 2. Capítulo 1 – Introducción. Cuadro 1.2.

Se aplicó la *Ecuación 1* y la *Ecuación 2*, el resultado de la huella se muestra en el cuadro 13.

Cuadro 13. Huella de carbono del consumo de aceite en la línea de extrusión 23 durante la producción de la tubería.

GEI	Emisión individual (ton GEI/ton _{prod})
CO ₂	1,99x10 ⁻⁵
CH ₄	8,16x10 ⁻¹⁰
N ₂ O	1,63x10 ⁻¹⁰
Emisión equivalente (ton CO₂e/ ton_{prod})	2,00x10⁻⁵

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

5.2.3. Emisiones por consumo de gas licuado de petróleo

El consumo de GLP en el proceso de producción es debido al transporte de producto terminado desde el área de extrusión 23 hasta el patio trasero de la empresa. Este se realiza por medio de montacargas que utilizan un cilindro de 35 libras. Un cilindro con este peso contiene 29,81 litros a temperatura ambiente (SEIC, 2012); y 29,13 litros considerando una densidad de 545 kg/m³ a 15°C y una presión de vapor de 126 psi (870 kPa) a 37°C (Leiva et al, 2003). Según información brindada por el almacén de suministros de Durman Costa Rica, para consumir el cilindro completo un montacargas debe pasar encendido sin interrupciones aproximadamente ocho horas.

Se asumió que los montacargas transportan tuberías terminadas sin interrupciones para los periodos de ocho horas. Por ende, considerando un contenido promedio del cilindro de 29,47 litros se obtiene un consumo aproximado de 3,684 litros/hora; y se sabe que el ritmo de producción es de tres unidades de tubería ó 0,936 toneladas de peso real por hora (anexo 7).

Por lo tanto:

$$3,684 \frac{l}{hr} \times \frac{1 hr}{0,936 ton_{prod}} = 3,94 \frac{l}{ton_{prod}}$$

Se utilizaron los factores de emisión propuestos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2011) para los GEI involucrados. Estos son:

- 1,61 Kg CO₂/L GLP
- 1,5835 g CH₄/L GLP
- 0,0051 g N₂O/L GLP

Se aplicó la *Ecuación 1* y la *Ecuación 2*, el resultado de la huella se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14. Huella de carbono del transporte terrestre de producto terminado en montacargas.

GEI	Emisión individual (ton GEI/ton _{prod})
CO ₂	6,34x10 ⁻³
CH ₄	6,24x10 ⁻⁶
N ₂ O	2,01x10 ⁻⁸
Emisión equivalente (ton CO₂e/ton_{prod})	6,48x10⁻³

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

5.3. Emisiones por distribución y venta al cliente

5.3.1. Emisiones por transporte terrestre de producto terminado

En el cuadro 15 se muestran las cantidades de tubería que se vendieron en el año 2012 según el país destino. Por cuestiones de confidencialidad no se indicó el nombre del cliente, sólo su lugar de origen. El número de exportación hace referencia a las facturas del movimiento. Un furgón tiene la capacidad movilizar hasta un máximo de ocho tuberías.

Cuadro 15. Cantidad de TDP 42” distribuida y entregada al cliente durante el año 2012.

N° exportación	Fecha de contabilidad	Unidades de tubería	País destino/cliente
1	14/08/2012	8	Panamá
2	14/08/2012	8	
3	16/08/2012	8	
4	16/08/2012	8	
5	22/08/2012	8	
6	12/09/2012	8	
7	24/10/2012	8	
8	05/11/2012	8	
9	05/11/2012	8	
10	06/11/2012	8	
11	06/11/2012	4	
12	07/11/2012	8	
13	12/11/2012	8	
14	13/11/2012	8	
15	16/11/2012	4	
16	22/11/2012	4	
Suma		116 unidades	36,192 ton (peso real)
Promedio por exportación		7,25 unidades	2,262 ton (peso real)
1	23/08/2012	8	Guatemala
2	23/08/2012	7	
3	11/10/2012	8	
Suma		23 unidades	7,176 ton (peso real)
Promedio por exportación		7,67 unidades	2,393 ton (peso real)
1	20/09/2012	8	México (Querétaro)
2	21/09/2012	8	
3	25/09/2012	8	
4	25/09/2012	8	
5	26/09/2012	8	
6	26/09/2012	8	
Suma		48 unidades	14,976 ton (peso real)
Promedio por exportación		8 unidades	2,496 ton (peso real)
SUMA TOTAL		187 unidades	58,344 ton (peso real)

Fuente: Departamento de logística, Durman Costa Rica.

Por otro lado, la distancia recorrida y el consumo de combustible de cada exportación se especifican en el cuadro 16. Cabe destacar que se obtuvieron datos aproximados, ya que el rendimiento de cada furgón se ve directamente afectado por variables que no fueron consideradas como: congestión vial, elevaciones y descensos en carretera, marca de los furgones y peso que se le asigna a cada exportación. Esta información fue brindada por el Grupo Tical Holding.

Cuadro 16. Rendimiento estimado de consumo de combustible por distancia recorrida a cada uno de los países de exportación.

Destino	Consumo de combustible (l)	Distancia aproximada ida y vuelta (km)	Rendimiento (l/km)
Panamá	794,94	1800	0,4416
Guatemala	1.135,62	2500	0,4542
México	2.382,83*	5320	0,4479

* Estimado utilizando el promedio de rendimiento de consumo a Panamá y Guatemala (0,4479 l/km).

Fuente: Jefatura Regional de Transporte Internacional Terrestre, Grupo Tical Holding.

Para calcular las emisiones de GEI en este apartado las mismas se separaron por destino de exportación. Por un lado se contabilizaron las emisiones debidas al transporte terrestre hacia Panamá, por el otro las emisiones debidas al transporte terrestre hacia Guatemala, y por último hacia México. Posteriormente, las emisiones hacia los tres destinos se sumaron para obtener un total en este rubro.

Los consumos de diesel indicados en el Cuadro 16 se dividieron por las cantidades promedio producidas que son transportadas por furgón, estas últimas indicadas en el Cuadro 15. Los resultados seguidamente:

$$\begin{aligned}
 \text{Panamá: } & \frac{794,94 \text{ l}}{2,262 \text{ ton}_{prod}} = 351,43 \text{ l}_{diesel}/\text{ton}_{prod} \\
 \text{Guatemala: } & \frac{1.135,62 \text{ l}}{2,393 \text{ ton}_{prod}} = 474,56 \text{ l}_{diesel}/\text{ton}_{prod} \\
 \text{México: } & \frac{2.382,83 \text{ l}}{2,496 \text{ ton}_{prod}} = 954,66 \text{ l}_{diesel}/\text{ton}_{prod}
 \end{aligned}$$

Se utilizaron los factores de emisión propuestos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2011) para los GEI involucrados. Estos son:

- 2,69 Kg CO₂/l diesel
- 0,1416 g CH₄/l diesel
- 0,1416 g N₂O/l diesel

Se aplicó la Ecuación 1 y la Ecuación 2, el resultado de la huella se muestra en el cuadro 17.

Cuadro 17. Huella de carbono relacionada con el transporte terrestre de producto terminado que se entrega al cliente en Panamá, Guatemala y México.

GEI	Emisión individual (ton GEI/ton_{prod}) Panamá	Emisión individual (ton GEI/ton_{prod}) Guatemala	Emisión individual (ton GEI/ton_{prod}) México
CO ₂	0,95	1,28	2,57
CH ₄	4,98x10 ⁻⁵	6,72x10 ⁻⁵	1,35x10 ⁻⁴
N ₂ O	4,98x10 ⁻⁵	6,72x10 ⁻⁵	1,35x10 ⁻⁴
Emisión equivalente (ton CO₂e/ton_{prod})	0,97	1,30	2,61

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

Sumando las emisiones equivalentes debidas a la distribución hacia los tres destinos, se obtuvo un total de 4,88 ton CO₂e/ton_{prod}.

5.4. Emisiones totales

En el cuadro 18 se muestra el resumen de las cantidades de GEI emitidas para cada una de las etapas del ciclo de vida y procesos que se analizaron.

Cuadro 18. Resumen de emisiones de dióxido de carbono equivalente según etapas y sub etapas analizadas.

Etapas	Sub etapa	Emisión (ton CO₂e/ton_{prod})	Porcentaje (%)
Obtención materia prima	Transporte marítimo puertos carga - puerto descarga	33,36	86,74
	Transporte terrestre puerto descarga - planta producción Durman Costa Rica	0,21	0,55
Sub total		33,57	87,29
Manufactura y almacenamiento	Consumo electricidad.	$3,10 \times 10^{-3}$	$8,06 \times 10^{-3}$
	Consumo aceite	$2,00 \times 10^{-5}$	$5,20 \times 10^{-5}$
	Consumo GLP	$6,48 \times 10^{-3}$	$1,68 \times 10^{-2}$
Sub total		$9,60 \times 10^{-3}$	0,02
Distribución y venta al cliente	Transporte terrestre a los destinos de exportación	4,88	12,69
Total		38,46	100

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

En las figuras 13 y 14 se muestran las cantidades anteriores de forma gráfica.

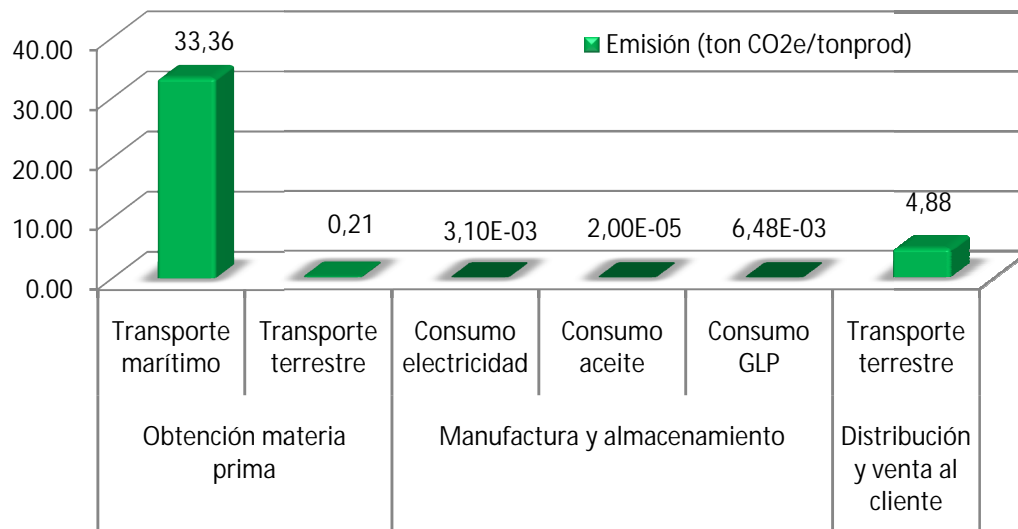


Figura 13. Cantidad de GEI emitida por proceso. Fuente: Barrantes Ariel, 2013

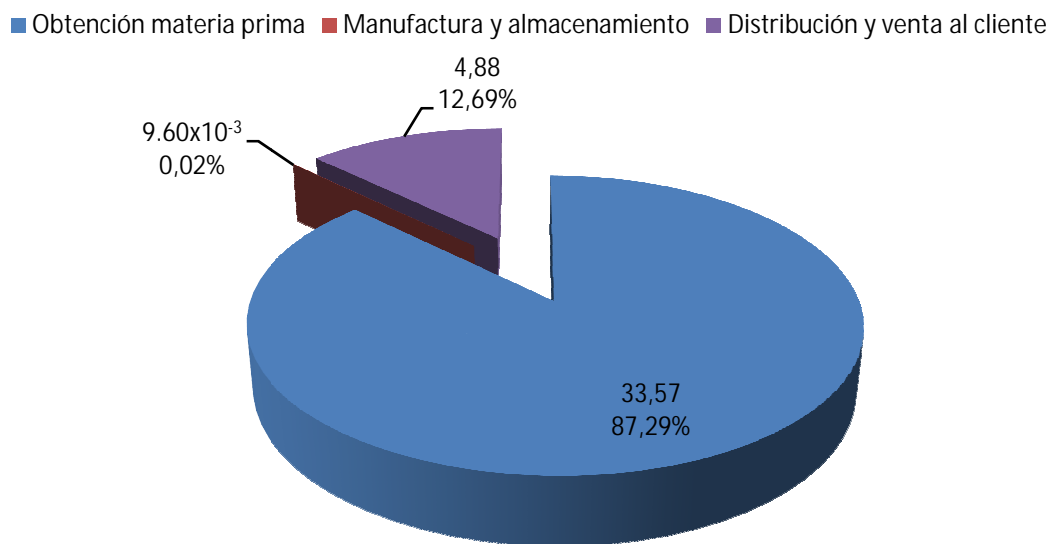


Figura 14. Cantidad de GEI emitida (ton CO₂/ton_{prod}) y distribución porcentual por etapa. Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

5.5. Opciones de reducción

Estas medidas estuvieron enfocadas en la implementación de buenas prácticas para la reducción de consumos y mejorar la eficiencia energética, y en estudiar la posibilidad de incorporar tecnologías más eficientes y fuentes de energía alternativas en la cadena de suministros. Se abarcaron únicamente desde el punto de vista de viabilidad técnica. Además, basándose en investigación de la literatura, en algunos casos se indicó el porcentaje de reducción energético y de emisiones que se lograría al aplicar dichas medidas.

No se consideró, por ejemplo, la factibilidad económica de su implementación ya que no fue parte de los objetivos planteados en este proyecto y hubiera representado un análisis muy amplio sumado al que ya representa la cuantificación de la huella por sí sola. Por consiguiente, es muy importante recalcar que queda a criterio de las partes interesadas analizar sus posibilidades económicas para aplicarlas. En mediciones posteriores de huella de carbono se propone que se incorpore una evaluación económica completa.

5.5.1. En el transporte marítimo de materia prima

La aplicación de soluciones para disminuir la huella de carbono que genera esta actividad no depende directamente de Durman, sino de las navieras como tales. No obstante, debido a que la huella es muy significativa en comparación con otros procesos del ciclo de vida de la tubería, la empresa podría tomar como base este estudio y comunicar a sus proveedores la importancia de centrar esfuerzos en disminuir dichas emisiones.

La Organización Marítima Internacional (IMO por sus siglas inglés) publicó dos informes, uno en el año 2000 (*Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships*) y otro en el año 2009 (*Second IMO GHG Study*), sobre el estudio de GEI en barcos. Los mismos proponen una serie de medidas de reducción.

Según el estudio realizado por la IMO en el 2009 sobre emisiones en medios de transportes marítimos y terrestres de mercancías, los buques contenedores poseen

emisiones intermedias (aproximadamente de 20-40 g CO₂/ton*km) en comparación con otros tipos de embarcaciones, trenes y furgones. Esto se puede apreciar en la figura 15.

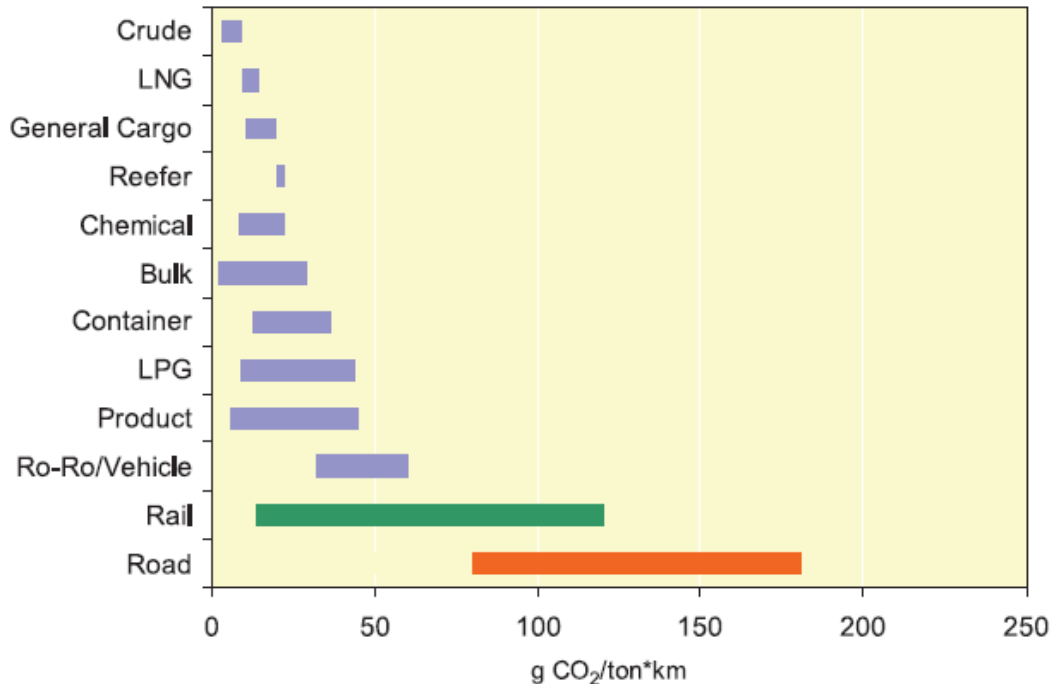


Figura 15. Rangos típicos de eficiencia de CO₂ de barcos comparados con trenes y furgones. Fuente: IMO, 2009.

Debido a que todos los buques de transporte de materia prima analizados en este proyecto son de tipo contenedor, cuyas emisiones aparte de ser altas, son significativas en comparación con otros medios marítimos, se hace aún más importante que los proveedores se hagan responsables de disminuirlas.

Algunas de las medidas planteadas en los reportes de la IMO, y que Durman puede solicitar a las navieras para que apliquen a mediano y/o largo plazo se mencionan a continuación:

- Dar mantenimiento y limpieza al casco del barco.

La aspereza y las incrustaciones en el casco aumentan las pérdidas de energía por fricción y reduce la velocidad que se alcanza a una potencia determinada, propiciando que no se opere con buena eficiencia.

Según reportes de MARINTEK el ensuciamiento del casco puede reducir la velocidad de un buque hasta aproximadamente un 5% entre atraques, por lo que los motores estarían consumiendo energía extra (aproximadamente un 15%) y la resistencia fraccional aumenta hasta en un 20%. Aplicando esta medida las pérdidas medias podrían reducirse, y se estaría ahorrando energía de manera neta en alrededor de un 5%.

Se ha demostrado que usar sistemas de pintura sub-estándar o navegar cuando la vida del sistema de pintura ha terminado, sumado a que un barco debe estar largos periodos en puertos (atracado) y en aguas cálidas, incrementa la aspereza del barco 60µm o más. La aspereza depende de la calidad de manufactura de las placas que están en contacto con el agua (incluyendo cierres y uniones de soldadura). Es muy importante que cuando se aplique el revestimiento este tenga el grosor correcto y se evite la contaminación con polvo o arena durante el proceso.

Por ende, dar mantenimiento y limpieza al casco del barco con un sistema de recubrimiento o pintura de auto-pulido es importante para disminuir la aspereza del mismo, y disminuir la resistencia viscosa cuando está en movimiento. Esto disminuye la demanda de energía en un 3-4% (hasta un 5% en los mejores casos) operando a una velocidad constante. El mantenimiento óptimo del casco puede ahorrar de un 3-5% de combustible y CO₂. Se recomienda que los revestimientos de auto-pulido sean renovados después de cada tres o cinco años dependiendo del rendimiento del casco.

- Dar mantenimiento y limpieza a la hélice del barco.

Se dice que la aspereza de la hélice aumenta el consumo de energía un 3% por reducción de su eficiencia. Se recomienda pulir la hélice cuando la aspereza haya incrementado alrededor de 0,2 mm.

Pulir la superficie de una hélice rugosa disminuye el consumo de combustible, las pérdidas por fricción y las pérdidas rotacionales. El efecto es mayor en hélices con áreas grandes y que funcionan a elevadas tasas de rotación. La aspereza se debe

medir antes y después del pulido. El mantenimiento de la hélice puede ahorrar de un 1-3%, y combinado con un adecuado mantenimiento del casco genera ahorros de un 3-8%.

- Disminuir la potencia de salida de los motores del barco.

La formación de incrustaciones en el combustible debido a desgastes por ajustes y balanceos no óptimos contribuye a la reducción de la potencia del eje y aumenta las pérdidas de calor. La reducción de la presión pico de disparo (chispa) debido a la reducción de la potencia es restaurada al incrementar la tasa de compresión y eventualmente ajustando el tiempo de ignición. Este método es eficiente en los motores más viejos que fueron construidos con una tasa de compresión baja, y por lo tanto tienen un alto potencial para incrementar su eficiencia.

- Disminuir la velocidad de navegación.

Entre mayor sea la velocidad del barco (nudos) se consume más potencia en el frenado (kW), pues se genera mayor resistencia en el casco y a la acción de las olas. La demanda de la energía de propulsión incrementa en más de la tercera potencia de la velocidad; de igual forma el consumo de combustible incrementa aproximadamente de forma proporcional con el cuadrado de la velocidad.

- Prever las condiciones climáticas de enrutamiento mediante sistemas informáticos adecuados.

Las condiciones meteorológicas, las corrientes y condiciones de profundidad durante un viaje afectan la velocidad de un barco. Para ahorrar combustible se deben planear técnicas de ruta con pronósticos del tiempo y mareas seguras.

Es necesario adquirir sistemas informáticos de decisión de rutas, sistemas de monitoreo o sistemas de soporte técnico que combinen la información del barco y pronósticos del tiempo con la salida prevista y la posición del puerto de llegada. También están disponibles a la venta datos de pronósticos del tiempo. Esta medida reduce el tiempo de navegación y/o combustible en un 2-4%.

La parte norte del Océano Atlántico principalmente en invierno afecta con más frecuencia los movimientos de buques. Un estudio realizado por Lo & McCord en 1992, indica que el estudiar las corrientes podría reducir el costo anual de consumo de combustible de flotas comerciales mundiales en el transatlántico y transpacífico por \$80 millones (IMO, 2000).

- Optimizar los parámetros de operación del barco.

Las variaciones de potencia y velocidad durante un viaje comparado con el funcionamiento constante incrementan el consumo de combustible. Mantener las RPM constantes es favorable desde el punto de vista energético, ya que mantendría el consumo total de combustible al mínimo. Se estaría ahorrando de forma estimada un 0,1-2% del consumo de combustible total si se compara con la práctica normal de maniobrar a la velocidad más alta en la primera parte del viaje y luego disminuirla.

- Ahorrar el consumo de energía a bordo del barco.

Se podrían implementar prácticas que conlleven a disminuir el consumo. Aplicar medidas de este tipo permitiría ahorrar un 10% de potencia auxiliar, lo que representaría aproximadamente un 1-2% de ahorro de combustible. Un ejemplo es el mantenimiento óptimo de los motores principales asegurándose que estos operen a la presión más alta posible para que sean más eficientes.

- Instalar sistemas de propulsión complementarios basados en fuentes de energía limpias (viento, sol y olas).

Aprovechar la propulsión que brindan las olas, el viento (velas) y el aprovechamiento de la energía solar a bordo podría ser otra opción interesante como fuente complementaria de energía, sin embargo debe ser analizada cuidadosamente. Por ejemplo, la tecnología de celdas solares actuales permitiría reunir sólo una pequeña fracción de la potencia auxiliar requerida por un buque, incluso si se colocaran celdas fotovoltaicas en toda el área de cubierta. Esto se debe a que no

todo el tiempo y en todas las áreas por donde recorre el buque la radiación solar está por encima de la media.

- Sustituir combustibles actuales por combustibles alternativos (combustibles derivados del aceite, GNL y biocombustibles).

Alrededor del 80% de del consumo mundial de combustibles marinos es de fuelóleos pesados con un contenido de azufre que varía del 2,5-4,5%. Utilizar fuelóleos ligeros en los combustibles, como el diesel marino y el gasóleo en vez de fuelóleos intermedios (IFO 180 e IFO 380) y pesados, reduce las emisiones de CO₂ en un rango del 4-5%.

La tasa carbono/hidrógeno del diesel y el gasóleo es más baja, además de que su contenido de azufre es menor del 1,5% (ver anexo 8). El diesel marino tiene un costo de 110 dólares por tonelada mientras que el fuelóleo residual cuesta 60 dólares por tonelada, de ahí el uso extendido del último. Se debe vigilar el uso de combustibles con alto contenido de azufre; además es necesario reformular procesos o tratamientos para obtener contenidos de azufre bajos o extra bajos (<0,5%).

Según estudios realizados por la IMO un barco con una potencia de motor de 30 MW, con 150 horas de viaje acumulado y una carga del 85% requeriría de 70 a 80 contenedores isotanques de 20 pies llenos de GNL. Comparando dos viajes con las mismas condiciones externas, pero uno utilizando fuelóleo residual y el otro con GNL, en el segundo se estarían emitiendo alrededor de 400 toneladas de CO₂ menos. Este combustible posee más hidrógeno y menos carbono que el diesel marino. Aumenta las cantidades de CH₄ y reduce las emisiones netas de CO₂ en un 15-25%. Su precio es similar al del fuelóleo residual (pesado) y es bastante más barato que los combustibles destilados, haciéndolo factible por ese lado.

Por otra parte, la mezcla de fracciones de biocombustible con diesel marino y/o fuelóleo pesado es factible desde el punto de vista técnico. Sin embargo se debe analizar su compatibilidad, ya que de lo contrario se generarían daños en el motor.

Los biocombustibles han sido mejorados (hidrogenados) en refinerías solucionando muchos de los problemas mencionados anteriormente. También se debe tomar en cuenta las emisiones generadas durante estos procesos de mejoramiento.

5.5.2. En el transporte terrestre de materia prima y producto terminado

A continuación se mencionan las medidas propuestas:

MEDIDAS DE CORTO PLAZO:

- Analizar la posibilidad de sustituir vehículos de más de 10 años de antigüedad por vehículos con motores modernos y más eficientes.
- Instalar dispositivos reductores de velocidad en los vehículos:
 - Económetros e indicadores de cambio de marcha: dispositivos que miden el consumo de consumo de combustible e indican cuándo es más eficiente cambiar a una marcha más larga en términos de consumo.
 - Cuentarrevoluciones ecológico y limitadores de velocidad: evita que se pueda conducir el vehículo a revoluciones excesivas.
 - Ordenador de a bordo: dispositivo que envía información inmediata relativa a su tipo de conducción y a los efectos de esta sobre el consumo de combustible.
 - Sistemas de control de velocidad de crucero: dispositivo que permite mantener la velocidad constante.

Se calcula que utilizando estos dispositivos se ahorra aproximadamente un 5% del combustible (Ecodrive, 2012).

MEDIDAS DE MEDIANO Y/O LARGO PLAZO:

- Invertir en programas de conducción ecológica para generar cambios en los estilos de conducción.

Se recomendó tanto a la Compañía Porteadora del Caribe como al Grupo Tical Holding, en conjunto con Durman, que centren sus esfuerzos en crear programas de conducción ecológica y transporte eficiente dentro de sus flotillas. Por

ejemplo, en Países Bajos se implementó un programa denominado Ecodrive. Su implementación generó ahorros de combustible y dinero del 5% al 15% a largo plazo, además de una reducción media de emisiones del CO₂ del 10% al 15%. (Ecodrive, 2012). A continuación se citan las principales recomendaciones y/o buenas prácticas de conducción que comprende un programa de este tipo:

- Dar mantenimiento preventivo a los vehículos de forma periódica.
- Arrancar el motor sin pisar el acelerador. En los motores diesel se debe esperar unos segundos, a diferencia de los motores gasolina que se debe iniciar la marcha inmediatamente después del arranque.
- Es más eficiente circular en marchas largas a pocas revoluciones por minuto que utilizar marchas cortas durante periodos prolongados de tiempo.
- Se debe mantener una velocidad uniforme en la marcha más larga posible. Si se cambia de marcha a menor velocidad se reduce el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.
- En general, se recomienda cambiar a una marcha superior antes de 2500 rpm y 1500-2000 rpm para vehículos diesel (IDAE, 2012). Se debe desacelerar con la marcha más larga posible y evitar acelerar y frenar bruscamente.
- Conducir a una velocidad constante y moderada evitando los frenazos, aceleraciones y cambios de marcha innecesarios disminuye el consumo de combustible. El aumento se mide en función de la velocidad elevada al cuadrado. Un aumento de velocidad del 20% (pasar por ejemplo de 100 a 120 km/h) significa un aumento del 44% en el consumo (de 8 litros/100 km a 11,5 litros/100 km) (IDAE, 2012).
- Revisar el consumo de combustible periódicamente. Si los datos varían puede haber algún fallo en el vehículo.
- Verificar y mejorar la presión de los neumáticos y verificar el alineado de los mismos. Se recomienda mantener la presión de los neumáticos en 2 bares para evitar sobreconsumos de combustible (IDAE, 2012).

-Cambiar filtros, aceite e inyectores. Se debe elegir el tipo de aceite correcto, de lo contrario se puede aumentar el consumo de combustible hasta un 3% (IDAE, 2012).

-Verificar que el motor de los vehículos esté en buen estado, de lo contrario se puede incrementar el consumo de combustibles hasta en un 9% (IDAE, 2012).

-Optimizar el uso de aire acondicionado. Su uso excesivo puede aumentar hasta un 20% del consumo del combustible. Se recomienda mantener la temperatura interior en 23-24°C (IDAE, 2012).

- Adquirir vehículos que utilicen combustibles alternativos como hidrógeno, biodiesel, bioetanol y GLP.

A manera de ejemplo, un vehículo estándar emite 0,25 kg CO₂e/km, mientras que un coche que utilice este tipo de combustibles emite 0,10 kg CO₂e/km. Existe una reducción del 60% de las emisiones (IDAE, 2012).

5.5.3. En el consumo eléctrico durante la producción

A continuación se mencionan las opciones propuestas:

MEDIDAS DE CORTO PLAZO:

- Aplicar buenas prácticas para el mantenimiento de equipos y máquinas eléctricas involucradas e instalar dispositivos ahorradores de potencia en las máquinas involucradas de mayor consumo. Estos son:

-Revisar que la conexión a tierra de todos los equipos sea la más adecuada.

-Verificar que todo el cableado sea del tamaño apropiado, ya que la resistencia que este ofrece depende de su sección transversal y cada calibre puede manejar cierta cantidad de corriente eléctrica. Un cableado de sección menor al apropiado hace que se aumenten las pérdidas de potencia en la línea.

-Verificar que los sistemas de conexión monofásicos trifilares o los sistemas trifásicos posean una distribución adecuada de cargas en cada una de las

fases (en caso del trifásico), o entre el retorno y el vivo en el monofásico. Esto evitará desbalances en el sistema y circulación de corrientes indeseables por el neutro que pueden dañar los equipos.

-Verificar la capacidad de los transformadores con la carga instalada en sistemas de distribución internos; y que los conductores de acometida sean los más adecuados para evitar pérdidas por calentamiento.

-En los motores eléctricos se debe corroborar que la caída de tensión en los alimentadores a la tensión nominal de operación. Las normas permiten una caída máxima del 3% (o del 5%) para la combinación alimentador-circuito derivado), pero es recomendable que no rebase el 15%.

-Revisar que exista un balance entre la tensión de alimentación de los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases nunca debe exceder el 5%.

-Para los motores que realicen un número elevado de arranques se debe colocar arrancadores a tensión reducida.

-Verificar que los motores operen entre el 75% y el 95% de su potencia nominal para obtener el máximo rendimiento.

-Revisar que los motores que fueron adquiridos para operar de forma continua no sean utilizados en operaciones intermitentes (arranques y paradas frecuentes). Esto reduce su eficiencia y además puede dañar el aislamiento de los devanados por la elevación de temperatura.

-Nunca operar los motores a frecuencias nominales distintas a las indicadas en la placa del fabricante.

-Determinar si existen motores que estén generando vibraciones o ruidos excesivos. Se deben limpiar las suciedades que puedan aumentar la fricción y dañar el motor.

-Instalar contadores locales de energía en las principales máquinas consumidoras (cañón de extrusión, cabezal y mezclador caccia) para monitorizar su consumo y detectar desviaciones.

-Revisar que los filtros de los compresores se encuentren en buen estado para evitar fugas.

-Verificar que las válvulas utilizadas en los compresores generen presiones bajas de funcionamiento.

-Se recomienda colocar el compresor lo más cerca posible de los puntos de consumo. Si hay muchas pérdidas por fricción lo bueno sería aumentar el diámetro de las tuberías.

-Verificar que el ajuste de presión sea un poco más alto a la demandada por el equipo. Esto permite compensar las caídas de presión que podría haber en las líneas de distribución.

-Revisar periódicamente los filtros de las bombas y verificar que no haya fugas en los empaques internos. Chequear los estados de las tuberías, en especial las uniones de los tramos de tubería.

-Corroborar que la potencia nominal del motor sea igual a la requerida por la bomba para operar a máxima eficiencia.

-Corroborar que el motor esté perfectamente alineado con la bomba y montado sobre una superficie que reduzca vibraciones.

-Utilizar controles automáticos para arrancar el motor de la bomba, así se evita el funcionamiento del motor cuando la bomba ha dejado de funcionar.

-Instalar equipos limitadores de consumo en toda la línea de producción que regulen cargas en instalaciones según diferentes horarios y eviten excesos de potencia.

-Instalar dispositivos de corte donde sea posible para desconectar máquinas automáticas y así limitar el consumo a los horarios de uso.

-Asegurarse de mantener aislados los circuitos de distribución de fluidos térmicos (agua caliente y agua fría) para evitar pérdidas energéticas.

-Eliminar lo máximo posible la energía reactiva. Asegurarse de que se utilicen baterías de condensadores para compensar dicha energía.

-Instalar variadores de frecuencia en los motores de los principales equipos consumidores para reducir su gasto. Instalar también en las bombas de circuitos secundarios de frío asegurándose que los caudales de agua se ajusten en todo momento a la demanda existente.

- Sustituir las 10 lámparas metalarc actuales por lámparas *metalarc super saver*.

Las lámparas metalarc actuales poseen un consumo individual de 400 watts, mientras que las lámparas *metalarc super saver* consumen 360 watts. Además, se estima que esta sustitución disminuiría la emisión de CO₂ en un 8% (Powermex, 2008).

Se debe asegurar que dicha lámpara posean un balasto de tipo electrónico, quicktronic (quick60+) por ejemplo, y no magnético. Los primeros tienen un peso mucho menor, un mejor rendimiento y un control más preciso y exacto de la potencia de salida proporcionando un color más consistente y una vida más larga de la lámpara. También se deben emplear difusores y reflectores de alta eficiencia (Curso de iluminación eficiente, 2006).

5.5.4. En el consumo de GLP

A corto y/o mediano plazo, se propuso la siguiente medida:

Analizar la posibilidad de incorporar al menos un montacargas contrabalanceado eléctrico, exclusivo para el transporte de tubería TDP 42” (e inclusive otros diámetros) al patio de almacenamiento. Aunque su recarga sea bastante más lenta que los de motor de combustión y su inversión inicial es mayor, estos no producen contaminación y tienen un menor costo de operación debido al ahorro de combustible y que no requiere mantenimiento de filtros, aceite, bujías e inyectores.

Algunas otras ventajas que presentan los montacargas contrabalanceados eléctricos son: funcionan con una batería plomo-ácido que le sirve de contrapeso, son silenciosos, de 3 ó 4 ruedas y llantas sólidas. Usualmente pueden trabajar en turnos de 8 horas con la carga de una sola batería; el cambio de baterías puede tomar de 10 a 15 minutos y pueden tener al operador sentado y parado. Según el ITA (International Trade Administration) están clasificados como clase 1 y su capacidad de carga está entre 1,14.y 5,5 ton.

5.5.5. En el consumo de aceite lubricante

Se determinó que el sistema de lubricación actual es eficiente, ya que no genera elevados consumos de aceite. Por lo tanto se consideró que no es necesario invertir en un nuevo sistema más eficiente a corto plazo. Sin embargo, a mediano y/o largo plazo se recomienda sustituirlo por un sistema mejorado. Por ejemplo, un sistema de lubricación con aceite y aire comprimido puede ser una buena opción de mejora.

Este es un sistema de lubricación centralizada donde un gas comprimido, generalmente aire, se emplea para atomizar el aceite. La niebla es conducida en un sistema de baja presión a los diferentes puntos de aplicación del lubricante. El aire mantiene el soporte bajo una ligera presión positiva y el flujo de aire hacia el exterior impide la entrada de partículas contaminantes.

El método de lubricación con niebla (ver figura 16) tiene unas ventajas únicas. La continua aplicación de aceite se acerca muy bien a la necesidad efectiva del soporte. La aplicación de lubricante a una dosis extremadamente baja, posible con una niebla, facilita una lubricación continua sin necesidad de proyectar un sistema de circulación. Esto reduce el costo de muchos proyectos y resuelve el problema de la duración de las juntas.

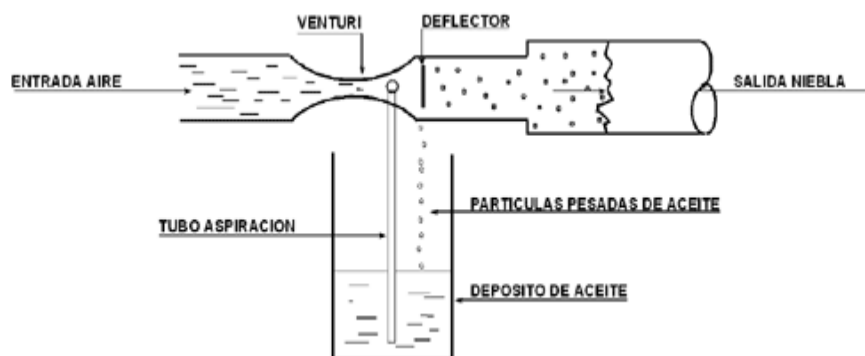


Figura 16. Componentes del sistema de niebla. Fuente: (Rivi, 2013).

5.6 Análisis de la peligrosidad de la tubería en la etapa de disposición final

En la etapa de disposición final no se determinó la huella de carbono, sin embargo se consideró de suma importancia realizar el siguiente análisis. Una vez que termina la vida útil de la tubería se podría deducir que el producto va a un relleno sanitario o a un vertedero municipal, ya que su por su alto contenido de cloro muchas veces no se cuenta con la tecnología especial para su coprocesamiento y reciclaje, o también es tratada mediante la técnica de incineración para producir combustible. Sin embargo esto no se puede asegurar con certeza, pues la empresa no rastrea el destino final de este producto dejando la responsabilidad en manos del consumidor.

Actualmente, la Fundación Aliarse mediante la ley 8839 para la gestión integral de residuos propone incorporar a todos los actores de la cadena (fabricantes, importadores, consumidores y recicladores) y así hacerse responsables de su disposición final y adecuado tratamiento (El Financiero, 2013). Esto hace referencia a un término conocido como responsabilidad extendida del productor (REP).

La REP se trata de un principio político para promover mejoras ambientales para ciclos de vida completos de los sistemas de los productos al extender las responsabilidades de los fabricantes del producto a varias fases del ciclo total de su vida útil, y especialmente su recuperación, reciclaje y disposición final. Esta concepción refleja tres principios fundamentales: enfoque de prevención de la contaminación, pensamiento sobre el ciclo de vida completo y “el que contamina paga” (Lindhqvist, Manomaivibool & Tojo, 2010).

Las tuberías fabricadas a partir de policloruro de vinilo, al igual que los demás productos manufacturados con esta materia, poseen una alta peligrosidad al ser dispuestos inadecuadamente y expuestos al ambiente. De esta forma, esta etapa del ciclo de vida se vuelve crítica dentro del análisis de la huella del producto debido a que su alto contenido de cloro lo convierte en potencial precursor de dioxinas y furanos¹⁰.

¹⁰ Son compuestos químicos organoclorados (con diferentes grados de cloración) que aparecen en procesos de incineración en presencia de compuestos aromáticos. Se forman por la reacción entre compuestos fenólicos producidos por la combustión incompleta de la lignina presente en los derivados de la madera (papel, cartón, etc.) y el ácido clorhídrico producido por la combustión de plásticos que contienen cloro (moléculas de Cl₂).

Estas sustancias son generadas en la combustión de la tubería. También son liberados metales pesados y cloruro de hidrógeno ($\text{HCl}_{(g)}$). Este último representa un grave riesgo para la salud, ya que en contacto con la humedad (por ejemplo los pulmones) forma ácido clorhídrico, que es un gas corrosivo que ocasiona graves quemaduras y daños en el sistema respiratorio de las personas y animales, además de daños materiales.

Se ha demostrado que el reciclaje de productos de PVC es una buena opción. Los tubos de PVC pueden ser recogidos y fácilmente reciclados al final de su vida útil para ser utilizados en la fabricación de nuevos tubos u otros productos (mobiliario urbano, piscinas, elementos para la seguridad vial, perfiles de ventana, perfiles de insonorización, entre otros). Este posee la ventaja de que el material reciclado mantiene sus propiedades físico-mecánicas a lo largo de vidas sucesivas; y al ser un material longevo puede ser reciclado infinidad de veces.

La industria europea del PVC está continuamente invirtiendo importantes recursos para estimular la creación de esquemas de recogida y reciclaje de tuberías residuo de PVC (Asetub, 2009). Se debe tomar en cuenta que en el proceso de fabricación de la tubería, el PVC se mezcla con una serie de aditivos (estabilizantes, rellenos, plastificantes, pigmentos, biocidas, pirorretardantes, abrillantadores, modificadores de impacto, antioxidantes) que son en su mayoría tóxicos y dañinos para el medio ambiente (Rojas, 2012).

Según el plan de sostenibilidad “Vinyl 2010”, firmado en el año 2000 por un total de 14 países europeos, se crea un compromiso voluntario de la industria europea del PVC en materia medioambiental y de gestión de residuos. Este plan propone recuperar el PVC a través de reciclaje mecánico mediante procesos de selección, trituración, lavado, molido, tamizado, filtrado y extruido a través de los cuales se obtiene de nuevo el material pulverizado de composición similar a la resina virgen, dispuesto para su

Estos constituyen dos grandes grupos: los policlorodibenceno-p-dioxinas (PCDD) y policlorodibenzofuranos (PCDF). Se forman a elevadas temperaturas, son muy estables químicamente, persistentes en el medio ambiente y potencialmente cancerígenas. A este grupo pertenecen 210 compuestos, de los cuales 17 son tóxicos; pero el grado de toxicidad de uno de ellos, la dioxina 2,3,7,8-TCDD (tetraclorodibenzoparadioxina), es catalogado como uno de los venenos más peligrosos creados por el hombre. Esta es 70.000 veces más tóxica que el cianuro, y puede provocar la muerte de una persona de 70 kilogramos con una dosis de 70 nanogramos (1 ng/kg peso corporal).

posterior transformación en una segunda vida útil. El proceso debe llevarse a cabo a temperaturas inferiores a 210°C para evitar la descomposición del PVC (Rojas, 2012).

Esta forma de reciclaje es la más utilizada y constituye un sector en auge. Durante el proceso pueden generarse emisiones de cloruro de hidrógeno y plastificantes, sin embargo pueden controlarse colocando válvulas de escape en las extrusoras. También ha surgido una técnica revolucionaria de reciclaje mecánico denominada “Reciclaje Vinyloop” que tiene la ventaja de no generar dioxinas durante el proceso. Algunos detalles de esta técnica se muestran en el anexo 9.

La ventaja de utilizar este tipo de tecnologías de reciclaje es que el PVC utilizado para la fabricación de esta tubería es una aplicación de larga vida, por lo que no existe problema de que el residuo se genere de forma inmediata. Esto facilita su implementación como un plan de gestión del residuo a largo plazo.

A pesar de que existen técnicas de reciclado para este material, muchas veces la incineración y el vertedero se han convertido en los principales destinos de estos productos en la actualidad. Ya se habló de la elevada peligrosidad de la combustión generada en procesos de incineración, utilizados mayoritariamente como métodos de recuperación de energía. Por su parte, el vertedero tampoco es una opción muy positiva, aunque puede decirse que es la más viable en países donde no existen técnicas de reciclado e incineración. Si los productos no se disponen asegurándose que el impermeabilizante del vertedero sea adecuado se está poniendo en peligro de contaminación el subsuelo y las aguas subterráneas.

Tanto los aditivos y plastificantes, entre ellos el ftalato conocido como bis (2-etilhexilo) o DEHP como los metales pesados (cadmio y plomo principalmente), pueden ser liberados y contribuir al aumento de la peligrosidad del lixiviado (el líquido que se filtra a través del vertedero). Esto se debe a la acción de microorganismos que consumen el oxígeno de la materia orgánica y de líquidos corrosivos producidos por la fermentación de la misma (ácidos orgánicos con pH entre 5,5-6,5) que pueden disolver los metales pesados en la fase aeróbica del vertedero. Incluso, ni los mejores impermeabilizantes

pueden prevenir el escape futuro del lixiviado, por lo que sólo sería cuestión de tiempo para que se inicie el problema.

El DEHP y los metales pesados han sido motivo de alerta ambiental en la Comisión de Comunidades Europeas, quienes gracias a su publicación “Libro Verde sobre PVC” en julio del 2000, han motivado a la industria europea del PVC a sustituir los estabilizadores de plomo (Rojas, 2012).

6. Conclusiones

De este proyecto se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La huella de carbono de la TDP 42 pulgadas en las etapas analizadas de su ciclo de vida fue de 38,46 ton CO₂/ton_{prod}. La etapa del ciclo de vida que más emitió fue la de obtención de materias primas con un total de 33,57 ton CO₂/ton_{prod} (87,29% del total de la huella).
- El proceso individual que más emitió fue el transporte marítimo de materia prima con un total de 33,36 ton CO₂/ton_{prod} (86,74% del total de la huella). La etapa de distribución de producto terminado aportó un 12,69% del total de la huella. El resto de las etapas y procesos presentaron aportes porcentuales muy cercanos a cero, sobre todo el consumo de aceite lubricante cuyo aporte porcentual fue el menor de todos.
- Se propusieron una serie de opciones de reducción de emisiones en el transporte marítimo, todas con aplicación a mediano y/o largo plazo. Según la literatura estas pueden generar ahorros que van del 1% al 25%.
- La implementación de un programa de conducción eficiente bien estructurado y la ejecución de buenas prácticas de mantenimiento de vehículos, podría disminuir las emisiones de CO₂ en un 15% a largo plazo.
- Llevar a cabo buenas prácticas para disminuir el consumo eléctrico es una muy buena opción para generar ahorros. La aplicación de una medida relativamente simple como lo es la sustitución de las 10 lámparas en la línea de extrusión puede generar ahorros significativos.
- Dar el paso de utilizar un montacargas que funciona con GLP a un montacargas eléctrico permite que no se produzcan contaminación directa. Las emisiones de GEI generadas estarían relacionadas solamente con el consumo de electricidad en la recarga, las cuales son muy bajas.

7. Recomendaciones

Las recomendaciones propuestas son las siguientes:

- La empresa debe proveer los recursos esenciales para implementar el Sistema de gestión de Carbono Neutralidad incluyendo personal especializado en el tema; así como un comité interno responsable de llevar a cabo acciones para alcanzar la carbono neutralidad, que sensibilice y motive a todo el personal. Se debe documentar la forma en que Durman llevará a cabo su política de carbono neutralidad, así como todos los monitoreos y avances que vaya teniendo en el camino.
- Que la empresa pueda calcular su huella de carbono tanto nivel de empresa como en el resto de sus productos, y en el futuro pueda optar por certificaciones PAS 2050 o similares. Esta huella debe ser lo más robusta, consistente y con la menor incertidumbre posible. Se debe definir la metodología de cálculo, especificar los límites, verificar la calidad de información, verificar de los resultados y proponer opciones de compensación, mitigación y reducción.
- En caso de realizar mediciones futuras de consumo eléctrico para proyectos similares a este, se insta al personal encargado definir previamente la metodología y el periodo de medición según las fechas previstas. Se recomienda conocer primero los periodos pico de producción y posteriormente realizar las mediciones en cada máquina durante lapsos iguales de tiempo. Esto permitirá trabajar con resultados de menor incertidumbre. Sin embargo, siempre se debe estar anuente a que en sistemas de producción de este tipo se pueden dar alteraciones como las mencionadas en este documento, u otras situaciones externas como apagones u otros desperfectos mecánicos.
- Analizar la factibilidad económica de las medidas de reducción de este análisis y de estudios futuros relacionados con el tema de huella de carbono.
- Se propone a la empresa incorporar el término de responsabilidad extendida del productor como política de empresa. De esta forma se podrá rastrear su producto en etapas posteriores a la entrega al cliente. Se recomienda, a largo plazo, crear un sistema mecánico convencional de recogida y separación selectiva de

tuberías una vez que acaban su vida útil, y así volver a utilizarlas en su proceso productivo. Se debe crear un procedimiento (manual) de limpieza y adecuación de la tubería para su nuevo uso que sea de conocimiento global para todos sus clientes, de manera que estos también participen en la cadena de reciclado. En la figura 17 se muestra un diagrama del procedimiento que podría implementarse. Además, se deben realizar campañas de sensibilización que hagan ver al consumidor la elevada peligrosidad del PVC al disponerse inadecuadamente y la importancia de reciclarlo.

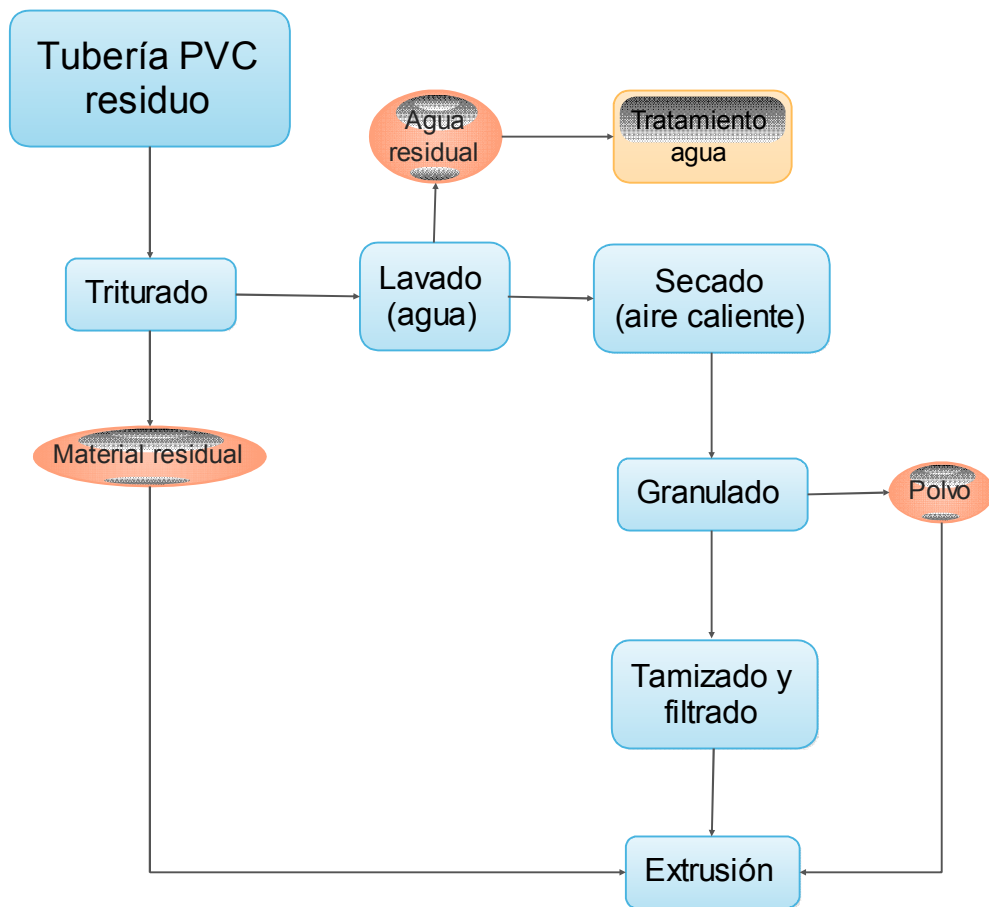


Figura 17. Etapas del reciclaje mecánico de la tubería de PVC. Fuente: (Barrantes Ariel, 2013 a partir de Rojas, 2012).

8. Referencias bibliográficas

AEA (2008). *Greenhouse gas emissions from shipping: trends, projections and abatement potential*. Reporte Final para el Comité de Cambio Climático. Edición no.4 – 3 Setiembre 2008. Recuperado el 9 de enero de 2013 de, <http://www.theccc.org.uk/pdfs/AEA%20shipping%20report%20for%20the%20CCC.pdf>

Asetub (2009). *PVC y el agua: sistemas de tuberías de PVC*. Madrid, España. Recuperado el 16 de abril de 2013 de, <http://www.asetub.es/empresas/asetub/publicaciones/Manuales/PVC%20y%20el%20agua%20May09.pdf>

Benedito Benet, E., & Rúa Costa, C. (2012). Emisiones de CO2 debidas al transporte marítimo de un producto: una propuesta metodológica de cálculo. *Dyna*, Setiembre- Octubre, Vol. 87 n° 5, 533/539.

Beyond Petroleum (2010). *BP Statistical Review of World Energy June 2010*. Londres: Orb Solutions.

Bijur (2013). *Sistemas de lubricación aire-aceite*. Bijur Delimon International. España. Recuperado el 13 de febrero de 2013 de, <http://www.bijurdelimon.com/es/espana/lubricacion/sistemas-de-lubricacion-aire-aceite.html>

Chacón Araya, A. R., Montenegro Ballesteros, J., & Sasa Marín, J. (2009). *Inventario nacional de gases con efecto invernadero y absorción de carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005*. San José, Costa Rica: MINAET, IMN.

Cooper, D.A. & Gustafsson, T. (2004). Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors, Report Series SMED and SMED&SLU 4.

Dirección de Cambio Climático (2013). *MINAE otorga marca C-Neutral a primeras empresas en Costa Rica*. 07/03/13. Recuperado el 05 de abril del 2013 de, <http://www.minaet.go.cr/dcc/>.

Ecodriven (2012). *Conducción ecológica: estilo de conducción y dispositivos de ahorro y eficiencia energética*. Recuperado el 9 de enero de 2013 de, http://www.transportlearning.net/Eco_driving_4web_ES.ppt

El Financiero (2013). *PVC, un plástico incómodo de reciclar*. 17/02/2013. Recuperado el 1 de marzo del 2013 de, http://www.elfinancierocr.com/negocios/plasticos-PVC-cloro-reciclaje_0_246575352.html

Fasullo, J. T., Trenberth, K. E., & Kiehl, J. (2008). Earth's global energy budget. *American Meteorological Society*.

Grajales, A., Jaramillo, A., & Cruz, G. (2008). *Los nuevos conceptos sobre "agua virtual" y "huella hídrica" aplicados al desarrollo sostenible: implicaciones de la agricultura en el consumo hídrico*. Colombia. *Agronomía* 16(1): 7-26. Recuperado el 15 de abril de 2013 de, http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia16%281%29_2.pdf

Grupo ICE (2013). *Ahorro de electricidad en la industria*. Recuperado el 7 de enero del 2013, de [http://www.grupoice.com/wps/portal/gice/elect_hub/Ahorro de Electricidad/Industria%2c comercios y servicios/Ahorro en la industria](http://www.grupoice.com/wps/portal/gice/elect_hub/Ahorro_de_Electricidad/Industria%2c_comercios_y_servicios/Ahorro_en_la_industria)

IDAE (2012) A. *Consejos para ahorrar carburante*. España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía/Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Recuperado el 9 de enero del 2013 de, <http://www.idae.es/coches/>

IDAE (2012) B. *Vehículos de combustibles y tecnologías alternativas*. España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía/Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Recuperado el 9 de enero del 2013 de, <http://www.idae.es/coches/>

IEA (2008). International Energy Agency. www.iea.org.

IMN (2011). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero*. Instituto Meteorológico Nacional. Costa Rica.

IMO (2000). *Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships*. Reporte final para la Organización Marítima Internacional. Edición no. 2 - 31 Marzo 2000. Recuperado el 9 de enero del 2013 de,

http://unfccc.int/files/methods_and_science/emissions_from_intl_transport/application/pdf/imoghmain.pdf

IMO (2009). *Second IMO GHG Study 2009*. Londres, Inglaterra: Organización Marítima Internacional: CPI Books Limited. Recuperado el 9 de enero del 2013 de, http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=27795&filename=GHGStudyFINAL.pdf

IPCC (1997). *Directrices del IPCC 1997 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. OECD.

IPCC (2006) A. *Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 2. Capítulo 1 - Introducción. Cuadro 1.2.

IPCC (2006) B. *Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 2. Capítulo 3 - Combustión móvil. Sección 3.5 - Navegación marítima y fluvial.

IPCC (2006) C. *Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 2. Capítulo 2 - Combustión estacionaria. Cuadro 2.3.

IPCC (2006) D. *Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 3. Capítulo 3 - Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes. Sección 5.2 - Uso de lubricantes.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*.

Jan, O. (2012). *La huella de carbono y el etiquetado ambiental de productos en Francia*. Recuperado el 2 de febrero de 2013, de http://www.cepal.org/ddpe/noticias/noticias/5/36335/04_Francia2_OlivierJAN.pdf

Jiménez Herrero, L., de la Cruz Leiva, J. L., Carballo Peneda, A., & Domench, J. L. (2012). *Enfoques metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono*. España: Rincón del ingenio.

Leiva, C., Alvarado, F., Camacho, A., Castillo, G., Chin-Wo, A., & Villa, G. (2003). *Situación del Gas Licuado de Petróleo en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía. Dirección Sectorial de Energía.

Lindhqvist, T., Manomaivibool, P., & Tojo, N. (2010). *La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano: la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Argentina*. Lund University. Suecia. Recuperado el 16 de abril del 2013 de, <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2008/10/la-responsabilidad-extendida-d.pdf>

Lloyd's Register (1995). *Marine Exhaust Emissions Research Programme: Phase II Transient Emission Trials*. Lloyd's Register Engineering Services, London.

Ministerio Fomento España (2011) A. *El transporte por carretera y la intermodalidad*. Recuperado el 10 de enero de 2013, de http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/099ABA39-1132-4A57-90FB-E5082A2DAE64/1552/03_intermodalidad_espana.pdf

Ministerio Fomento España (2011) B. *Plan de ahorro, eficiencia energética y reducción de emisiones en el transporte y la vivienda*. Recuperado el 10 de enero de 2013, de http://www.obsa.org/Lists/Documentacion/Attachments/446/Plan_ahorro_efic_energ_reduc_emision_transporte_vivienda_ES.pdf

Polo, J., Salido, J., Mourelle, A., Álvarez, R., & Roses, R. (2012). *Cálculo y verificación de la huella de carbono en productos agroalimentarios*. España.

PAS 2050 (2011). *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. Londres: BSI.

Portworld (2012). *Distance Calculator*. Encontrado en <http://www.portworld.com>.

Powermex (2008). *Iluminación industrial*. México: Osram/Enviro-Pro. Recuperado el 7 de enero de 2013, de <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6419/14/IluminacionV2OSRAM.pdf>

Rivi (2013). *Lubricación por niebla de aceite*. Equipos y Sistemas de Lubricación. Grupo Técnico Rivi. Zaragoza, España. Recuperado el 13 de febrero de 2013 de, <http://www.rivi.es/sistemas/niebla.php>

Rojas, E. (2012). *Alternativas tecnológicas para el manejo ambientalmente racional de los residuos de PVC*. Recuperado el 16 de abril de 2013 de, <http://www.plastico.com/tp/formas/36944/Edgar%20Rojas%20articulo.pdf>

Sylvania (2013). *Metalarc Supersaver: ahorro de energía reemplazando lámparas de haluro metálico*. Recuperado el 11 de enero de 2013 de, http://assets.sylvania.com/assets/documents/hid_pib5.29d5e133-9c55-48af-85b6-b1cd34a7ae81.pdf

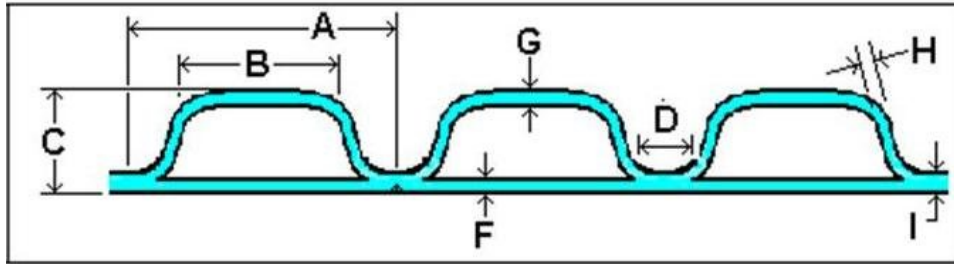
Vinyl 2010 (2005). *El compromiso voluntario de la industria del PVC*. Recuperado el 17 de abril de 2013 de, http://www.cepex.com/wp-content/uploads/dossier_informativo_pvc_reciclaje.pdf

Zaror, C. (2012). *Curso: aspectos metodológicos para el cálculo de la huella de carbono*. San José, Costa Rica: AGIO Gestoría de Negocios S.A.

9. Anexos

Anexo 1. Características y dimensiones de la TDP 42”.

Se produce de diversos diámetros y colores. Es flexible, posee larga vida útil, es fácil para dar mantenimiento, posee bajo costo en cuanto a transporte, manejo e instalación.



Dimensión	Valor
Diámetro nominal (in)	42
Diámetro promedio externo (mm)	1163,30±2,36
Diámetro promedio interno (mm)	1054,10±3,23
Largo del tubo (m)	6,26
Peso (kg/m)	53,0 (312 kg peso teórico)
Impacto (lb*pie)	140,0
A promedio (mm)	134,87±2,70
B promedio (mm)	85,85±1,72
C promedio (mm)	54,36±1,09
D promedio (mm)	32,51±0,65
F mínimo (mm)	4,06
G mínimo (mm)	3,43
H mínimo (mm)	4,06
I mínimo (mm)	4,78

Fuente: Departamento Extrusión, Durman Costa Rica.

Cantidades añadidas de cada materia prima y temperaturas de entrada al mezclador caccia:

Descripción	Peso (kg/batch)	Porcentaje (%)	Temperatura (°C)
Resina extrusión	450.00	81.36	45
Estabilizador acrostab t- 5003	8.55	1.55	45
Estearato de calcio FN	1.80	0.33	60
Carbonato omyacarb FT FL	45.00	8.14	60
Parafina	6.53	1.18	60
Polietileno AC 629A	0.68	0.12	60
Durastrength D320	22.50	4.07	95
Plastistrength P550	13.50	2.44	95
Dióxido de titanio D38	4.50	0.81	95
Total	553.06	100	-

Fuente: Departamento Extrusión, Durman Costa Rica.

**Anexo 2. Especificaciones del equipo de medición de consumo eléctrico Fluke 1735
Three-Phase Power Logger.**



Specifications		
General	<p>Display: ¼ VGA Graphic Color transmissive displays 320 x 240 Pixel with additional background lighting and adjustable contrast, text and graphics in color</p> <p>Quality: Developed, designed and manufactured according to DIN ISO 9001</p> <p>Memory 4 MB Flash memory, 3.5 MB for measuring data</p> <p>Interface: RS-232 SUB-D socket; 115.2 k Baud, 8 data bits, no parity, 1 stop bit, firmware updates are possible with the RS- 232 interface (9-pole extension cable)</p> <p>Sample rate: 10.24 kHz</p> <p>Line frequency: 50 Hz or 60 Hz, user-selectable, with automatic synchronization</p> <p>Power supply: NiMH battery-pack, with ac adapter (15 V to 20 V/0.8 A)</p> <p>Operation time with battery: Typical > 12 hours without backlight and > 6 hours with backlight high</p> <p>Dimensions: 240 mm x 180 mm x 110 mm</p> <p>Weight: 1.7 kg, including battery</p>	
Ambient conditions	<p>Working temperature range: -10 °C to +50 °C</p> <p>Storage temperature range: -20 °C to +60 °C</p> <p>Operating temperature range: 0 °C to +40 °C</p> <p>Reference temperature range: 23 °C ± 2 °C</p> <p>Note: The above terms are defined in European Standards. To calculate the specification at any point in the working temperature range, use the temperature coefficient below.</p> <p>Temperature coefficient: ± 0.1 % of the measured value per °C from the reference</p> <p>Intrinsic error: Refers to reference temperature, maximum deviation is guaranteed for two years</p> <p>Operating error: Refers to operating temperature range, maximum deviation is guaranteed for two years</p>	

Fuente: usamultimeters.com.

Anexo 3. Materias primas utilizadas en la fabricación de la tubería, lugar de origen y puerto carga.

Materia prima	Proveedor	Puerto carga
Resina extrusión (resina PVC simple)	Shintech Inc, Houston, Texas, Estados Unidos	Freeport, Houston, Texas, Estados Unidos
Estabilizador Acrostab t-5003 (estabilizador)	Akcros Chemicals Inc, New Brunswick, New Jersey, Estados Unidos	New York, Estados Unidos
Estearato de calcio FN (lubricante)	H. L. Blachford Ltd, Mississauga, Ontario, Canadá	New York, Estados Unidos
Carbonato Omyacarb FT FL (carbonato de calcio)	Omya Corporation, Florence, Vermont, Estados Unidos	New York, Wilmington, Estados Unidos
Parafina (lubricante)	Honeywell International, Columbia, Missouri, Estados Unidos	Houston, Texas, Estados Unidos
Polietileno AC 629A (lubricante)	Honeywell International, Columbia, Missouri, Estados Unidos	Houston, Texas, Estados Unidos
Durastrength D320 (modificador de impacto)	Arkema Inc, Axis, Alabama, Estados Unidos	Mobile, Alabama, Estados Unidos
		Everglades, Florida, Estados Unidos
Plastistrength P550 (ayuda de proceso)	Arkema Inc, Axis, Alabama, Estados Unidos	Mobile, Alabama, Estados Unidos
		Everglades, Florida, Estados Unidos
Dióxido de titanio D38 (crimea tiox 220)	K&T Export Import, Churchville, Pennsylvania, Estados Unidos (Facturador)	Odessa, Ucrania

Fuente: Departamento de compras, Durman Costa Rica.

Anexo 4. Movimientos realizados por los buques y cantidades transportadas de materias primas durante el año 2012.

Naviera	Nombre embarcación (carga contenedor completo)	Fecha salida (ETD)	Fecha llegada (ETA)	Nombre materia prima transportada	Número y tamaño contenedores (*)	Cantidad transportada (kg)
Armada de navegación/ZIM lines	Stardt Rotenburg V.77	07/08/2012	20/08/2012	Durastrenght D320	2 FEU	37.630,42
	Stardt Rotenburg V.79	21/08/2012	03/09/2012		1 FEU	18.815,21
	Pacifica Voyager V.187	13/09/2012	24/09/2012		1 FEU	18.815,21
	Pacifica Voyager V.191	10/10/2012	22/10/2012		2 FEU	37.630,42
King Ocean	Iller Trader V.02	24/02/2012	28/02/2012		1 FEU	18.815,21
	Iller Trader V.03	16/03/2012	22/03/2012		2 FEU	37.630,40
	Merwe Trader V.45	10/08/2012	14/08/2012		1 FEU	18.815,21
	Vega Pollux V.08	05/10/2012	08/10/2012		1 FEU	18.815,21
Maerks Line	Maerks Wolfsburg	20/02/2012	07/03/2012		1 FEU	18.486,00
	Maerks Winnipeg V.1206	27/02/2012	16/03/2012		2 FEU	37.630,41
	Ocean Emerald V.1206	05/03/2012	23/03/2012		2 FEU	26.702,00
	Ocean Emerald V.1208	01/04/2012	18/04/2012		2 FEU	37.630,41
	Ocean Emerald V.1208	01/04/2012	18/04/2012		2 FEU	37.666,41
Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						28.083,27
Cantidad transportada total (kg)						365.082,52
Cantidad total contenedores (unidades)						20 FEU
Evergreen/ILG	Hansa Ronnerburg	04/02/2012	20/02/2012	Acrostab t-5003	1 TEU	9.960,00

Logistics/Marinsa/Marin	Hansa Arendal 1081-003	15/02/2012	26/02/2012		1 TEU	9.960,00
King Ocean	Merwe Trader V.35SB	20/01/2012	24/01/2012		1 FEU	4.090,56
Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						8.003,52
Cantidad transportada total (kg)						24.010,56
Cantidad total contenedores (unidades)						1 FEU, 2 TEU
Evergreen/ILG Logistics/Marinsa/Marin	Hansa Ronnerburg 1074-032	03/01/2012	09/01/2012	Estearato de calcio FN	1 FEU	13.607,78
	Conti Elektra 1077-020NA	18/01/2012	02/02/2012		1 FEU	13.607,78
	Hansa Ronnerburg	04/02/2012	20/02/2012		1 FEU	17.009,88
	Hansa Arendal 1083-004NA	02/03/2012	09/03/2012		1 FEU	17.009,88
	Hansa Wismar V.045	01/08/2012	08/08/2012		1 FEU	13.608,00
	Hansa Wismar 047S	15/08/2012	22/08/2012		1 FEU	15.308,00
Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						15.025,22
Cantidad transportada total (kg)						90.151,32
Cantidad total contenedores (unidades)						6 FEU
Hapag Lloyd/CP Ships	Buxfavourite V.1201E	02/03/2012	11/03/2012	Parafina D08	2 FEU	36.742,00
Seabord	Seabord Ranger 00005	20/01/2012	24/01/2012		1 FEU	18.371,00

Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						27.556,50
Cantidad transportada total (kg)						55.113,00
Cantidad total contenedores (unidades)						3 FEU
King Ocean	Merwe Trader V.35	21/01/2012	24/01/2012	Plastistrength P550	1 FEU	16.432,00
	Katrin V.22	27/01/2012	01/02/2012		1 FEU	16.432,00
Maerks Line	Maerks Wolfsburg	23/01/2012	08/02/2012		1 TEU	8.216,00
	Maerks Wolfsburg V.1206	20/02/2012	07/03/2012		1 TEU	8.216,00
	Ocean Emerald V.1208	01/04/2012	18/04/2012	1 FEU	18.486,00	
Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						13.556,40
Cantidad transportada total (kg)						67.782,00
Cantidad total contenedores (unidades)						3 FEU, 2 TEU
Seabord	Hoheriff	17/02/2012	21/02/2012	Polietileno AC 629A	1 FEU	18.371,00
Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						18.371,00
Cantidad transportada total (kg)						18.371,00
Cantidad total contenedores (unidades)						1 FEU
Great White Fleet Liner Services LTD	Helene 228WS	18/07/12	26/07/12	Carbonato calcio FT D07	2 FEU	38.556,00
	Helene 226WS	05/07/12	12/07/12		4 FEU	77.112,00
	O.M. Iridium 225WS	27/06/12	05/07/12		2 FEU	38.556,00
	Helene 214WS	11/04/12	19/04/12		3 FEU	57.834,00

	O.M. Iridium 215WS	18/04/12	26/04/12		2 FEU	38.556,00
	O.M. Iridium 231WS	08/08/12	16/08/12		2 FEU	38.556,00
	Helene 210WS	14/03/12	22/03/12		4 FEU	77.112,00
	O.M. Iridium 203WS	25/01/12	02/02/12		4 FEU	77.112,00
	O.M. Iridium 233WS	30/08/12	06/09/12		2 FEU	38.556,00
	Helene 250WS	19/12/2012	27/12/2012		2 FEU	38.556,00
Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						52.050,60
Cantidad transportada total (kg)						520.506,00
Cantidad total contenedores (unidades)						27 FEU
Mediterranean Shipping Company (MSC)	Estebroker (1R)	14/12/2011	28/01/2012	Dióxido de titanio D38	1 TEU	20.000,00
	MSC Samantha (145R)	21/12/2011	04/02/2012		1 TEU	20.000,00
	Estebroker (2R)	16/12/2011	30/01/2012		1 TEU	20.000,00
	MSC Samantha (146R)	08/01/2012	22/02/2012		1 TEU	20.000,00
	Estebroker (4R)	08/01/2012	22/02/2012		1 TEU	20.000,00
	Estebroker (1204R)	20/01/2012	05/03/2012		1 TEU	20.000,00
	MSC Samantha (1205R)	04/02/2012	20/03/2012		1 TEU	20.000,00
	E.R. Hamburg (1237R)	10/09/2012	25/10/2012		1 TEU	20.000,00
	E.R. Hamburg (1241R)	04/10/2012	18/11/2012		1 TEU	20.000,00

Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						20.000,00
Cantidad transportada total (kg)						180.000,00
Cantidad total contenedores (unidades)						9 TEU
Great White Fleet Liner Services LTD	Eurus London 0152	06/01/2012	12/01/2012	Resina PVC extrusión	25 FEU	506.403,00
	Eurus Lisbon 0201	13/01/2012	19/01/2012		23 FEU	466.159,00
	Eurus Lima 0202	20/01/2012	26/01/2012		23 FEU	466.004,00
	Eurus London 0203	27/01/2012	02/02/2012		23 FEU	465.908,00
	Eurus Lima 0205	10/02/2012	16/02/2012		11 FEU	224.510,00
	Eurus London 0206	17/02/2012	23/02/2012		18 FEU	364.677,00
	Eurus Lisbon 0207	24/02/2012	01/03/2012		7 FEU	138.195,00
	Eurus Lima 0208	02/03/2012	08/03/2012		28 FEU	564.739,00
	Eurus London 0209	09/03/2012	15/03/2012		10 FEU	204.100,00
	Eurus Lisbon 0210	14/03/2012	22/03/2012		22 FEU	444.930,00
	Eurus Lima 0211	23/03/2012	29/03/2012		22 FEU	445.273,00
	Eurus London 0212	30/03/2012	05/04/2012		22 FEU	445.326,00
	Eurus Lisbon 0213	06/04/2012	12/04/2012		22 FEU	445.081,00
	Eurus Lima 0214	13/04/2012	19/04/2012		17 FEU	346.170,00
	Eurus London 0215	20/04/2012	26/04/2012		5 FEU	101.230,00
	Eurus Lisbon 0216	27/04/2012	03/05/2012		5 FEU	101.333,00
	Eurus Lima 0217	04/05/2012	10/05/2012		10 FEU	202.562,00
	Eurus London 0218	11/05/2012	17/05/2012		10 FEU	202.621,00
	Eurus London 0219	18/05/2012	24/05/2012		10 FEU	202.499,00
	Eurus Lima 220FS	25/05/2012	31/05/2012		15 FEU	303.734,00
	Eurus Lisbon 0221	01/06/2012	07/06/2012		15 FEU	303.713,00

	Eurus London 0224	22/06/2012	28/06/2012		46 FEU	931.530,00
	Eurus Lima 0225	29/06/2012	05/07/2012		42 FEU	847.930,00
	Eurus London 0229	25/07/2012	02/08/2012		11 FEU	222.870,00
	Eurus London 0229	03/08/2012	09/08/2012		4 FEU	80.000,00
	Eurus Lisbon 0230				7 FEU	142.870,00
	Eurus Lima 0231	10/08/2012	16/08/2012		10 FEU	202.470,00
	Eurus London 0232	17/08/2012	23/08/2012		14 FEU	283.280,00
	Eurus Lisbon 0233	24/08/2012	30/08/2012		14 FEU	283.280,00
	Eurus Lima 0234	31/08/2012	06/09/2012		14 FEU	283.280,00
	Eurus London 235FS	05/09/2012	12/09/2012		36 FEU	721.749,00
	Eurus Lisbon 0236	14/09/2012	20/09/2012		7 FEU	141.650,00
	Eurus Lima 0237	21/09/2012	27/09/2012		8 FEU	161.672,00
	Eurus London 0238	28/09/2012	04/10/2012		8 FEU	161.656,00
Cantidad transportada promedio por embarcación (kg)						335.570,21
Cantidad transportada total (kg)						11.409.404,00
Cantidad total contenedores (unidades)						564 FEU
CANTIDAD TRANSPORTADA PROMEDIO TOTAL (KG)^(**)						518.216,72
CANTIDAD TRANSPORTADA TOTAL (KG)^(***)						12.730.420,40
CANTIDAD TOTAL CONTENEDORES (UNIDADES)						625 FEU, 13 TEU

Fuente: Econocaribe Consolidators Inc. y Departamento Compras Durman Costa Rica.

(*) TEU (unidad equivalente para contenedores de 20 pies) y FEU (unidad equivalente para contenedores de 20 pies).

(**) Suma de todas las cantidades transportadas promedio por embarcación.

(***) Suma de todas las cantidades transportadas individuales.

Anexo 5. Datos de las embarcaciones que transportan las materias primas y distancia puerto carga-puerto descarga.

Nombre embarcación (tipo contenedor)	GT^(*)	Velocidad estimada (nudos)^(**)	Distancia puerto carga- puerto Limón (km)
Stardt Rotenburg V.77	9528	15,3	2384 (Mobile)
Stardt Rotenburg V.79			
Pacifica Voyager V.187	25637	16,6	
Pacifica Voyager V.191			
Maerks Wolfsburg	18123	11,3	
Maerks Wolfsburg			
Maerks Wolfsburg V.1206			
Maerks Winnipeg V.1206		12,2	
Ocean Emerald V.1206	18123	7,0	
Ocean Emerald V.1208			
Ocean Emerald V.1208			
Ocean Emerald V.1208			
Iller Trader V.02	9981	11,2	2048 (Everglades)
Iller Trader V.03			
Merwe Trader V.45		18,8	
Merwe Trader V.35			
Vega Pollux V.08		14,5	
Katrin V.22	3170	10,9	
Hansa Ronnerburg	18334	15,0	3769 (New York)
Hansa Ronnerburg			
Hansa Ronnerburg 1074-032			
Hansa Arendal 1081-003	15988	12,8	
Hansa Arendal 1083-004NA			
Merwe Trader V.35SB	9981	18,8	
Conti Elektra 1077-020NA	22801	14,4	
Hansa Wismar V.045	9606	9,5	
Hansa Wismar 047S			
Buxfavourite V.1201E	25713	16,2	2628 (Houston)
Seabord Ranger 00005	9948	19,4	
Hoheriff	9996	16,9	

Eurus London 0152	19595	11,6	
Eurus London 0203			
Eurus London 0206			
Eurus London 0209			
Eurus London 0212			
Eurus London 0215			
Eurus London 0218			
Eurus London 0219			
Eurus London 0224			
Eurus London 0229			
Eurus London 0229			
Eurus London 0232			
Eurus London 235FS			
Eurus London 0238			
Eurus Lisbon 0201			
Eurus Lisbon 0207			
Eurus Lisbon 0210			
Eurus Lisbon 0213			
Eurus Lisbon 0216			
Eurus Lisbon 0221			
Eurus Lisbon 0230			
Eurus Lisbon 0233			
Eurus Lisbon 0236			
Eurus Lima 0202	19595	20,6	
Eurus Lima 0205			
Eurus Lima 0208			
Eurus Lima 0211			
Eurus Lima 0214			
Eurus Lima 0217			
Eurus Lima 220FS			
Eurus Lima 0225			
Eurus Lima 0231			
Eurus Lima 0234			
Eurus Lima 0237			
Estebroker (1R)			
Estebroker (2R)			

Estebroker (4R)			
Estebroker (1204R)			
MSC Samantha (145R)	30657	18,4	
MSC Samantha (146R)			
MSC Samantha (1205R)			
E.R. Hamburg (1237R)	26125	11,7	
E.R. Hamburg (1241R)			
Helene 210WS	5938	12,3	3769
Helene 214WS			(Wilmington)
Helene 226WS			
Helene 228WS			
Helene 250WS			
O.M. Iridium 203WS	23633	18,5	
O.M. Iridium 215WS			
O.M. Iridium 225WS			
O.M. Iridium 231WS			
O.M. Iridium 233WS			

Fuente: <http://marinetraffic.com>, <http://vesseltracker.com>, <http://vesselfinder.com>, <http://shipspotting.com>, <http://www.portworld.com>.

(*) Las unidades GT, tonelaje bruto por sus siglas en inglés, es la expresión del tamaño total de un buque. Según el diccionario náutico se define como la capacidad en toneladas Moorson (100 pies cúbicos = 2,83 m³) de los espacios del casco bajo o sobre la cubierta, capaces para recibir carga, pertrechos, dotación, pasaje, consumos, entre otros.

(**) Un nudo equivale a una milla náutica por hora (1,852 kilómetros por hora).

Anexo 6. Consumo de combustible de cada buque contenedor como función del tonelaje bruto y tiempo estimado de recorrido.

Buque	Consumo (ton/día)	Tiempo de recorrido (días)
Stardt Rotenburg V.77	30,45	13
Stardt Rotenburg V.79	30,45	13
Pacifica Voyager V.187	68,30	11
Pacifica Voyager V.191	68,30	12
Iller Trader V.02	31,51	4
Iller Trader V.03	31,51	6
Merwe Trader V.45	31,51	4
Vega Pollux V.08	31,51	3
Maerks Wolfsburg	50,64	16
Maerks Winnipeg V.1206	50,64	18
Ocean Emerald V.1206	50,64	18
Ocean Emerald V.1208	50,64	17
Ocean Emerald V.1208	50,64	17
Promedio (transporte de durastrength D320)	44,37	11,69
Hansa Ronnerburg	51,14	16
Hansa Arendal 1081-003	45,63	11
Merwe Trader V.35SB	31,51	4
Promedio (transporte de acrostab t-5003)	42,76	10,33
Hansa Ronnerburg 1074-032	51,14	6
onti Elektra 1077-020NA	61,64	15
Hansa Ronnerburg	51,14	16
Hansa Arendal 1083-004NA	45,63	7
Hansa Wismar V.045	30,63	7
Hansa Wismar 047S	30,63	7
Promedio (transporte de estearato de calcio FN)	45,13	9,67
Buxfavourite V.1201E	68,48	9
Seabord Ranger 00005	31,43	4
Promedio (transporte de parafina D08)	49,96	6,50
Merwe Trader V.35	31,51	3

Katrin V.22	15,50	5
Maerks Wolfsburg	50,64	14
Maerks Wolfsburg V.1206	50,64	16
Ocean Emerald V.1208	50,64	17
Promedio (transporte de platistrength P550)	39,79	11,00
Hoheriff	31,55	4
Promedio (transporte de polietileno AC 629A)	31,55	4,00
Eurus London 0152	54,10	6
Eurus Lisbon 0201	54,10	6
Eurus Lima 0202	54,10	6
Eurus London 0203	54,10	6
Eurus Lima 0205	54,10	6
Eurus London 0206	54,10	6
Eurus Lisbon 0207	54,10	6
Eurus Lima 0208	54,10	6
Eurus London 0209	54,10	6
Eurus Lisbon 0210	54,10	8
Eurus Lima 0211	54,10	6
Eurus London 0212	54,10	6
Eurus Lisbon 0213	54,10	6
Eurus Lima 0214	54,10	6
Eurus London 0215	54,10	6
Eurus Lisbon 0216	54,10	6
Eurus Lima 0217	54,10	6
Eurus London 0218	54,10	6
Eurus London 0219	54,10	6
Eurus Lima 220FS	54,10	6
Eurus Lisbon 0221	54,10	6
Eurus London 0224	54,10	6
Eurus Lima 0225	54,10	6
Eurus London 0229	54,10	8
Eurus London 0229	54,10	6
Eurus Lisbon 0230	54,10	6
Eurus Lima 0231	54,10	6

Eurus London 0232	54,10	6
Eurus Lisbon 0233	54,10	6
Eurus Lima 0234	54,10	6
Eurus London 235FS	54,10	7
Eurus Lisbon 0236	54,10	6
Eurus Lima 0237	54,10	6
Eurus London 0238	54,10	6
Promedio (transporte de resina PVC extrusión)	54,10	6,15
Estebroker (1R)	68,46	45
Estebroker (2R)	68,46	45
Estebroker (4R)	68,46	45
Estebroker (1204R)	68,46	45
MSC Samantha (145R)	80,10	45
MSC Samantha (146R)	80,10	45
MSC Samantha (1205R)	80,10	45
E.R. Hamburg (1237R)	69,45	45
E.R. Hamburg (1241R)	69,45	45
Promedio (transporte de dióxido de titanio D38)	72,56	45
Helene 210WS	22,01	8
Helene 214WS	22,01	8
Helene 226WS	22,01	7
Helene 228WS	22,01	8
Helene 250WS	22,01	8
O.M. Iridium 203WS	63,59	8
O.M. Iridium 215WS	63,59	8
O.M. Iridium 225WS	63,59	8
O.M. Iridium 231WS	63,59	8
O.M. Iridium 233WS	63,59	7
Promedio (transporte de carbonato de calcio FT)	42,80	7,8

Fuente: Barrantes Ariel, 2013.

Anexo 7. Cantidad de TDP 42” fabricada y porcentaje de reproceso.

Se tomó como base la cantidad más significativa que se ha producido de esta tubería durante el año 2012; en total se analizó una tanda de producción. Durante la mismas el departamento de extrusión reporta la cantidad de scrap generado, el cual se reprocesa en su totalidad.

Mes producción	Unidades tubería	Ritmo producción (tubos/hora)	Peso teórico (kg)	Peso real (kg)	Cantidad reprocesada (%)
Julio	173	3	55.197,38	53.976,00	13

Fuente: Departamento de extrusión, Durman Costa Rica.

Se dedujo entonces que por cada tonelada de materia prima mezclada, el 87% sale como producto terminado y el 13% es reprocesado.

Anexo 8. Tipos de combustibles marinos más utilizados actualmente.

Tabla 16. Tipos de combustibles marinos

Tipo de combustibles marinos				
Nombre	Denominación ISO Viscosidad	Composición	Máximo contenido de azufre	Contenido medio de azufre
Fuel oil 380 (IFO 380)	MRG35 360cst	98% aceite residual 2% aceites destilados	4,50%	2,67%
Fuel oil 180 (IFO180)	RME25 180cst	88% aceite residual 12% aceites destilados	4,50%	2,67%
Diesel oil marino	DMB	Aceites destilados con muestras de aceite residual	2%	0,65%
Gas oil marino	DMA	100% aceites destilados	1,50%	0,38%

Según el anexo VI de MARPOL el contenido máximo de azufre será del 4,5 %
Cst= centiestokes

Fuente: EXXON

Las potencias caloríficas son las siguientes:

- Fuel oil: Entre 40.000 y 40.500 Kilojulios por kilogramo.
- Diesel oil: Entre 42.000 y 42.500 Kilojulios por kilogramo.

Anexo 9. Reciclaje Vinyloop.

Esta técnica está basada en la utilización de un disolvente biodegradable selectivo del PVC contenido en residuos complejos difícilmente separables por métodos mecánicos. El material se disuelve primero selectivamente y se recupera por precipitación. El disolvente se regenera en un bucle cerrado de evaporación-condensación. Una instalación de este tipo, con una capacidad de 10.000 toneladas anuales, se puso en marcha en Ferrara (Italia). Los procesos son los siguientes:

Disolución: El residuo con contenido en compuestos de PVC se mezcla en un reactor cerrado (bajo presión y en ausencia de aire) con un disolvente selectivo a una temperatura entre 100-140°C, que disuelve completamente la cadena polimérica de PVC. Todos los aditivos e impurezas se liberan y se dispersan en el disolvente.

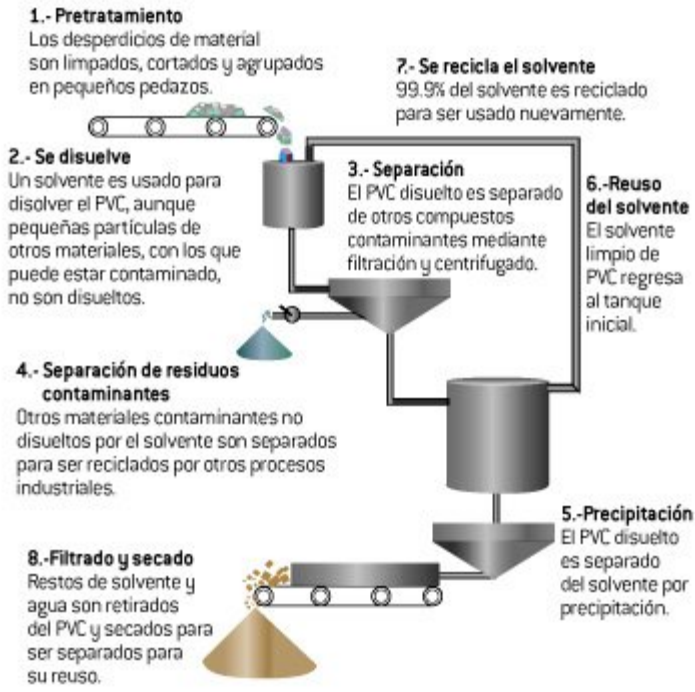
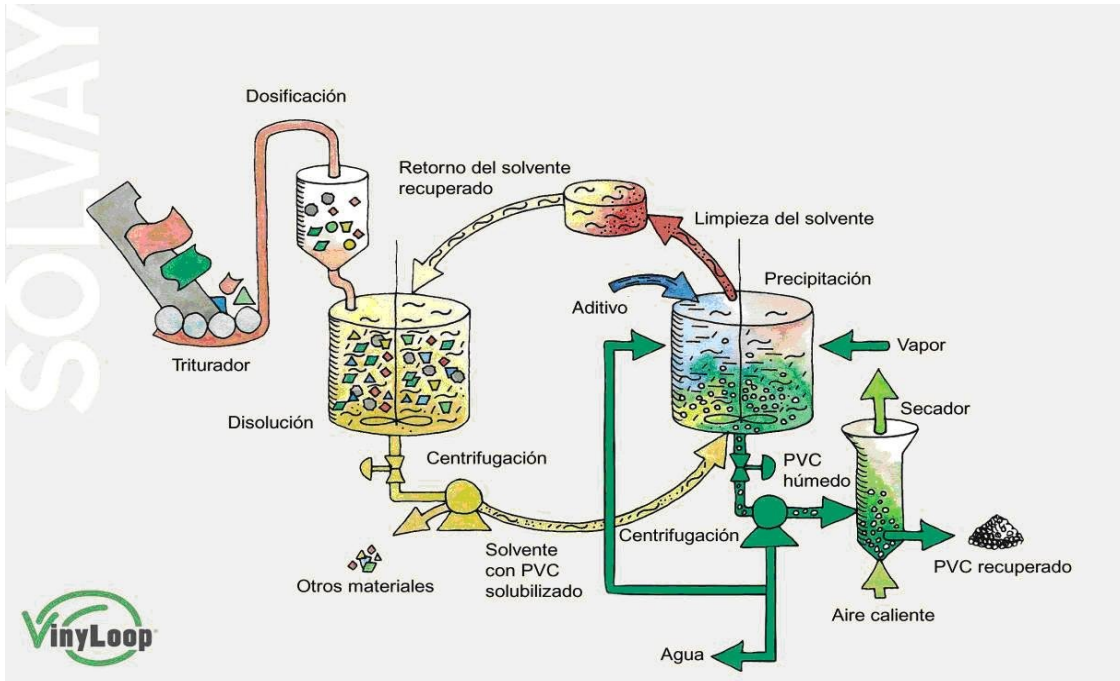
Separación: Se filtra la solución para remover las impurezas. Los componentes insolubles (impurezas) se separan y se lavan con disolvente caliente para eliminar el PVC disuelto.

Precipitación: primero se ajusta el nivel de aditivos en la solución; luego la solución es llevada a un tanque de precipitación donde todos los componentes de la formulación original del PVC son recuperados en el compuesto regenerado, y mediante el suministro de vapor el PVC disuelto es removido (precipita). Los aditivos quedan atrapados en los gránulos de compuesto de PVC que se forman. El agua usada en la precipitación es removida por decantación.

Secado: La masa húmeda o slurry (mezcla de partículas de compuesto de PVC y agua) se seca con aire caliente.

Recuperación del disolvente: El disolvente se suministra de nuevo, a través de un circuito cerrado, al siguiente proceso de disolución.

A continuación esquemas del proceso:



Fuente: (Vinyl 2010, 2001).

Anexo 10. Detalles horarios de las mediciones de consumo eléctrico.

Máquina	Periodo de medición	Energía consumida promedio por hora (kWh)
Mezclador caccia	4 octubre 2012 01:05:34 p.m. - 4 octubre 2012 07:05:24 p.m	470,070
Bomba pequeña vacío (hacia E-23)	12 diciembre 2012 01:10:38 p.m. - 12 diciembre 2012 02:22:36 p.m	0,264
Bomba grande vacío (hacia E-23)	12 diciembre 2012 11:49:52 a.m. - 12 diciembre 2012 12:39:49 p.m	11,040
Bomba sistema carga (tolva E-23)	20 noviembre 2012 03:42:50 p.m. - 20 noviembre 2012 04:52:59 p.m	4,596
Cañón extrusión	16 noviembre 2012 12:10:49 p.m. - 19 noviembre 2012 12:08:49 p.m	1.218,930
Cabezal	21 noviembre 2012 04:57:02 p.m. - 23 noviembre 2012 05:58:02 p.m	303,107
Corrugador 3030	20 noviembre 2012 05:21:50 p.m. - 20 noviembre 2012 05:32:40 p.m	4,282
Chiller	20 noviembre 2012 08:55:53 p.m. - 20 noviembre 2012 09:15:40 p.m	0,675
Bomba sumergible	20 noviembre 2012 07:42:57 p.m. - 20 noviembre 2012 07:58:20 p.m	0,0356
Bomba agua 1	20 noviembre 2012 06:40:41 p.m. - 20 noviembre 2012 07:13:37 p.m	2,420
Bomba agua 2	20 noviembre 2012 07:18:11 p.m. - 20 noviembre 2012 07:35:22 p.m	0,1934
Sierra 3030	20 noviembre 2012 05:34:30 p.m. - 20 noviembre 2012 05:48:32 p.m	0,1907
Molino 2	09 diciembre 2012 01:45:31 a.m. - 09 diciembre 2012 02:46:27 a.m	11,344
Sistema iluminación (10 lámparas tipo METALARC de 0,400 kWh c/u)		4,000
Total consumido (kWh)		2.031,148

Fuente: mediciones realizadas por el departamento de mantenimiento, Durman Costa Rica.