

Análisis ambiental del proceso de producción de suelas de caucho, empresa Productos Boxeador de Colombia

Environmental Analysis of Production Process Rubber Soles, Productos Boxeador de Colombia Company

Estefanía Chavarria Muñoz¹, Felipe Andrés Rodríguez Cortés²,
Edwin López Villamil³, Fredy Johany Díaz⁴ y Sandra Bautista Rodríguez⁵

Resumen

El análisis ambiental de procesos se basa en los principios de la *ingeniería verde* y de *producción más limpia*. Como herramientas metodológicas se utilizan el ecobalance, ecoindicadores, diagrama de flujos de proceso (DFP) y matriz de valoración de impactos ambientales. En este trabajo se aplicó la teoría y herramientas metodológicas mencionadas anteriormente en el proceso de producción de caucho para suelas en la empresa Productos Boxeador de Colombia. Los datos utilizados fueron proporcionados por la empresa mediante entrevistas semiestructuradas y listas de chequeo. Finalmente, se da como resultado principal una propuesta de mejoramiento productivo que conlleva a la prevención de los impactos ambientales de la empresa.

Palabras clave: Análisis de Operaciones, Ecobalance, Ecoindicadores, Evaluación Ambiental.

Abstract

The environmental assessment of industrial processes is a field of environmental engineering that takes increasing importance in the quantitative assessment of environmental aspects and impacts. This type of analysis provides environmental management processes clear and reliable for making decisions aimed at preventing pollution and efficient use of energy and natural resources information. The theoretical foundation in the environmental assessment process

¹ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Central. Correo: echavarriam@ucentral.edu.co.

² Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Central. Correo: frodriguez2@ucentral.edu.co.

³ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Central. Correo: elopezv@ucentral.edu.co.

⁴ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Central. Correo: fdiazd@ucentral.edu.co.

⁵ Coautora. Doctora en ingeniería. Docente del Departamento de Ingeniería Ambiental e investigadora del Grupo Agua y Desarrollo Sostenible de la Universidad Central. Correo: sbautistar2@ucentral.edu.co.

is based on the principles of Green Engineering and Cleaner Production; the methodological tools such as the eco-balance, eco-indicators, process flow diagram (PFD) and matrix assessment of environmental impacts is used. In this paper the theory and methodological tools mentioned above it was applied in the production process of rubber soles in the company Boxer Prod-

ucts Colombia. The company provided the data used. Finally, main result it is given as a proposal for improving production leading to the prevention of environmental impacts of the company.

Keywords: Operations Analysis, Eco-balance, Eco-indicators, Environmental Assessment.

1. Introducción

El análisis ambiental de procesos industriales es un campo de la ingeniería ambiental que toma cada vez mayor relevancia en la evaluación cuantitativa de aspectos e impactos ambientales. Este tipo de análisis les brinda a los procesos de gestión ambiental información clara y confiable para la toma de decisiones encaminadas a la prevención de la contaminación y el uso eficiente de los recursos naturales y energéticos.

El análisis de operaciones le permite a una empresa conocer las fallas y establecer las mejoras que se deben implementar en determinado proceso de producción (Avellaneda et ál., 2009). Por ello, para una empresa es de vital importancia realizar este tipo de estudios.

El análisis de operaciones se realizó en la empresa Productos Boxeador de Colombia, ubicada en la localidad de Puente Aranda, en el barrio Pensilvania (Bogotá, D. C.). La empresa se dedica a la producción de caucho para múltiples usos. En este trabajo se seleccionó una de sus líneas especializadas en la elaboración de suelas. Las etapas de esta línea se presentan en la figura 1.

Para llegar a la finalidad del análisis de procesos fue necesario: primero, contar con el apoyo de la empresa (con el fin de conocer

y vivenciar el proceso que allí se lleva a cabo) y, segundo, aplicar una serie de herramientas basadas en las teorías de la producción más limpia (van Hoof y Herrera, 2007) y la ingeniería verde (Allen y Shonnard, 2002); estas permitieron organizar, cuantificar e identificar impactos de cada uno de los procesos y sus requerimientos. Las herramientas utilizadas fueron las siguientes:



Figura 1. Etapas de la línea de producción de suelas. Fuente: elaboración propia.

Ecobalance:

Es un instrumento de diagnóstico que, a través de los datos e información cuantitativa recolectada, permite la identificación de puntos críticos de la empresa. Con su uso es posible identificar las áreas, procesos u operaciones que representan ineficiencias (Miyazaki, 2002).

Cálculo de ecoindicadores:

Es un parámetro que brinda la información o la tendencia de las condiciones de un fenómeno referente a la problemática ambiental.

Diagrama de flujo de procesos (DFP):

Es una representación gráfica de un proceso es representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso.

Evaluación de impactos ambientales:

Es un instrumento básico mediante el cual se pueden clasificar los impactos de mayor a menor relevancia (matriz según la metodología de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2012).

Propuesta de producción más limpia:

Actividad o propuesta para implementar, luego de identificar los impactos más altos o ineficiencias en el proceso.

Mediante la implementación de las herramientas se estableció que el impacto ambiental negativo más significativo se da por el consumo de energía eléctrica. Al respecto, se propuso, como estrategia de producción limpia, usar otra máquina de mezclado: una de marca Comerio Ercole 1990. Esta tiene una mayor capacidad de producción que la usada con anterioridad en la fábrica.

2. Método

El desarrollo del análisis ambiental de procesos se llevó a cabo en seis pasos. El primer paso fue la selección del proceso, junto con la obtención de información de flujos de masa y energía en el proceso. En el segundo paso se estableció el ecobalance del proceso. En el tercer paso se cuantificaron los ecoindicadores. En el cuarto paso se definió el diagrama de flujo de proceso. Como quinto paso, se realizó la matriz de valoración de impactos ambientales. Finalmente, en el sexto se plasmó la propuesta de mejoramiento y producción más limpia.

2.1 Selección de proceso

Se inició con la selección del proceso de análisis. Este debía contemplar al menos dos tipos de transformación, ya fuera física, química o biológica. Asimismo, que fuese un proceso del sector industrial y que se desarrollara en el contexto colombiano.

Para la obtención de la información primaria se realizaron dos visitas técnicas a la empresa entre el 13 y 20 de febrero del 2016. Se entrevistó al jefe de producción y a algunos operarios. Además, se conoció detalladamente el proceso de producción, consumos y tecnología utilizada.

2.2 Ecobalance

Se realiza el cálculo para la producción de 1000 kg. Con este se identifican las operaciones principales y auxiliares del proceso; además se establecen compuestos y tipos energía y combustible; todo esto, acompañado de un balance de materia y energía teniendo en cuenta lo siguiente:

- Entradas y salidas
- Reacción de los compuestos

- Reacción de combustión y gases que se generan
- Operaciones principales y auxiliares

2.3 Ecoindicadores

En este paso se retoma la información de los consumos energéticos, la producción y las salidas, como emisiones o vertimientos. Se calcula una relación entre consumo y producto.

2.4 Diagramas de flujo de procesos

El DFP para el proceso de *elaboración de caucho para suelas* se realizó empleando la versión libre del software EdrawSoft. Esta aplicación incluye más de 500 vectores de flujo de procesos, símbolos de diagramas y algunos ejemplos. Estos permiten crear fácilmente diagramas de flujo para sistemas de procesos industriales y elaborar dibujos de las diferentes etapas productivas.

2.5 Evaluación de impactos ambientales

Conociendo a profundidad cada uno de los procesos, se realizó la matriz de valoración de impactos ambientales, según el modelo establecido por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá.

Para el desarrollo de la matriz se estableció, primero, cada uno de los procesos; luego, los aspectos a considerar, para, posteriormente, llegar a los impactos, que se evaluaron según la metodología ya mencionada. Para la valoración de cada uno de los impactos se tuvieron en cuenta los datos de recolección primaria y los que se observaron en la visita técnica.

2.6 Producción más limpia

En este paso se realizó con base en el análisis del ecobalance. Sin embargo, lo más importante para esta etapa del análisis son los resultados arrojados por parte de los ecoindi-

cadores y la matriz de valoración de impactos ambientales, ya que estas herramientas son tanto cualitativas como cuantitativas y reducen el error a la hora de tomar una decisión.

3. Resultados y discusión

Durante el desarrollo del proyecto se obtuvieron los siguientes resultados, teniendo en cuenta cada uno de sus pasos:

3.1 Selección de proceso

El proceso seleccionado es *Proceso para fabricación de suelas de caucho*, en el que ocurre una transformación física de los compuestos en la mezcla y se da una transformación química en el proceso de vulcanización.

3.2 Ecobalance

Mediante el uso del *ecobalance*, se implementan paulatinamente las demás herramientas del proceso. En esta paso, se realiza un diagrama de bloques con entrada y salida de flujos, control de temperatura y energía e identificación de operaciones primarias y auxiliares (Delgado, 2014) (figura 2).

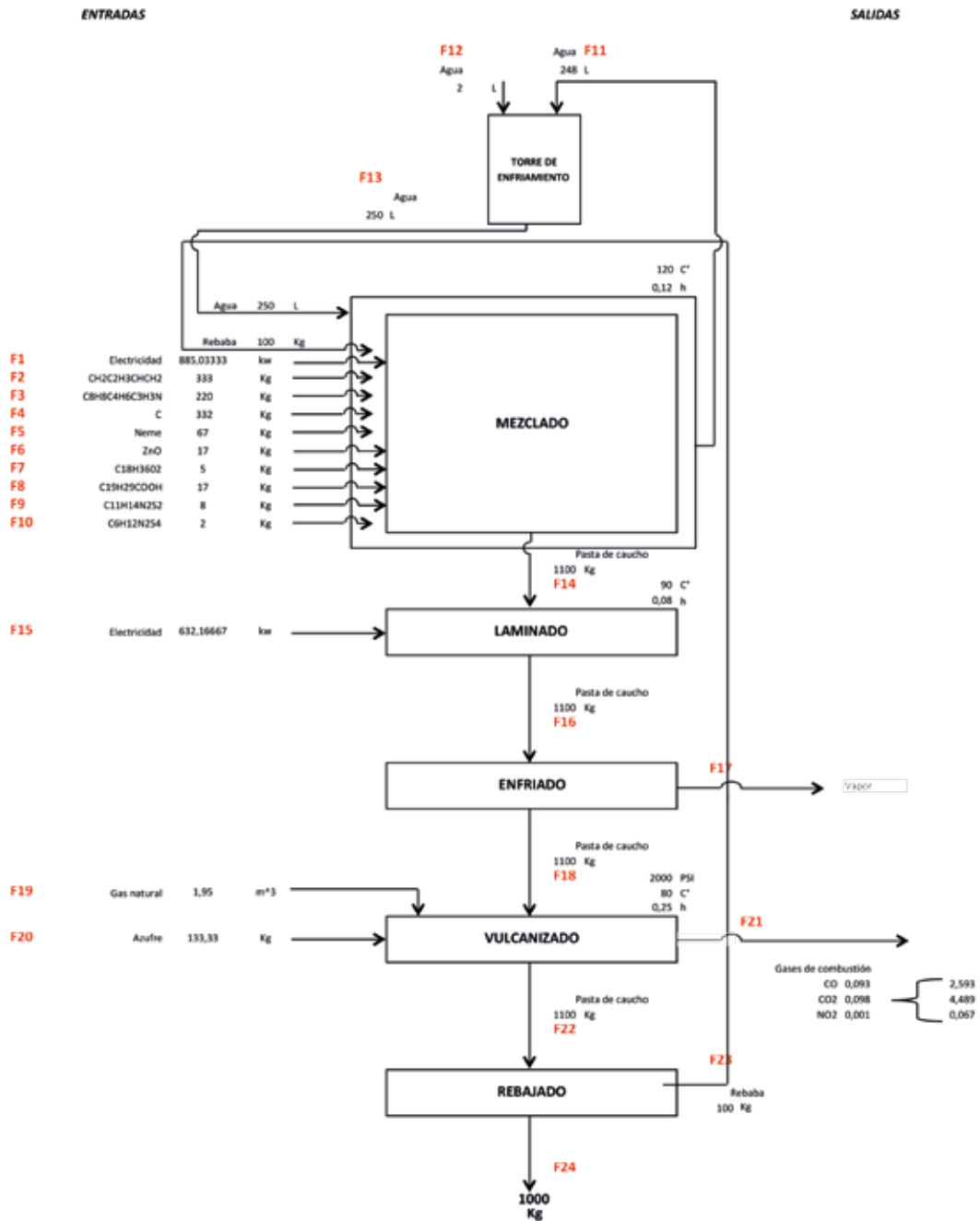
También se realizó un balance de masa para la combustión del gas natural, teniendo en cuenta su composición. Asimismo, se realizó un balance para la composición del aire y la reacción que se da en el proceso de vulcanizado.

La realización del Ecobalance es el paso más relevante, ya que la información debe estar cuidadosamente organizada y redactada, pues de aquí que se partirá para lo demás.

Esta herramienta permitió identificar puntos críticos, al igual que áreas que son ineficientes para la empresa, ya que la información es netamente cuantitativa. También nos permitió identificar y cuantificar los im-

pactos ambientales que parten de productos, procesos o de toda la empresa. En este caso, la empresa genera algunas emisiones por gases

de combustión, en una cantidad que se debe cuantificar y tratar (tabla 1).



- (1) Eficiencia del equipo entre 95-99% (<https://goo.gl/by3bli>)
- (2) Duracion o cambio de repuesto 5 años (<https://goo.gl/FRxsae>)
- (3) Peso del repuesto 2 kg (<https://goo.gl/LpSr9o>)

Figura 2. Diagrama de bloques. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Cálculo de balance

Balances de entrada y salida y gases de emision							
Gas natural - fuente de energia							
Constituyente ¹	Fórmula química ¹	Composición por volumen (%) ¹	Consumo de gas (m ³)	Densidad (kg/m ³) ²	Masa (kg)	Pm (kg/kmol)	Moles de entrada (kmol)
Metano	CH ₄	81,860	1,598	0,671	1,072	16,000	0,067
Etano	C ₂ H ₆	11,610	0,227	1,280	0,290	30,000	0,010
Propano	C ₃ H ₈	1,920	0,037	1,858	0,070	44,000	0,002
Butano	C ₄ H ₁₀	0,450	0,009	2,510	0,022	58,000	0,0004
Nitrógeno	N	0,900	0,018	1,161	0,020	14,000	0,001
Dióxido de carbono	CO ₂	3,260	0,064	1,977	0,126	44,000	0,003
Combustion							
Constituyente	Reacciones		Constituyente	Reacciones			
Metano	CH ₄ + 2 O ₂ → CO ₂ + 2 H ₂ O		Butano	2 C ₄ H ₁₀ + 9 O ₂ → 4 CO ₂ + 10 H ₂ O			
	2 CH ₄ + 3 O ₂ → 2 CO + 4 H ₂ O			2 C ₄ H ₁₀ + 9 O ₂ → 8 CO + 10 H ₂ O			
Etano	2 C ₂ H ₆ + 7 O ₂ → 4 CO ₂ + 6 H ₂ O		Nitrógeno	N + O ₂ → NO ₂			
	2 C ₂ H ₆ + 5 O ₂ → 4 CO + 6 H ₂ O		Dióxido de carbono	CO ₂ + O ₂ → 2 CO ₂			
Propano	C ₃ H ₈ + 5 O ₂ → 3 CO ₂ + 4 H ₂ O						
	2 C ₃ H ₈ + 7 O ₂ → 6 CO + 8 H ₂ O						
Balances							Salidas
Metano	0,067	kmol CH ₄	1	kmol CO ₂	1	kmol CH ₄	0,067
		kmol CH ₄	2	kmol CO	2	kmol CH ₄	0,067
Etano	0,010	kmol C ₂ H ₆	4	kmol CO ₂	2	kmol C ₂ H ₆	0,019
		kmol C ₂ H ₆	4	kmol CO	2	kmol C ₂ H ₆	0,019
Propano	0,002	kmol C ₃ H ₈	3	kmol CO ₂	1	kmol C ₃ H ₈	0,005
		kmol C ₃ H ₈	6	kmol CO	2	kmol C ₃ H ₈	0,005
Butano	0,0004	kmol C ₄ H ₁₀	4	kmol CO ₂	2	kmol C ₄ H ₁₀	0,001
		kmol C ₄ H ₁₀	8	kmol CO	2	kmol C ₄ H ₁₀	0,002
Nitrógeno	0,001	kmol N	1	kmol NO ₂	1	kmol N	0,001
Dióxido de carbono	0,003	kmol CO ₂	2	kmol CO ₂	1	kmol CO ₂	0,006
Balances							Entradas
Metano	0,067	kmol CO ₂	1	kmol O ₂	2	kmol CO ₂	0,034
		kmol CO	2	kmol O ₂	3	kmol CO	0,045
Etano	0,019	kmol CO ₂	4	kmol O ₂	7	kmol CO ₂	0,011
		kmol CO	4	kmol O ₂	5	kmol CO	0,015
Propano	0,005	kmol CO ₂	3	kmol O ₂	5	kmol CO ₂	0,003
		kmol CO	6	kmol O ₂	7	kmol CO	0,004
Butano	0,001	kmol CO ₂	4	kmol O ₂	9	kmol CO ₂	0,0003
		kmol CO	8	kmol O ₂	9	kmol CO	0,001
Nitrógeno	0,001	kmol CO ₂	1	kmol O ₂	1	kmol CO ₂	0,001
Dióxido de carbono	0,006	kmol CO ₂	2	kmol O ₂	1	kmol CO ₂	0,011
Composicion de aire				Comparacion balances			
N ₂		O ₂		Entrada		Salida	
0,466		0,126		0,67		0,66	

Vulcanización				
Reaccion		Balance		
$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{---C---C=C---C---} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \\ \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{---C---C=C---C---} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array} + 25 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{---C---C=C---C---} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{S} \quad \text{S} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array} $				
		Constituyente ³	Peso molecular (kg/kmol) ³	
		Azufre	64	
		Polibutadieno	112	
		Polibutadieno vulcanizado	176	
		Kg S	Kmol S	Kmol polibutadieno o vulcanizado
		133	2,083	1
		Polibutadieno vulcanizado producido (kmol)		2
				1,042

¹ Gas Natural Fenosa.

² MSDS, Linde de gas, febrero de 2005.

³ William D., Callister, Jr., (2007).

Fuente: elaboración propia.

3.3 Ecoindicadores

Para los ecoindicadores se realizaron dos cálculos:

En el primero, se tomó como base 1000 kg de producción; y en el segundo, una base de 30 kg de producción, la cual se estableció de acuerdo con la capacidad del equipo de mezclado (Banbury). En este paso se estableció una serie de indicadores de acuerdo con las entradas y salidas del proceso. Para ello, también fue necesario establecer unas unidades de trabajo con el fin de hacer una correcta relación de lo consumido por lo generado. En este caso, se trabajó en kilogramos (kg).

En la tabla 2, se observa el cálculo donde se tomó como base 1000 kg de producción. En esta se puede evidenciar que el ecoindicador más alto en las entradas corresponde a la eficiencia energética (1,538). Esto se debe a que la mayoría de equipos que trabajan en el proceso funcionan con energía eléctrica.

Por otro lado, en cuanto a las salidas, el ecoindicador más alto fue la generación de emisiones por combustión en el uso del combustible (4,5), ya que para la cantidad de combustible usado se generan muchas emisiones.

Tabla 2. Cálculos para producción de 1000 kg

Producción de 1000 kg de producto					
	Título indicador	EC	Valores	Ecoindicador no optimizado	Ecoindicador optimizado
Entrada	Eficiencia en uso de materias primas	Kg materias primas/Kg producto	1233	1,23	1,23
			1000		
	Eficiencia energética	Kwh materias primas/Kg producto	354	1,54	0,35
			1000		
	Eficiencia en el uso del agua	Kg agua consumida/Kg	0	0,25	0,00
			1000		

Producción de 1000 kg de producto					
Título indicador		EC	Valores	Ecoindicador no optimizado	Ecoindicador optimizado
Salida	Generación emisiones (producto)	Kg emisiones/Kg producto	0,348	0,01	0,00
			1000		
	Generación residuos	Kg residuos/Kg producto	2	0,00	0,00
			1000		
	Generación emisiones (combustible)	Kg emisiones/Kg combustible	0,348	4,47	0,22
			1,600		

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3 (cálculo para producción de 30 kg), se pudo determinar que, al igual que en la anterior tabla, se presentan elevados los mismos ecoindicadores. Sin embargo, el valor

de eficiencia energética en las entradas es mucho más alto (51,279), ya que se cambia la base de producción.

Tabla 3. Cálculo para producción de 30 kg

Producción real del producto					
Título indicador		EC	Valores	Ecoindicador no optimizado	Ecoindicador optimizado
Entrada	Eficiencia en uso de materias primas	kg materias primas/kg producto	37	1,23	1,23
			30,00		
	Eficiencia energética	kWh materias primas/kg producto	354	51,28	11,81
			30		
	Eficiencia en el uso del agua	kg agua consumida/kg	0	8,33	0,00
			30		
Salida	Generación emisiones (producto)	kg emisiones/kg producto	0,348	0,24	0,01
			30		
	Generación residuos	kg residuos/kg producto	2	0,00	0,067
			30		
	Generación emisiones (combustible)	kg emisiones/kg combustible	0,348	4,47	0,22
			1,600		

Fuente: elaboración propia.

La aplicación de esta herramienta dentro del proceso del análisis de operaciones permite cuantificar e identificar ineficiencias en el proceso y establecer qué tan altas son las

emisiones en este caso. Además, este cálculo le permite tener un indicio de las futuras implementaciones que se deben hacer dentro del proceso.

3.4 Diagrama de flujo de proceso no optimizado

Con base en lo establecido en el paso 2

se realizó el diagrama de flujo de procesos (figura 3), con lo cual se busca plasmar gráficamente todo el proceso de fabricación.

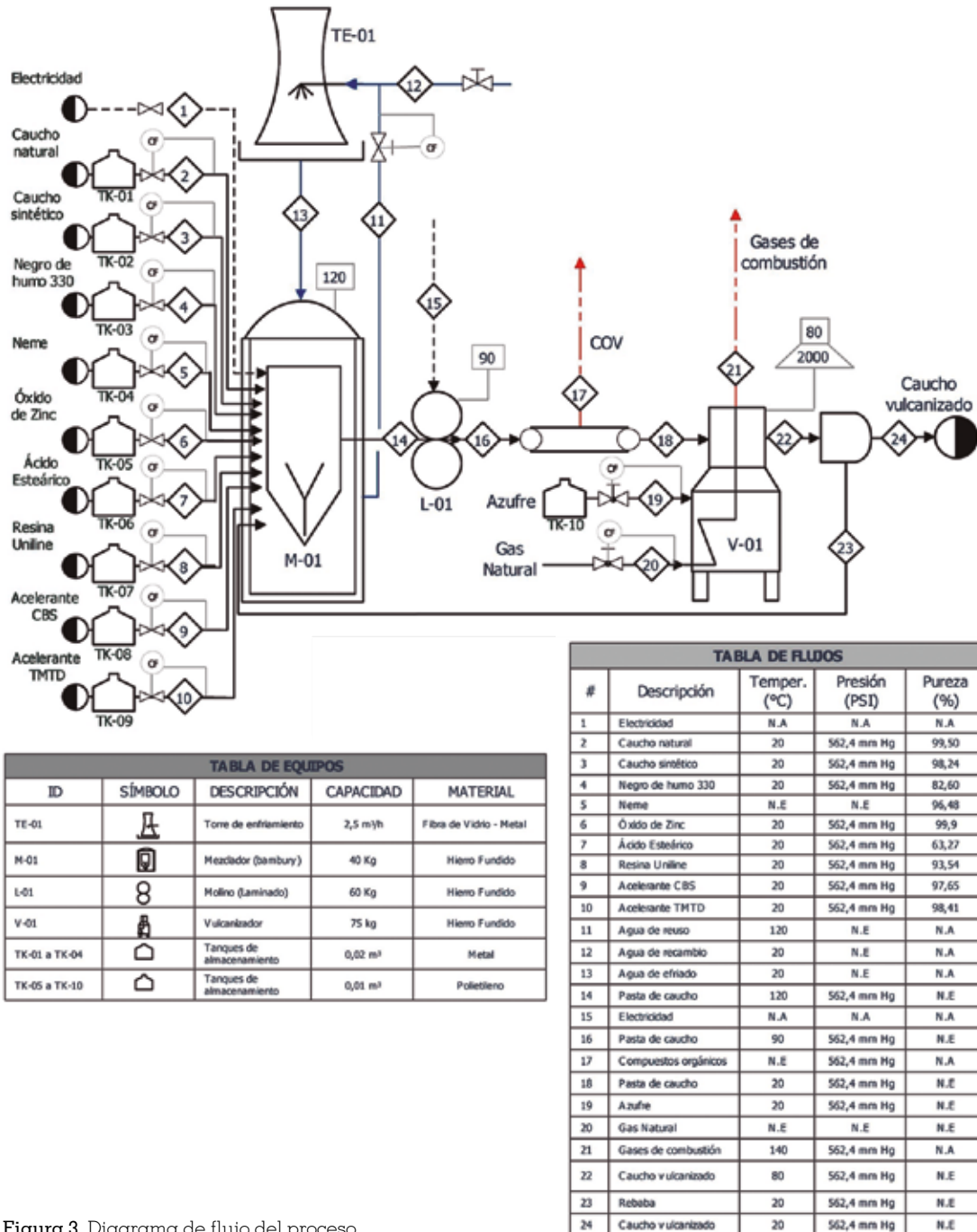


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso
Fuente: elaboración propia.

N.A.: No Aplica N.E.: No Especificado

Este tuvo en cuenta lo siguiente: flujos de entrada y salida, equipos, puntos de control y orden de los procesos.

Esta herramienta le permite a la persona que desee conocer el proceso comprenderlo de una forma gráfica más rotunda.

3.5 Evaluación de impactos ambientales

En este paso se obtuvo una matriz de aspectos ambientales (tabla 4). Esta se realizó de acuerdo con el método ya referenciado.

Según la escala para la valoración de la matriz, se pudo identificar un impacto alto que corresponde a la disminución de la carga de residuos de tratamiento especial por la recirculación del rebabado. Este hecho es muy positivo para la empresa, ya que se reducen costos en materia prima y espacio dentro de la empresa, y se afecta menos la carga de residuos en la ciudad. Aún no se genera una norma que controle este tipo de residuo por parte de la industria del caucho, pero sí se tiene la Resolución 6981 de 2011 donde se dictan los lineamientos para aprovechamiento de llantas y neumáticos. Sin embargo, el impacto por el

agotamiento del recurso hídrico en el consumo de agua es moderado.

Cada una de las valoraciones realizadas en esta matriz son de vital importancia para la toma de decisiones en favor de la implementación y mejoramiento del proceso (Secretaría, 2013).

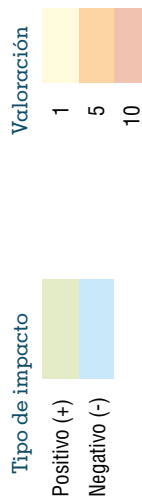
3.5 Producción más limpia

En esta etapa se realizó el análisis de todas las herramientas anteriormente aplicadas. Se dedujo que la optimización ambiental en el proceso debe ir enfocada a la disminución del consumo de energía y agua. De esta manera, mejora el sistema de recirculación de agua.

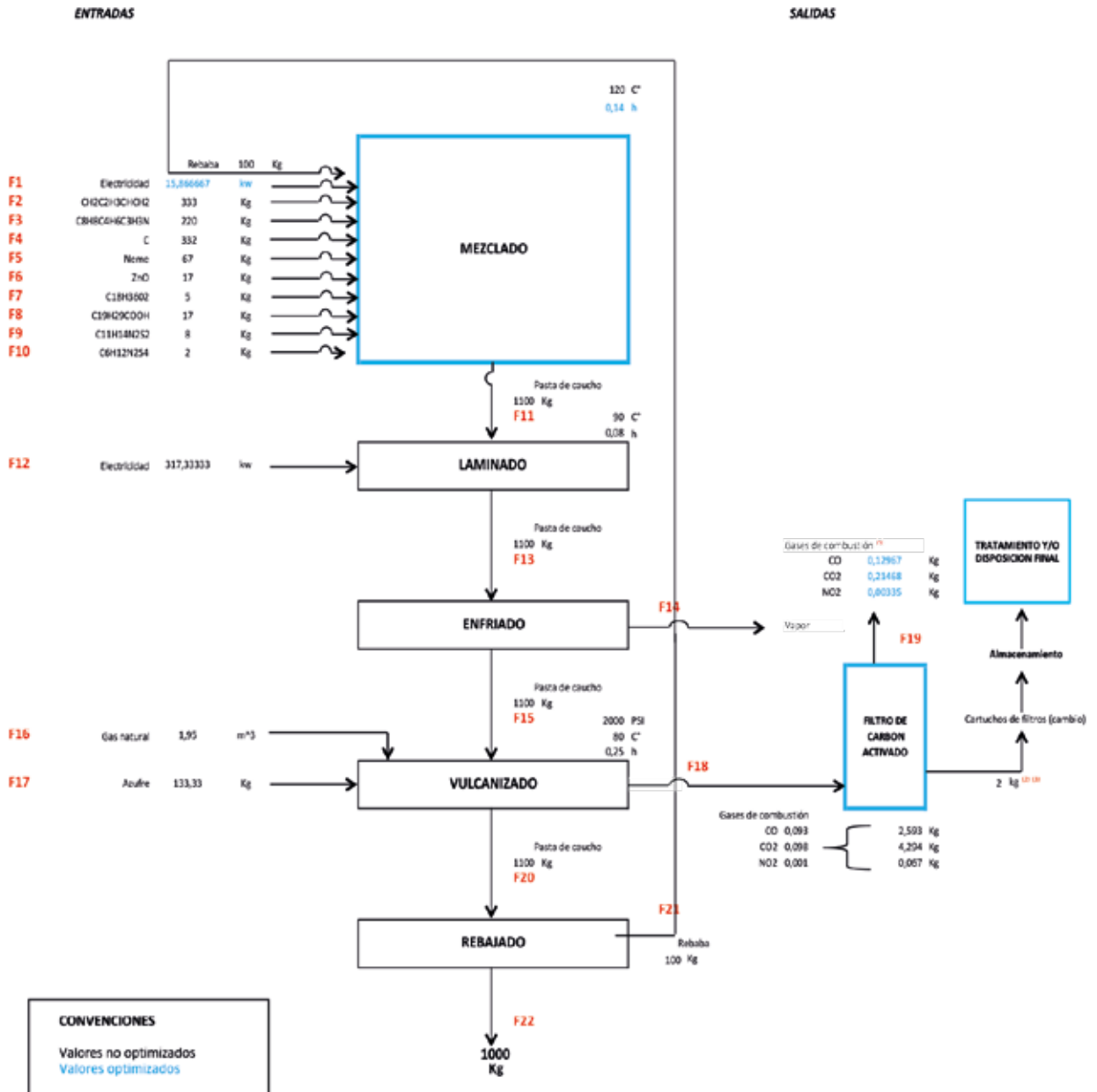
Por tanto, se propone un cambio tecnológico en la operación que mayor consume energía: el paso del equipo de mezclado (figuras 4 y 5 y tabla 5). El nuevo equipo será más eficiente y su costo se encuentra dentro de la capacidad de adquisición de la empresa, según el jefe de planta con quien se discutió la propuesta. El equipo nuevo corresponde a un mezclador Comerio Ercole, modelo 1990 (tabla 6).

Tabla 4. Matriz de impactos ambientales del proceso no optimizado

Actividad	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Frecuencia	Tipo de impacto	Criterios de valoración						Nivel de significancia	
					Alcance	Probabilidad	Duración	Recuperabilidad	Cantidad	Normatividad	Importancia	Significativo
Mezclado	Reciclaje de agua	Uso racional y eficiente del recurso hídrico	Normal	(+)	1	10	5	1	1	10	500	Bajo
	Consumo de agua	Agotamiento del recurso hídrico	Normal	(-)	10	5	10	10	10	10	500,000	Alto
Laminado	Consumo de energía eléctrica	Uso inadecuado y agotamiento del recurso hídrico	Normal	(-)	5	10	5	1	5	10	12,500	Bajo
	Emisión de material particulado	Afectación a la salud del recurso humano	Normal	(-)	5	10	5	1	1	10	2,500	Bajo
Enfriado	Consumo de energía eléctrica	Uso inadecuado y agotamiento del recurso hídrico	Normal	(-)	5	10	5	1	5	10	12,500	Bajo
	Emisión de gases de VOC	Afectación a la salud del recurso humano	Normal	(-)	1	10	5	1	5	10	2,500	Bajo
Vulcanizado	Consumo de gas	Agotamiento de los recursos no renovables	Normal	(-)	5	5	10	5	5	10	62,500	Bajo
	Generación de gases de combustión	Contaminación atmosférica	Normal	(-)	5	10	5	1	5	10	12,500	Bajo
Rebabeado	Reciclaje de residuos de caucho	Disminución en la carga de residuos de tratamiento especial	Normal	(+)	10	10	5	10	10	10	500,000	Alto



Fuente: elaboración propia.



- (1) Eficiencia del equipo entre 95-99% (<https://goo.gl/by3bli>)
- (2) Duracion o cambio de repuesto 5 años (<https://goo.gl/FRxsae>)
- (3) Peso del repuesto 2 kg (<https://goo.gl/oHjFcE>)

Figura 4. Diagrama de bloques - optimizado
Fuente: elaboración propia.

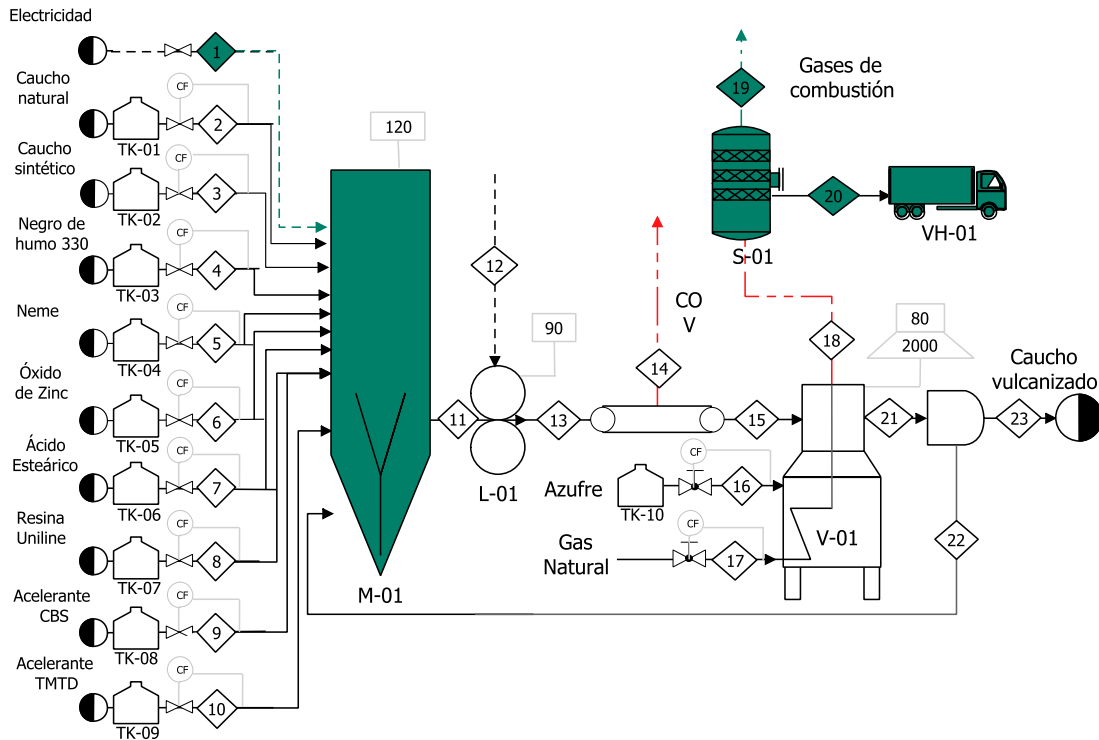


Tabla de equipos				
ID	Símbolo	Descripción	Capacidad	Material
M-01		Mezclador (bambury)	40 Kg	Hierro Fundido
L-01		Molino (Laminado)	60 Kg	Hierro Fundido
V-01		Vulcanizador	75 kg	Hierro Fundido
S-01		Control de emisiones	6,92 m ³	Hierro Fundido
TK-01 a TK-04		Tanques de almacenamiento	0,02 m ³	Metal
TK-05 a TK-10		Tanques de almacenamiento	0,01 m ³	Poliétileno
VH-01		Vehículo para transporte de residuos	500 kg	Furgonado

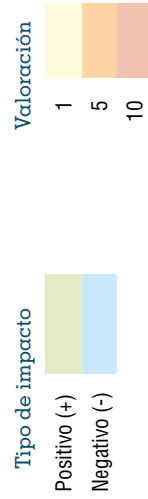
Tabla de flujos				
#	Descripción	Temper. (°C)	Presión (PSI)	Pureza (%)
1	Electricidad	N.A	N.A	N.A
2	Caucho natural	20	562,4 mm Hg	99,50
3	Caucho sintético	20	562,4 mm Hg	98,24
4	Negro de humo 330	20	562,4 mm Hg	82,60
5	Neme	N.E	N.E	96,48
6	Óxido de zinc	20	562,4 mm Hg	99,9
7	Ácido esteárico	20	562,4 mm Hg	63,27
8	Resina unilina	20	562,4 mm Hg	93,54
9	Acelerante CBS	20	562,4 mm Hg	97,65
10	Acelerante TMTD	20	562,4 mm Hg	98,41
11	Pasta de caucho	120	562,4 mm Hg	N.E
12	Electricidad	N.A	N.A	N.A
13	Pasta de caucho	90	562,4 mm Hg	N.E
14	Compuestos orgánicos	N.E	562,4 mm Hg	N.A
15	Pasta de caucho	20	562,4 mm Hg	N.E
16	Azufre	20	562,4 mm Hg	N.E
17	Gas natural	N.E	N.E	N.E
18	Gases de combustión	140	562,4 mm Hg	N.A
19	Gases de combustión	110	562,4 mm Hg	N.A
20	Caucho vulcanizado	80	562,4 mm Hg	N.E
21	Rebaba	20	562,4 mm Hg	N.E
22	Caucho vulcanizado	20	562,4 mm Hg	N.E

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso - optimizado
Fuente: elaboración propia.

N.A.: No Aplica N.E.: No Especificado

Tabla 5. Matriz de impactos ambientales del proceso optimizado

Actividad	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Frecuencia	Tipo de impacto	Criterios de valoración						Nivel de significancia	
					Alcance	Probabilidad	Duración	Recuperabilidad	Cantidad	Normalidad	Importancia	Significativa
Mezclado	Reciclaje de agua	Uso racional y eficiente del recurso hídrico	Normal	(+)	1	10	5	1	1	10	500	Bajo
	Consumo de agua	Agotamiento del recurso hídrico	Normal	(-)	10	1	5	5	5	10	12,500	Bajo
	Consumo de energía eléctrica	Uso inadecuado y agotamiento del recurso hídrico	Normal	(-)	5	5	5	1	5	10	6,250	Bajo
Laminado	Emisión de material particulado	Afectación a la salud del recurso humano	Normal	(-)	5	10	5	1	1	10	2,500	Bajo
	Consumo de energía eléctrica	Uso inadecuado y agotamiento del recurso hídrico	Normal	(-)	5	10	5	1	5	10	12,500	Bajo
Enfrizado	Emisión de gases de VOC	Afectación a la salud del recurso humano	Normal	(-)	1	10	5	1	5	10	2,500	Bajo
	Consumo de gas	Agotamiento de los recursos no renovables	Normal	(-)	5	5	10	5	5	10	62,500	Bajo
Vulcanizado	Generación de gases de combustión	Contaminación atmosférica	Normal	(-)	5	5	5	1	5	10	6,250	Bajo
	Reciclaje de residuos de caucho	Disminución en la carga de residuos de tratamiento especial	Normal	(+)	10	10	5	10	10	10	500,000	Alto



Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Características del mezclador Comercio Ercole.

Ciudad de importación	Italia
Costo en pesos colombianos	288 000 000
Capacidad para mezcla	50-55 kg
Tiempo de mezclado	8 a 9 minutos
Potencia del motor	150 hp
Consumo energético	112 kwh
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Cierres hidráulicos • 4 aspas de mezclado

Fuente: Comercio Ercole.

4. Conclusiones

El ecobalance, el ecoindicador y la matriz de evaluación de impacto son herramientas que se complementan y permiten identificar con mayor certeza técnica los límites y alcances del proceso productivo y la priorización de los impactos ambientales significativos a ser gestionados.

La compañía Productos Boxeador de Colombia se caracteriza por su mejoramiento continuo en relación con los aspectos ambientales. Por ello, al analizar y deducir los aspectos de optimización ambiental, sabemos que debe enfocarse en la disminución del consumo de energía. En ese orden de ideas, se propone el cambio del mezclador a uno más eficiente para reducir el tiempo de producción y así ahorrar energía.

Agradecimientos

A la empresa Productos Boxeador de Colombia, por permitirnos vivenciar sus procesos de producción.

A Adonis Vergara, jefe de producción de la empresa Productos Boxeador de Colombia, por su conocimiento y explicación de cada uno de los procesos.

A Ximena Castellanos Muñoz, coordinadora de calidad de la empresa Productos Boxeador de Colombia, por servir como intermediaria, para poder llevar a cabo la investigación.

Referencias

- Allen, D.T. y Shonnard, D.R. (2002), *Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*. Prentice Hall PTR Publishers, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Avellaneda, A., Lombana, N. I. y Mogollón, A. M. (2009). Propuesta metodológica para el análisis y planificación ambiental en procesos industriales: estudio de caso Multidimensionales S.A. *Revista de Tecnología – Journal of Technology*, 8 (1), 69-80.
- Delgado, F. M. (2014). *Los procesos industriales y el medioambiente: un nuevo paradigma*. Ibagué: Universidad de Ibagué.
- Secretaría Distrital de Ambiente (2013). *Plan institucional de gestión ambiental*. Consultado en <https://goo.gl/oqxEHR>.
- Van Hoof y Herrera, (2007). La evolución y futuro de la producción más limpia en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 26, 101-120.
- William D. y Callister, Jr. (2007). *Materials Science and Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.