

**BALANCE AMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA
ASFÁLTICA EN CALIENTE (MDC-2), EN LA PLANTA ASFALTART S.A.**

LEIDY LORENA NIÑO ESCOBAR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

**BALANCE AMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA
ASFÁLTICA EN CALIENTE (MDC-2), EN LA PLANTA ASFALTART S.A.**

LEIDY LORENA NIÑO ESCOBAR

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Químico**

Directora (UIS):

MARÍA PAOLA MARADEI GARCÍA, PhD

Co-dirección (Corasfaltos):

Química Marta Patricia Ruiz

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2013

A Dios por ser mi guía y acompañarme en los momentos de alegrías y tristezas,
dándome esperanza y fortaleza para seguir adelante.

A mi papas Guillermo Niño López y Olga Yanet Escobar Torres, por ser las bases sólidas de mi vida para formarme como persona íntegra, enseñándome el camino de la perseverancia y el nunca desfallecer a pesar de las adversidades, por el apoyo incondicional que me han ofrecido en todo momento, y por brindarme una familia en la cual encuentro amor, paz y comprensión.

A mis hermanos, por ser un motivo de alegría constante y parte fundamental para el logro de mis objetivos, ofreciéndome la posibilidad de ser un guía para su crecimiento.

A todas aquellas personas cercanas que creen en mí.

Leidy Lorena Niño Escobar.

AGRADECIMIENTOS

Ofrezco sinceros agradecimientos:

A la Dra. María Paola Maradei García, por brindarme su orientación y apoyo incondicional en el desarrollo de la práctica empresarial y como persona.

A la Química Marta Patricia Ruiz, por la confianza depositada, no solo por sus valiosos aportes en la realización de la práctica sino por permitirme compartir su amistad.

A la empresa Asfaltart S.A., por darme el espacio de aplicar los conocimientos adquiridos en mi formación académica.

A Corasfaltos por ser el intermediario en el convenio entre Universidad-Empresa.

A mis amigos por darme apoyo y colaboración en muchas de las actividades que tuve que realizar.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. METODOLOGÍA.....	20
1.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y LÍMITES DEL SISTEMA	20
1.2. RECONOCIMIENTO Y ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	21
1.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE EN LA EMPRESA	21
1.3.1. Procedimiento de evaluación realizado por Compañía de Consultoría Ambiental LTDA.....	22
1.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO EN LA ELABORACIÓN DE MDC-2	23
1.5. CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA DE CADA ETAPA DEL PROCESO	23
1.6. ELABORACIÓN DEL BALANCE AMBIENTAL	24
2. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	25
2.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y LÍMITES DEL SISTEMA	25
2.2. RECONOCIMIENTO Y ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	25
2.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE EN LA EMPRESA	26
2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO EN LA ELABORACIÓN DE MDC-2	27
2.5. CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA DE CADA ETAPA DEL PROCESO	28
2.6. BALANCE AMBIENTAL	28

2.6.1. Consumo recursos naturales.....	29
2.6.2. Consumo de recursos energéticos.....	30
2.6.3. Vertimientos.....	31
2.6.4. Residuos solidos.....	31
2.6.5. Emisiones atmosféricas.....	31
2.6.6. Comparación del inventario con las normas ambientales.	33
CONCLUSIONES.....	36
RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS.....	41

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación del ACV con dos herramientas de gestión ambiental [8]	17
Tabla 2. Demanda de recursos para la producción anual de mezcla asfáltica en caliente.....	29
Tabla 3. Residuos generados en el proceso de producción anual de MDC-2	31
Tabla 4. Comparación ambiental de gases de combustión procedentes de la etapa 4 [®4,*13].....	34

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas del ACV [3]	16
Figura 2. Representación del desarrollo experimental de la práctica investigativa .	20
Figura 3. Límites del sistema ACV de la puerta a la puerta para MDC-2	25
Figura 4. Etapas del proceso de producción de MDC-2	27

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Diagrama de bloques del proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente MDC-2	41
Anexo B. Producción mezcla asfáltica en caliente 2011 y primer semestre de 2012 de Asfaltat S.A.	42
Anexo C. Datos isocinéticos de los gases de la chimenea principal de la planta ...	43
Anexo D. Descripción de las etapas del proceso de producción de MDC-2	44
Anexo E. Reacciones de combustión completa	57
Anexo F. Determinación de la potencia de cada motor	59

RESUMEN

TÍTULO: BALANCE AMBIENTAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MDC-2), EN LA PLANTA ASFALTART S.A.*.

AUTOR: Leidy Lorena Niño Escobar**

PALABRAS CLAVES: Mezcla asfáltica en caliente, Análisis de ciclo de vida, Balance ambiental, emisiones gaseosas, impactos ambientales.

RESUMEN:

El ACV (análisis de ciclo de vida) es un método de evaluación de impacto ambiental. En este estudio se implementó las dos primeras etapas del ACV para definir el perfil ambiental de la planta de producción de MDC-2 (mezcla asfáltica en caliente) de Asfaltart S.A., estableciendo límites del sistema de la puerta a la puerta y cuantificando las corrientes de entrada y salida del proceso, con el cual se obtuvo el inventario.

Con base en lo anterior se realizó la interpretación de los datos recopilados donde se encontró el consumo de recursos naturales y recursos energéticos, además se obtuvo los residuos generados en el proceso de elaboración de MDC-2, estas cargas ambientales se clasificaron cualitativamente en categorías de posibles impactos ambientales como: PCG (Potencial de calentamiento global), PAO (Potencial de agotamiento de la capa de ozono), PTH-salud humana (Potencial de toxicidad humana), PEcAq (Potencial de ecotoxicidad acuática), PecTe (Potencial de ecotoxicidad terrestre) y PA-salud ecológica (potencial de acidificación), encontrando incidencia en cuatro de ellas (PCG,PAO, PTH y PA).

Finalmente se compararon los datos de emisiones gaseosas de la chimenea principal de la planta con las normas ambientales vigentes nacionales, como la Resolución 909 de 2008 (Norma colombiana de emisión admisibles) y la Resolución 610 de 2010 (Norma colombiana de calidad de aire), encontrándose que los valores de gases emitidos a la atmósfera son inferiores a los máximos permitidos, por tanto la planta de producción de MDC-2 cumple con normativa colombiana.

* Proyecto de grado

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: PH.D. María Paola Maradei García. Codirector: Química. Marta Patricia Ruiz.

ABSTRACT

TITLE: ENVIRONMENTAL BALANCE OF PRODUCTION PROCESS HOT MIX ASPHALT (MDC-2), ON THE GROUND ASFALTART S.A.*.

AUTHOR: Leidy Lorena Niño Escobar**

KEYWORDS: Hot Mix Asphalt, Life cycle analysis, Environmental balance, Gas emissions, Environmental impacts.

ABSTRACT:

LCA (Life Cycle Assessment) is a method of environmental impact assessment. This study implemented the first two stages of LCA to define the environmental profile of the production plant of MDC-2 (hot mix asphalt) of Asfaltart S.A., establishing system boundaries from *door to door* and quantifying the input and output streams of the process, with which the inventory was obtained.

Based on the above was made the interpretation of the data collected where the consumption of natural resources and energy resources were found, also was obtained the waste generated in the process of elaboration of MDC-2, these environmental loads are qualitatively classified into categories possible environmental impacts as: GWP (Global Warming Potential), ODP (The layer ozone depletion potential), PTH-human health (human toxicity potential), PEcAq (Aquatic ecotoxicity potential), PecTe (Terrestrial ecotoxicity potential) and PA-ecological health (Acidification potential) finding impact in four of them (GWP, ODP, PTH and PA).

Finally were compared the data gaseous emissions of the main chimney of the plant with the current environmental regulations, as Resolution 909 of 2008 (Colombian allowable emission standard) and Resolution 610 of 2010 (Colombian air quality standard), finding the values of gases emitted in the atmosphere are lower than the maximum allowed, therefore the production plant of MDC-2 complies with the Colombian standard.

* B. Sc. Thesis

** Physical – Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Directora: PH.D. María Paola Maradei García. Codirector: Química. Marta Patricia Ruiz

INTRODUCCIÓN

Debido a que el desarrollo industrial presentado en los últimos años, por los diferentes sectores empresariales, genera inquietud en el tema del desarrollo sostenible, se hizo necesario la creación de métodos de análisis de impacto ambiental donde la industria debe asumir un compromiso con el medio ambiente en la reducción de las emisiones atmosféricas, que contribuyen al calentamiento global, para favorecer la conservación de los recursos naturales no renovables y por ende proteger la salud humana.

Uno de los sectores influyentes en emisiones ambientales son las plantas de asfalto conformadas por una serie de elementos, dispositivos, mecanismos, equipos y sistemas organizados para la producción de mezcla asfáltica en caliente. La mezcla asfáltica en caliente es la capa superficial del pavimento de carreteras, varía su composición de acuerdo con las condiciones climáticas del entorno donde se va aplicar, está constituida por agregados pétreos provenientes de canteras y cemento asfáltico procedente de refinerías de petróleo.

Las plantas de producción de mezcla asfáltica en caliente contribuyen al consumo de los recursos naturales como el cemento asfáltico, agregados pétreos, diesel y gas natural, y en su proceso a la emisión de gases contaminantes del ambiente y material particulado que afecta directamente el ambiente, sus trabajadores y la población del entorno.

Por lo anterior, la empresa Asfaltart S.A., junto con la colaboración de Corasfaltos y de la Universidad Industrial de Santander y bajo el marco de la maestría de ingeniería ambiental, está realizando la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), potencial de la planta de procesamiento ubicada en el 5 km de la vía a Girón,

sobre el Anillo Vial, determinando los puntos críticos de emisión, consumo energético y másico lo que le permite verificar si existe cumplimiento de las normas ambientales nacionales vigentes.

El estudio presentado a continuación va dirigido a la elaboración del Balance Ambiental de la mezcla asfáltica en caliente MDC-2 producida por la empresa Asfaltart S.A., basándose en el consumo y producción del año 2011 y primeros seis meses del 2012, también en datos de muestreo tomados en el funcionamiento de la planta de producción por lotes.

De acuerdo con el reporte de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), las principales emisiones contaminantes de una planta de mezcla asfáltica por lotes son: material particulado (MP10), compuestos aromáticos volátiles (VOC), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), fenoles y metales de compuestos peligrosos de aromáticos policíclicos [1].

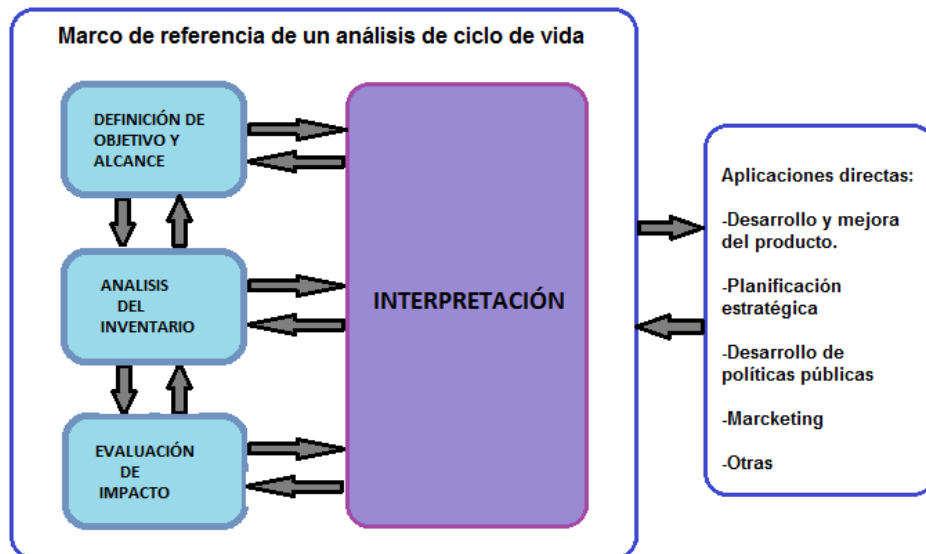
La planta con la que cuenta Asfaltart S.A., se divide en varias etapas productivas como son: calentamiento de cemento asfáltico, transporte de agregados pétreos, secado de agregados pétreos y mezclado del cemento asfáltico con agregados pétreos, para las cuales la empresa no cuenta con la identificación y cuantificación de cada una de las corrientes de entrada y salida de estos subprocesos. Sin la anterior información no se puede llevar a cabo el EIA que tiene el proceso de producción de mezcla asfáltica.

Cabe resaltar que la planta cuenta con un control de emisiones en la chimenea principal cumpliendo con las normas vigentes de emisiones contaminantes, resolución 909 de 2008 [4]. Sin embargo, esto no indica que la empresa cuente con un soporte ambiental de la planta donde se pueda identificar los puntos fijos de emisión, ni posee un inventario de consumo de materias primas y energía para un periodo de tiempo.

El EIA evalúa el cambio en el medio ambiente beneficioso o perjudicial como resultado total o parcial que provoca la fabricación de un producto [2]. Esta evaluación se puede realizar a través de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que para este caso es de “la puerta a la puerta” (ver Figura 1). Por medio del ACV se puede identificar, prevenir, interpretar y cuantificar los posibles impactos al entorno buscando la mejora del proceso, optimizando los puntos de mayor consumo de recursos y disminuyendo las emisiones ambientales, generando una producción más limpia sin alterar la calidad del producto obtenido.

El ACV es una poderosa herramienta de gestión ambiental que puede ayudar en la toma de decisiones por parte de quienes tienen a su cargo los destinos de la empresa, ya sea que se emplee sola o conjuntamente con otras herramientas como la evaluación del riesgo [8].

Figura 1. Etapas del ACV [3]



Generalmente se tiende a confundir el ACV con otras herramientas ambientales muy conocidas que también conllevan a la EIA, sin embargo, el objetivo de cada una se orienta hacia un punto objeto diferente como se muestra en la Tabla 1, por

eso es importante tener claro que se desea conseguir con el EIA de un servicio o producto.

Tabla 1. Comparación del ACV con dos herramientas de gestión ambiental [8]

METODO	OBJETO	OBJETIVO	PROCESO
AA	EMPRESA	Adaptación a una norma ambiental	Análisis situaciones Puntos débiles Propuestas
ACV	PROCESO	Evaluación y mejora de impacto ambiental	Inventario Evaluación de impacto Acciones
EIA	PROYECTO	Decisión sobre un proyecto	Evaluación de impacto ambiental y social Medidas correctivas Necesidad del proyecto

El inicio a nivel mundial del ACV se ubica en la década de los setenta donde se dieron a conocer varios estudios durante la 1a Cumbre Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo que tuvo lugar en Estocolmo en 1972, y que llevo por nombre la Conferencia de las Naciones Unidas de 1972 sobre Ambiente Humano. Sin embargo, el primer ACV referenciado lo realizó Harry E. Teasley Jr. para Coca-Cola Company en 1969. El objetivo principal era determinar las cantidades de energía, materiales e identificar los impactos ambientales que se presentaban durante la vida útil de los envases [5].

En Colombia los primero trabajos sobre ACV se dieron en 1997 con la creación de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) y los Comités Técnicos de Normalización, espejos del ISO/TC-207, para discutir normas nacionales estándares como la ISO 14000 y 14040. Una de las universidades pioneras en este estudio es La Universidad de los Andes donde se elaboraron

tesis de pregrado que abarcaron diferentes sectores de la industria (agrícola, químico, polímeros, metalmecánico, petroquímico, construcción y servicios) [5].

En países europeos como España se han copilado bases de datos de diferentes industrias, entre ellas se encuentra la fabricación de mezclas bituminosas en caliente para la reducción de emisiones a través de la aplicación del ACV y así obtener diferentes alternativas en diseño, materiales o sistemas productivos disminuyendo las emisiones directas e indirectas que implica el proceso [6]. En Guatemala se conocen tesis de pregrado que además de encargarse del diseño, montaje y operación de una planta de mezcla asfáltica en caliente, también analizan el impacto ambiental presentado al entorno [7].

Se puede encontrar diferentes trabajos de grado en la Universidad Industrial de Santander referentes al ACV de varios productos como por ejemplo, la producción de biodiesel y bioetanol, dirigidos por la Escuela de Ingeniería Química, basados en los aspectos medioambientales que afecten el ciclo de vida de los biocombustibles, determinando los impactos ambientales producidos en el transcurso del ciclo de vida del producto [9, 10].

Pese a los anteriores estudios realizados, el país no cuenta con un ACV para la producción de mezcla asfáltica en caliente MDC-2 siendo una necesidad fundamental para el gremio ya que genera a la empresa una herramienta para la toma de decisiones asociadas al mejoramiento productivo y a la disminución de impactos ambientales asociados. Por otra parte, un ACV de este tipo se convierte en una referencia para el país, y específicamente para la industria de mezclas asfálticas en caliente.

El objetivo del estudio es realizar el Balance Ambiental del proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente MDC-2 en la planta Asfaltart S.A., realizándose para ello la dos primeras etapas del ACV que viene regido por las normas ISO

14040 [2], las cuales consisten en la cuantificación de corrientes de entrada y salida de masa y energía en cada una de las etapas del proceso. Esto conlleva al desarrollo del inventario necesario para la posterior EIA potencial de las cargas emitidas (no objeto de este estudio), las cuales son generalmente comparadas con las normas vigentes nacionales ambientales que aplican para este tipo de industria.

Por tanto, inicialmente se elaboró el diagrama del proceso para conocer y entender el funcionamiento de cada uno de los equipos de la planta y determinar cada una de las operaciones unitarias que se llevan a cabo, permitiendo la identificación de las corrientes de entrada y salida del proceso (materia prima, energía, combustibles, emisiones, subproductos y productos).

En la cuantificación de las corrientes de entrada y salida para obtención del inventario se aplicó el principio de la primera ley de la termodinámica y se tuvo en cuenta los estados de la materia de cada una de las corrientes de cada etapa del proceso para realizar los respectivos balances de masa y energía [11].

Para el Balance Ambiental se realizó una comparación de las corrientes contaminantes con las normas colombiana vigentes para el ambiente como la Resolución 910 del 5 de Junio de 2008 (niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres), [12], la Resolución 610 de 2010 (Norma de calidad de aire o nivel d emisión), [13], la Resolución 0909 de 2008 (Norma y estándares de emisión admisibles), [14], la Resolución 8321 de 1983 (Protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos).

1. METODOLOGÍA

La Figura 2 muestra el esquema global de la metodología que se implementó para el estudio en la planta de mezcla asfáltica en caliente MDC-2 de Asfaltart S.A.

Figura 2. Representación del desarrollo experimental de la práctica investigativa



1.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y LÍMITES DEL SISTEMA

Constituye la primera etapa del ACV donde se debe determinar el alcance del proyecto, es decir hasta dónde y qué se desea conseguir con el EIA. Por ende, se debe definir el tipo de información requerida para el análisis del inventario con sus

respectivos parámetros, además se deben señalar las fronteras del sistema a evaluar.

1.2. RECONOCIMIENTO Y ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Se observó el funcionamiento de la planta de producción de mezcla asfáltica en caliente de Asfaltart S.A., ya que es necesario conocer las operaciones unitarias implicadas y entender el funcionamiento de los equipos que intervienen en el proceso. Se elaboró el diagrama de flujo a partir del reconocimiento hecho de las zonas de mayor influencia de entradas y salidas.

1.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE EN LA EMPRESA

La recopilación de información se realizó teniendo en cuenta los archivos existentes de Asfaltart S.A., en cuanto a consumo de materias primas y producción de mezcla asfáltica en caliente del año 2011 y del primer semestre del 2012. Además, se verificaron y utilizaron en la elaboración de los balances los registros de pruebas ambientales realizadas a la planta de proceso como la evaluación en la concentración de emisiones atmosféricas de una fuente fija, elaborado por la Compañía de Consultoría Ambiental LTDA.

1.3.1. Procedimiento de evaluación realizado por Compañía de Consultoría Ambiental LTDA

- Muestreo isocinético en chimenea (MP, SO₂)

Establece las emisiones reales de la fuente a evaluar determinando los siguientes parámetros: flujo de combustible, temperatura de gases, isocinetismo global y puntual, contenido de humedad de los gases, velocidad de gases, emisión de partículas (ETP), y análisis de composición de los gases (SO₂, CO, CO₂, y O₂), medidos en los orificios del muestreo.

Durante las pruebas isocinéticas se llevó a cabo los procedimientos establecidos por la EPA encontrados en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por una fuente fija que fue adoptado por la Resolución 760 del 20 de Abril de 2010 del MAVDT y ajustado mediante la Resolución 2153 del 2 Noviembre de 2012 del MAVDT.

El equipo utilizado en la medición de gases de combustión es el analizador digital de gases marca TESTO, Modelo 335 (Principio de análisis electroquímico). En la ejecución de las pruebas o muestreos isocinético, se utilizó un equipo UNIVERSAL STACK SAMPLER, marca GRASEBY/ANDERSEN [15].

- Óxidos de nitrógeno

Se determinaron las emisiones de óxidos de nitrógeno evaluado como NO₂ al aire con la aplicación de los métodos 5, 6 y 7 de la EPA, se utilizó los mismos equipos del muestreo isocinético UNIVERSAL STACK SAMPLER, marca GRASEBY/ANDERSEN [15].

1.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO EN LA ELABORACIÓN DE MDC-2

El proceso de producción se dividió en etapas para la cuantificación de los flujos de entrada y salida, cada una de ellas está conformada por uno o más equipos del proceso, los cuales se agruparon de acuerdo con la similitud de corrientes existentes entre estos o por inconvenientes presentados al medir los flujos de entrada o salida.

1.5. CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA DE CADA ETAPA DEL PROCESO

Para cada etapa del proceso se realizaron los respectivos balances de masa y energía teniendo en cuenta las características de cada una de las materias que intervienen en el proceso, como su estado de agregación sólido, líquido o gaseoso, las condiciones de temperatura y caudales de cada una de ellas, así como las suposiciones de reacción de combustión completa y entalpías de formación de los reactivos y productos. En la medición de las anteriores variables se emplearon los sensores de temperatura y flujo existentes en la planta de asfalto; Elva 60 marca ABL INTERNATIONAL S.A., y el termómetro Professional Heavy Duty Digital Thermometer Model DT-503.

Los consumos energéticos eléctricos se determinaron a partir del consumo de potencia medido para todos los motores de los equipos presentes en la planta sin importar a que etapa pertenecen, para la medición se empleó la pinza amperimétrica Pinza Multímetro GEF G-34 1000 Aca, Vca/cc, tomando la lectura de la corriente y voltaje de cada motor.

1.6. ELABORACIÓN DEL BALANCE AMBIENTAL

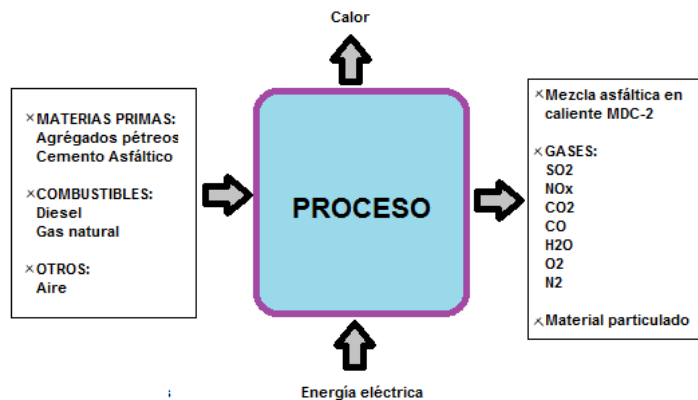
Se analizan los datos recopilados categorizando cualitativamente las cargas ambientales encontradas en el inventario de acuerdo con el impacto que se tiene en los diferentes puntos del desarrollo sostenible como: calentamiento global, consumo de recursos energéticos, reducción de la capa de ozono, acidificación, consumo de recursos naturales y salud ecológica. Se determinaron los impactos que se presentan en las personas que laboran en el área de producción.

2. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

2.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y LÍMITES DEL SISTEMA

La evaluación del impacto ambiental del proceso pretende conocer los puntos fijos de emisiones contaminantes y la cuantificación de las corrientes mejorando la toma de decisiones por parte de la empresa en la optimización del proceso. Los límites del sistema se establecieron por la metodología ACV de la puerta a la puerta, es decir a partir del almacenamiento de la materia prima hasta el despacho del producto. La Figura 3 representa los límites del proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente MDC-2 tenido en cuenta para este estudio.

Figura 3. Límites del sistema ACV de la puerta a la puerta para MDC-2



2.2. RECONOCIMIENTO Y ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

De acuerdo con el seguimiento efectuado al proceso se identificó:

- La operación unitaria principal del proceso es el secado que se realiza a contraflujo en un tambor secador giratorio donde se produce la combustión de gas natural y la evaporación de la humedad de los agregados pétreos.
- Todos los equipos que intervienen en el proceso poseen una entrada y salida de energía de diferente forma.
- Se identificaron cualitativamente los puntos de emisión de gases atmosféricos y material particulado como lo son las chimeneas de escape de gases presentes en la planta.

El diagrama de flujo del proceso de producción de mezcla asfáltica elaborado se encuentra en el Anexo A, allí se especifican cualitativamente las corrientes de entrada y salida para cada operación de la planta.

2.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE EN LA EMPRESA

La información recopilada de los archivos de Asfaltart S.A., señala la cantidad de producción de mezcla asfáltica por mes, con el cual se determinó el número de horas de funcionamiento que fue igual a 80h (ver Anexo B). Lo anterior permite saber el tiempo de producción mensual.

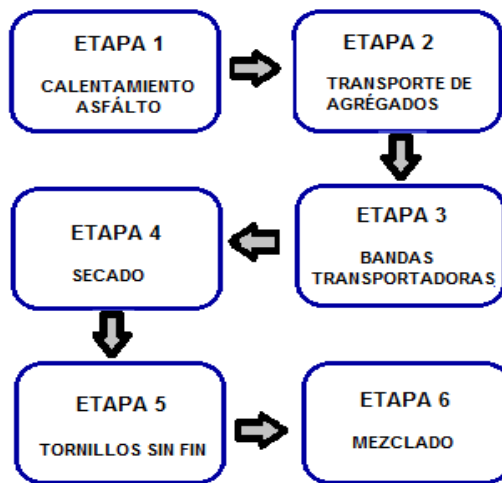
En el muestreo isocinético del 2011 se encontró la composición de los gases, la temperatura y la velocidad de salida de los mismos en la chimenea (ver Anexo C), donde se observa la composición de los gases emitidos a la atmósfera generados por una fuente fija como la operación de secado que se hace en la planta. Se verifica que la empresa Asfaltart S.A., cumple con la resolución 909 de 2008 [4].

Sin embargo, a pesar de la información brindada por la empresa se desconoce la composición y condiciones de los gases a la salida de la caldera y del cargador utilizado para el transporte de la materia prima, así como el consumo de energía

eléctrica, el consumo de combustibles como gas natural y diesel para el funcionamiento de los equipos.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO EN LA ELABORACIÓN DE MDC-2

Figura 4. Etapas del proceso de producción de MDC-2



En la planta de producción de mezcla asfáltica en caliente, los agregados son secados y mezclados a temperaturas entre 150 a 180°C, la operación de la planta es discontinua. En este proceso los agregados son combinados, calentados, secados, dosificados y mezclados con el cemento asfáltico para producir una mezcla en caliente. De acuerdo con el reconocimiento que se realizó, el proceso se dividió en 6 etapas las cuales se representan en la Figura 4, la descripción detallada de cada una se encuentra en el Anexo D.

2.5. CUANTIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA DE CADA ETAPA DEL PROCESO

A cada etapa del proceso se le realizó la cuantificación y caracterización de las corrientes que intervienen en cada una, el consumo de energía eléctrica de todos los motores de la planta, sin importar la etapa a la que pertenezcan, y se determinó la corriente y el voltaje de cada uno. Los valores se referencian en el Anexo E.

Fue necesario asumir reacción de combustión completa porque no hubo la posibilidad de caracterizar y cuantificar la composición de los gases atmosféricos de salida provenientes de la combustión en la etapa 1 y 2, puesto que no se disponía del equipo necesario para el muestreo. Las ecuaciones implementadas se encuentran en el Anexo F.

Se construyeron los balances de energía y masa para cada etapa, la identificación de los consumos de materia prima y energéticos se pueden observar en las Figuras 6-11 y las Tablas 9-14 del Anexo D. Donde no se encuentran pérdidas significativas de masa de agregados pétreos ya que solo se pierden 278,4 kg de finos para una producción anual de MDC-2; sin embargo la energía eléctrica disipada al medio es apreciable comparando la energía consumida por los motores (ver Anexo E), y la aprovechada en el funcionamiento de los equipos (ver Tablas 9-14), emitiendo calor al entorno.

2.6. BALANCE AMBIENTAL

Basada en el inventario obtenido se presenta un resumen del consumo de recursos naturales y energía que se requieren anualmente en el proceso el cual se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2. Demanda de recursos para la producción anual de mezcla asfáltica en caliente

Demanda		Cantidad	Uso
Recurso natural	Agregado pétreo 3/8"	31649568 kg	Materia prima de MDC-2
	Agregado pétreo 1/2"	13563532,8 kg	Materia prima de MDC-2
	Cemento asfáltico	2312064 kg	Materia prima de MDC-2
	Aire	12997113,6 kg	Caldera, cargador, turbo ventilador y compresor
Recurso energético	Gas natural	271007,8 kg	Combustible de caldera y tambor secador
	Diesel	6027,9 m ³	Combustible cargador
	Electricidad	200060,9 KWh	Funcionamiento equipos de toda la planta

2.6.1. Consumo recursos naturales. Normalmente los agregados pétreos son extraídos de las canteras, su obtención implica una serie de pasos que pueden afectar el medio ambiente, sin embargo esto no compete los límites del sistema del estudio, en cuanto a su uso inadecuado genera mayor consumo de los mismos y baja eficiencia del proceso contribuyendo al agotamiento de los recursos no renovables existentes en la tierra. Su manipulación no implica riesgos para la salud humana ni ecológica.

El cemento asfáltico proveniente de las refinerías de petróleo que genera grandes impactos ambientales en su obtención, pero no se encuentra dentro de los límites de este estudio. En la elaboración de mezcla asfáltica es importante que su uso sea el adecuado y total ya que el vertimiento implica un consumo extra en la demanda del mismo. Su manipulación no implica riesgo para la salud humana sin embargo en caso de derrames puede llegar a afectar el ecosistema donde se presente el incidente.

2.6.2. Consumo de recursos energéticos. En el proceso que se lleva a cabo en la empresa Asfaltart S.A., se presenta el uso de dos combustibles como los son: el gas natural proveniente de yacimientos y el diesel procedente de refinerías aunque la obtención de estos combustibles generan residuos, están fuera de los límites del estudio. Sin embargo, el consumo de los anteriores debe ser con la máxima eficiencia energética y así favorecer la conservación de estos recursos energéticos.

Teniendo en cuenta que el principal componente del gas natural es el metano las concentraciones altas de mismo, contribuyen en un 15% en el calentamiento global ya que ocupa el 3^{er} puesto de los GEI y reduce y disminuye la capacidad de la atmosfera en auto regenerarse [18].

Los efectos que se pueden presentar en la salud humana son: la asfixia, pérdida de conocimiento e incluso la muerte por la absorción del gas por inhalación debido a la reducción de oxígeno [18].

El consumo de energía eléctrica puede generar cambios en las temperaturas del ambiente por la baja eficiencia del trabajo de los equipos y genera oleadas de calor que pueden provocar afecciones cardiacas de los operadores que se exponen por largo tiempo a estas condiciones de trabajo.

En el Balance Ambiental se seleccionaron las categorías de impacto ambiental más representativas de acuerdo al objetivo planteado inicialmente. En la Tabla 3 se presentan los datos recopilados en el inventario anual transformados en resultados de carácter ambiental de acuerdo con la producción anual de MDC-2, identificando los posibles impactos ambientales como son: PCG (Potencial de calentamiento global), PAO (potencial de agotamiento de la capa de ozono), PTH- salud humana (potencial de toxicidad humana), PEcAq (potencial de ecotoxicidad

acuática), PecTe (potencial de ecotoxicidad terrestre) y PA-salud ecológica (potencial de acidificación).

Tabla 3. Residuos generados en el proceso de producción anual de MDC-2

Residuos		Cantidad (kg)	Etapa	Categoría de impacto					
				PCG	PAO	PEcAq	PTH	PA	PecTe
Vertimientos	Ninguno								
Sólidos	PST	278,4	4				X		
Emisiones gaseosas	CO ₂	500520	1, 2 y 4	X	X		X		
	H ₂ O	1813296	1, 2 y 4	X					
	CO	3264	4	X	X		X		
	SO ₂	249,6	4	X	X		X	X	
	NOx	105,6	4	X	X		X		

2.6.3. Vertimientos. La planta de producción de MDC-2 de Asfaltart S.A., no genera ningún tipo de vertimiento de líquidos como agua contaminada, favoreciendo la conservación de los ecosistemas acuáticos.

2.6.4. Residuos sólidos. El principal residuo sólido que se tiene del proceso es el material particulado el cual puede ocasionar daños en la salud de los operarios como problemas respiratorios. Gracias a la cantidad mínima de emisión que presenta no genera cambios significativos en el ambiente.

2.6.5. Emisiones atmosféricas. Tres de las etapas del proceso requieren de la combustión de diferentes combustibles ya sea para calentamiento, secado o transporte de materias primas, lo cual implica la generación de una emisión de gases a la atmósfera.

Cuando se presenta la combustión completa se puede obtener gases como el CO₂ y vapor de agua. El dióxido de carbono proveniente de la combustión de productos

derivados del petróleo es la mayor fuente de emisiones generadoras del efecto de invernadero y por ende del cambio climático global; se le atribuye el 75 % de dichas emisiones. Entre 1965 y 1998, las emisiones mundiales de carbono se duplicaron, lo que equivale a un incremento anual del 2,1% en promedio, lo cual resulta acorde con el aumento en el consumo de combustibles, para el cual se tuvo un aumento del 12% entre 1990 y 1999 [14].

Cuando se presenta la combustión incompleta se generan otro tipo de gases además del CO_2 , como lo son los SO_2 , CO y NO_x . La contaminación atmosférica ocasionada por la emisión de gases y partículas anteriormente mencionadas son causantes de los impactos ambientales: smog fotoquímico, lluvia ácida y calentamiento global, principalmente. El *smog* fotoquímico se refiere a la formación de constituyentes oxidantes en la atmósfera, como el ozono, debido a la reacción fotoinducida de los hidrocarburos o COV, y NO_x . La lluvia ácida se refiere a las reacciones atmosféricas que pueden ocasionar una precipitación con un valor de pH menor que el de las precipitaciones normales. Los agentes causantes de la formación de lluvia ácida están asociados con la emisión de SO_2 y posiblemente con la emisión de NO_x [14].

Las principales afecciones en la salud humana por la inhalación de los GEI son: la pérdida de conciencia para concentraciones de CO_2 mayores de 0,03%p en el entorno y en espacios cerrados para concentraciones de CO superiores a 700ppm, este puede provocar incluso la muerte. En cuanto a la exposición a NO_x se pueden presentar problemas respiratorios ya que estos gases son tóxicos.

Por tanto, las emisiones atmosféricas de estos gases presentan cambios directos e indirectos no sólo al entorno donde son emitidos sino en todos los ecosistemas del planeta gracias a su acumulación en la capa de ozono y a su permanencia en la atmósfera por largo tiempo. Provocando cambios climáticos inesperados,

concentración de ácidos por las lluvias y por tanto variación en la composición de los suelos de posibles cultivos de alimentos.

2.6.6. Comparación del inventario con las normas ambientales. A continuación se expone la comparación del inventario obtenido con las normas ambientales vigentes para las etapas del proceso de posible impacto ambiental, y la caracterización de las emisiones generadas que pueden llegar a afectar: al medio ambiente, a la salud humana y a la disponibilidad de recursos naturales presentado en la elaboración de MDC-2.

Para el análisis se evaluó solo las etapas donde se encuentran emisiones atmosféricas gaseosas producto de la combustión.

La caldera utilizada en el calentamiento del asfalto opera con gas natural y no cuenta con un sistema de control de emisiones. En esta etapa se asumió combustión completa con exceso de aire del 80%, según referencia bibliográfica para este tipo de proceso [6]. Como no se conoce la composición real de los gases de salida no es posible compararlos con las normas ambientales existentes que aplican en esta etapa, sin embargo la suposición de combustión completa señala que la concentración de gases a la salida de la caldera cumple con la norma ambiental colombiana de emisiones admisibles para fuentes fijas Artículo 7 de la Resolución 909 de 2008. Sin embargo estas emisiones contribuyen a la acumulación de gases de efecto invernadero como lo es el CO₂ que genera aumento en la temperatura del planeta y por ende cambio climático en todos ecosistemas de la tierra.

El motor de combustión interna de la etapa 2 funciona con diesel, también se asumió combustión completa con un exceso de aire de 150% según lo reportado en la bibliografía para este tipo de proceso [6]. Como no se conoce la composición real de los gases de salida no es posible compararlos con las normas ambientales

existentes que aplican en esta etapa; sin embargo la suposición de combustión completa señala que la concentración de gases a la salida del motor diesel cumple con la norma ambiental colombiana de emisiones admisibles para fuentes móviles Artículo 22 Resolución 910 de 2008. Sin embargo la emisión de estos gases contribuye a la acumulación de gases de efecto invernadero como lo es el CO₂. Para este caso el operador no tiene un riesgo significativo ya que este manipula el equipo desde la cabina y no tiene exposición directa con los gases de salida.

La etapa de mayor influencia de emisiones atmosféricas es la etapa 4 (etapa de secado) debido a la dimensiones de los equipos que pertenecen a ésta. El combustible utilizado es el gas natural, y a diferencia de las etapas anteriores se cuenta con muestras isocinéticas donde se puede cuantificar la composición de salida de los gases. En la Tabla 4 se reportan los valores de los datos obtenidos junto con el valor límite permisible de emisiones.

Tabla 4. Comparación ambiental de gases de combustión procedentes de la etapa 4 [®4,*13]

Parámetro salida chimenea	Unidad	Valor	®Flujo másico de contaminante (kg/h)	®Estándar de emisión admisible (mg/m ³)	*Nivel máximo permisible (µg/m ³)	*Tiempo de exposición (h)
Temperatura	°C	75	-----	-----	-----	-----
Presión	atm	0,82	-----	-----	-----	-----
Velocidad	m/h	25488	-----	-----	-----	-----
Flujo volumétrico	m ³ /h	17400	-----	-----	-----	-----
H ₂ O	%vol	20	-----	-----	-----	-----
O ₂	%vol	17	-----	-----	-----	-----
PST	kg/h	0,29	≤0,5	250	300	24
			≥0,5	150	300	24
SO ₂	kg/h	0,26	TODOS	550	750	3

Parámetro salida chimenea	Unidad	Valor	[®] Flujo másico de contaminante (kg/h)	[®] Estándar de emisión admisible (mg/m ³)	[™] Nivel máximo permisible (µg/m ³)	[™] Tiempo de exposición (h)
CO	ppm	676,11	-----	-----	40000	1
CO ₂	%vol	2,2	-----	-----	-----	-----
NOx	kg/h	0,11	TODOS	550	200	1

Las emisiones generadas por la fuente principal en la etapa de secado presentan valores inferiores a los máximos permitidos en la Resolución 909 de 2008 del MAVDT (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial). Los riesgos a la salud de los trabajadores son mínimos gracias a que la salida de los gases se realiza por la chimenea que tiene una altura de 24,4 m desde el nivel del piso, por lo tanto los operarios no tienen exposición directa con los gases.

CONCLUSIONES

La cuantificación de las corrientes de entrada y salida de cada una de las etapas identificadas señala que las pérdidas de masa son mínimas, mientras que las pérdidas de energía eléctrica son significativas igual a 94637676 KJ para una producción anual de MDC-2, lo cual se debe a la eficiencia de los equipos, produciendo un incremento en la temperatura del entorno de la planta de producción de la mezcla asfáltica en caliente de Asfaltart S.A.

El Balance Ambiental que se elaboró para el proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente MDC-2 de la empresa Asfaltart S.A., teniendo en cuenta los límites del sistema estudiado, determinó que la planta de producción cumple con todas las normas vigentes nacionales que aplican para este tipo de proceso.

Además se identificaron posibles impactos ambientales como son: potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO), potencial de toxicidad humana (PTH), PA (salud ecológica), siendo más relevante el Potencial de calentamiento global (PCG) por la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten anualmente igual a 2317435,2 kg para una producción anual de MDC-2.

Se encontró que ninguna de las etapas del proceso presenta residuos sólidos o líquidos lo cual favorece el potencial de ecotoxicidad acuática (PEcAq), y el potencial de ecotoxicidad terrestre (PecTe), a sí mismo beneficia indirectamente la salud humana gracias a la disminución en la concentración de residuos pesados en las fuentes hídricas utilizadas para el consumo humano.

RECOMENDACIONES

Elaborar un EIA potencial del proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente MDC-2 de Asfaltart S.A. mediante la utilización de software Simapro complementando el análisis de ciclo de vida de la puerta a la puerta, y así poder evaluar cuantitativamente los impactos del proceso en las diferentes categorías ambientales.

Realizar prueba de ruido a la planta de producción determinado por el protocolo del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para conocer los posibles impactos generados a la salud auditiva de los operadores de la planta.

Realizar prueba de calidad de aire a los gases de salida de la chimenea de la caldera determinado por el protocolo del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ya que no cuenta con un control de emisiones atmosféricas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-USEPA. Hot Mix Asphalt Plants Emission Assessment Report. Emissions Monitoring and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC 27711. 2010.

[2] Norma Técnica Colombiana, NTC-ISO 14001. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. 2004.

[3] Norma Europea, EN-ISO 14040. Gestión ambiental, Análisis de ciclo de vida, Principios y marco de referencia. 2006.

[4] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 0909. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. 2008.

[5] CHACÓN VARGAS R. "Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV)". Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería. 72, p. 37-70 (2008).

[6] ORTIZ RIPOLL, J. MOCUNILL FARRÉ, C. Reducción de emisiones en mezclas bituminosas en caliente. El sector ante los retos actuales ASEFMA. Presentación oral: II Jornada técnica. Madrid, 30 de Noviembre (2006).

[7] CHINCHILLA RODRIGUZ, A. Montaje, operación y mantenimiento de plantas para mezcla asfáltica en caliente. Guatemala. Tesis de grado. Facultad de ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, paginas 28 (2008).

[8] RODRIGUEZ B. Análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. Boletín IIE. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/28827510/El-Analisis-del-Ciclo-de-Vida>, Consultado el 28 sept. 2012 (2012).

[9] AVILA ROJAS, O. SUAREZ DUARTE, J. Análisis de ciclo de vida e integración del proceso de producción de bioetanol de segunda generación a partir de bagazo de caña. Tesis de grado Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química, paginas 89 (2010).

[10] PEREZ CORTES, A. DUMAR OYOLA, K. análisis de ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera y etanol. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química, paginas 83 (2011).

[11] CENGEL, Y. BOLES, M. Termodinámica. Primera ley de la termodinámica. 6ª Edición. Mc Graw Gill Companies, México DF, Páginas 1048 (2009).

[12] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 0910. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones (2008).

[13] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 0610. Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. (2010).

[14] DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE – DAMA. Unidad de Asistencia Técnica Ambiental para la pequeña y mediana empresa – Acercar Industria. Bogotá DC, Producción Editorial Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá (2004).

[15] COMPAÑÍA DE CONSULTORÍA AMBIENTAL LTDA. Emisión de gases generada por el funcionamiento de una planta de mezcla asfáltica. Informe Técnico, Girón, paginas 167 (2011).

[16] GOMEZ MEYER, J. Efecto del factor de aire en la velocidad de propagación de llamas premezcladas de biocombustibles puros a base de soya y canola y mezclas de biodiesel. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica, paginas 126, (2011).

[17] DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL AGRICULTURA Y PESCA. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. Gobierno Vasco. 2009.

[18] GONZALEZ, A. ORDOÑEZ, N. RUIZ, G. El metano y los clorofluorocarbonos. Universidad Politécnica de Chapas. Ingeniería ambiental. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/61169655/El-Metano-y-Los-Clorofluorocarbonos>. Consultado 4 de oct 2012, (2010).

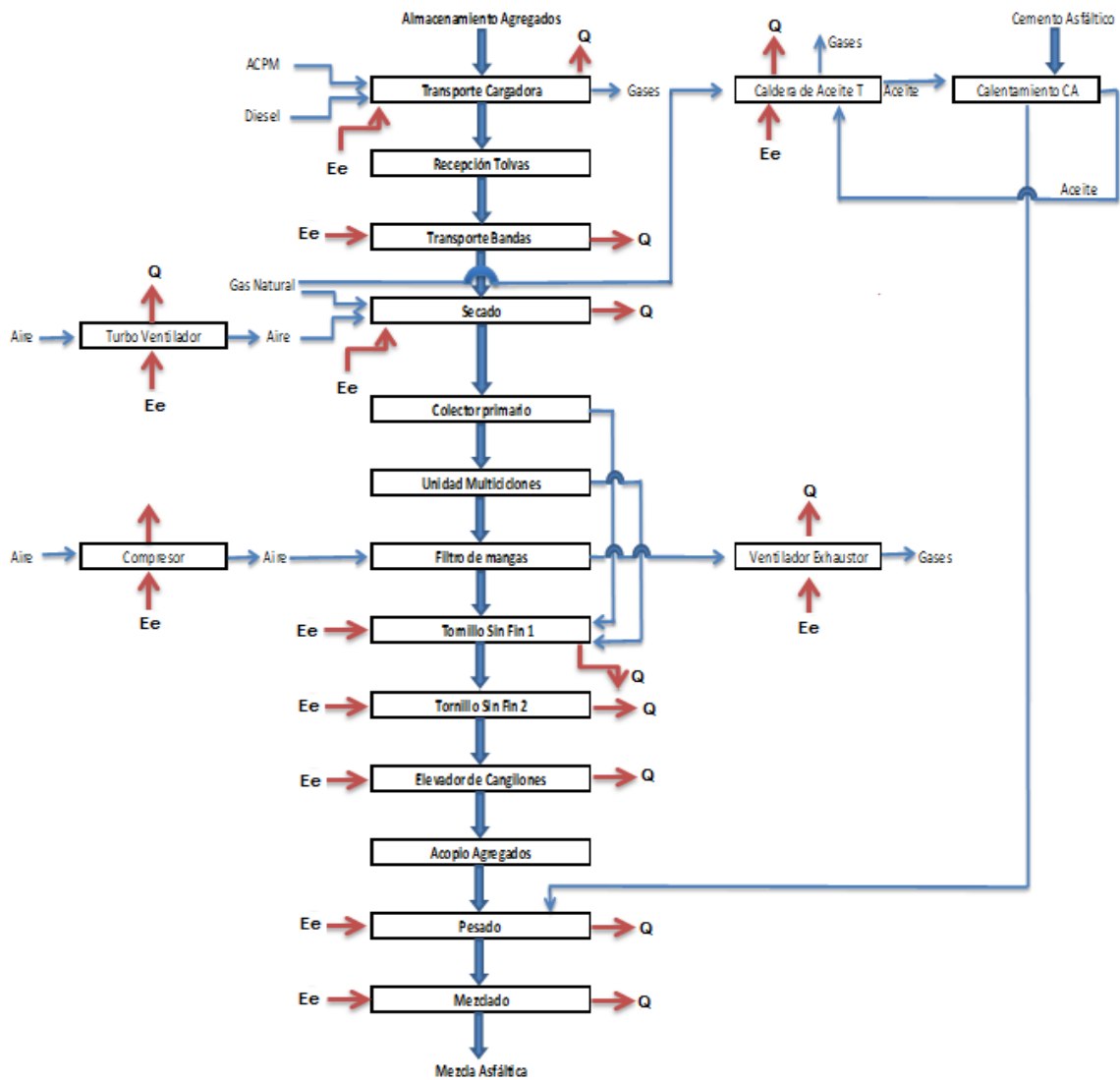
[19] PERRY, R. Manual del ingeniero químico. Tabla 3-206 de calores y energías de formación de compuestos orgánicos e inorgánicos. 6° Edición. Tomo I. Mc Graw Gill Companies, México DF, Páginas 2577 (2001).

ANEXOS

Anexo A. Diagrama de bloques del proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente MDC-2

Las flechas azules corrientes de masa y las rojas energía (Ee: energía eléctrica y Q).

Figura 5. Diagrama del proceso de mezcla asfáltica MDC-2.



Anexo B. Producción mezcla asfáltica en caliente 2011 y primer semestre de 2012 de Asfaltat S.A.

De acuerdo a los datos de producción de la empresa Asfaltart del año 2011 y los seis primeros meses del 2012, se incluyó el factor de tiempo muerto que se refiere al tiempo en el cual las volquetas donde se van a transportar la mezcla asfáltica entran y salen de la zona de carga, con lo anterior se obtuvo un estadístico de 20 días trabajados por mes y 4 horas de producción de cada uno, para un promedio de 80 horas de producción mensual como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Producción de MDC-2 del año 2011 y 1^{er} semestre de 2012 de Asfaltat S.A.

PRODUCCIÓN MDC-2 2011 y 1 ^{er} semestre 2012					
AÑO	MES	Producción m3	HORAS DE TRABAJO/MES	Días de trabajo/Mes	Horas/día
2011	ENERO	969	36,2	16	2,2
	FEBRERO	2909	108,7	19	5,7
	MARZO	2417,5	90,3	24	3,7
	ABRIL	1135,5	42,4	17	2,4
	MAYO	807	30,1	14	2,1
	JUNIO	551	20,5	9	2,2
	JULIO	683	25,5	18	1,4
	AGOSTO	1487	55,5	22	2,5
	SEPTIEMBRE	1218	45,5	16	2,8
	OCTUBRE	1980	73,9	22	3,3
	NOVIEMBRE	2516,5	94	24	3,9
	DICIEMBRE	1729,5	64,6	19	3,4
2012	ENERO	1954	73	16	4,5
	FEBRERO	1506	56,2	21	2,6
	MARZO	3180	118,8	26	4,5
	ABRIL	1906,5	71,2	20	3,5
	MAYO	2057	76,8	14	5,4
	JUNIO	1581,5	59	20	2,9
MEDIA		1699,3	63,5	18,7	3,3
Corrección de tiempo			80	20	4

*Fuente: Datos de producción Asfaltart S.A.

Anexo C. Datos isocinéticos de los gases de la chimenea principal de la planta

De acuerdo al estudio elaborado por la Compañía de Consultoría Ambiental LTDA se encontró la composición y condiciones de salida de los gases a la chimenea principal de la planta que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos isocinéticos de los gases de salida [15]

Descripción	Valor
Temperatura gases de chimenea	75°C
Presión de gases de salida	0,82 atm
Velocidad de los gases de salida	25488 m/h
Flujo volumétrico gases de salida	17400 m ³ /h
Humedad gases de chimenea	20%vol
Oxígeno a la salida de los gases	17%vol
Material particulado	0,2993 kg/h
Dióxido de azufre salida de los gases	0,2667 kg/h
Monóxido de carbono	676,11 ppm
Dióxido de carbono	2,2066%vol
Óxidos de nitrógeno	0,11 kg/h

Anexo D. Descripción de las etapas del proceso de producción de MDC-2

En la cuantificación de las corrientes de entrada y salida de materia y el consumo de energía en cada etapa del proceso, se tomó como unidad funcional la producción anual de 475230720 kilogramos de MDC-2 para el cálculo de los balances.

La elaboración de los balances de energía requirió conocer las entalpias de los compuestos presentes en cada etapa, las cuales están determinadas por la temperatura a la cual se encuentran. Dado que el diesel tiene variación en su fórmula química se utilizó el calor de combustión aproximado del compuesto para los respectivos cálculos, los valores utilizados son los de la Tabla 7.

Tabla 7. Entalpias de compuestos utilizadas para los cálculos en los balances de energía [11,19]

COMPUE STO	$\Delta H^{\circ}_{for_{25}}$ °C	$\Delta H_{ref_{0K}}$ (KJ/km)	Calor de combust	$\Delta H_{29^{\circ}C}$ (KJ/km)	$\Delta H_{75^{\circ}C}$ (KJ/km)	$\Delta H_{190^{\circ}C}$ (KJ/km)	$\Delta H_{336^{\circ}C}$ (KJ/km)
CO ₂	-393520	0			11272,6	16046,5	22706,6
CH ₄	-74850	0		8391,43			
N ₂	0	0			10121,6	13487,2	17833,9
O ₂	0	0			10153,6	13620,1	18217,9
H ₂ O	-241820	0			11584,4	15532,7	20728,7
Aire	0	0		8715,5			
Diesel			42500				
CO	-	0			10122,6		
NO _x	86746,3	0			10275		
SO ₂	-	0			11976,4		

Etapa 1. Calentamiento de Asfalto

El cemento asfáltico se encuentra almacenado en tanques provistos de dispositivos como serpentines que permiten la transferencia de calor. Los serpentines contienen aceite térmico el cual es calentado en la caldera. El flujo del aceite está determinado por el trabajo que ejerce la bomba sobre el fluido. El funcionamiento de la caldera se hace a partir de la combustión de gas natural. La temperatura de operación de la caldera es de 220°C para calentar el asfalto a 155°C (temperatura de óptima).

El tiempo de funcionamiento de la caldera, que es de 5h antes de la producción de MDC-2, se determinó por la ecuación implementada en el área de producción de Asfaltart, la cual indica el número de horas para el calentamiento del asfalto convencional a un volumen total del tanque de almacenamiento (Ecuación 1). Se requiere conocer la temperatura a la que disminuye el asfalto en el lapso de tiempo que no hay producción, la cual es 135°C según el promedio de las muestras tomadas y que se presentan en la Tabla 8.

$$H = \frac{T_f - T_o}{\text{°C/h}} + 1 \quad (1)$$

Dónde.

H: horas requeridas de calentamiento; **T_f:** Temperatura requerida; **T_o:** Temperatura actual de asfalto en el tanque; **°C/h:** grados centígrados alcanzados por cada hora de calentamiento.

Tabla 8. Temperatura tanque de asfalto

MUESTRA	T DEL TANQUE DE ASFALTO (°C)
1	133
2	138
3	134
MEDIA	135

Esta etapa cuenta con dos equipos; una caldera y una bomba, que hace fluir el aceite térmico a través de los serpentines. En la Figura 6 se muestra el diagrama específico de la Etapa 1 donde las corrientes de masa se identifican por la letra D, las corrientes de energía E y el calor liberado al sistema como Q.

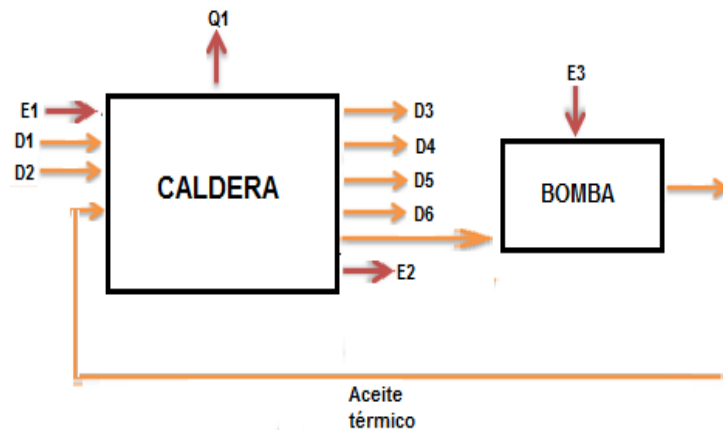


Figura 6. Diagrama de bloques etapa 1

El balance de masa y de energía elaborados para la etapa 1 se presenta en la Tabla 9. También se identifica si son corrientes de entrada o salida, y emisiones o materia implementada en el proceso.

En el balance de energía se tuvo en cuenta:

- Energía entrada. Son las entalpías de los gases de entrada, aire y CH_4 ($\Delta H_{r\text{ef}} + \Delta H_{29^\circ\text{C}}$).
- Energía salida. Son las entalpías de los gases de salida, CO_2 , H_2O , N_2 , y O_2 en exceso ($\Delta H_{r\text{ef}} + \Delta H_{336^\circ\text{C}}$).
- Trabajo de la bomba. Es el trabajo que entra al sistema.
- Energía reacción. Son las entalpías de formación de los productos menos las entalpías de formación de los reactivos.

Tabla 9. Corrientes de la etapa 1 calentamiento de asfalto para una producción anual de MDC-2

COMPONENTE	CORRIENT E	ENTRADA		SALIDA		EQUIPO		DESTINO	
		Masa (kg)	Energía (kJ)	Masa (kg)	Energía (kJ)	Calder a	Bomb a	Emisió n	Materi a
Gas natural	D1	7128				X			X
Aire	D2	24624 0				X			X
CO ₂	D3			19872		X		X	
H ₂ O	D4			15984		X		X	
O ₂	D5			22896		X		X	
N ₂	D6			19461 6		X		X	
Energía entrada	E1		7865748 0			X			
Energía salida	E2				16627636 8	X			
Calor liberado	Q1				- 39197001 6	X			
Trabajo bomba	E3		5616280 8				X		
Energía reacción					36051393 6	X			

Etapa 2. Transporte de agregados pétreos

Se parte del almacenamiento de los agregados pétreos los cuales son: arena triturada 3/8", y triturado 1/2". Cada uno de estos se lleva a las tolvas de alimentación diseñadas para un tipo de agregado pétreo utilizado en el proceso a través de un cargador CASE 621B, el cual se considera fuente móvil de emisiones ya que para el funcionamiento del motor la máquina utiliza diesel como

combustible. La Figura 7 muestra el diagrama específico de la etapa 2 donde las corrientes de masa se identificaron con la letra D y las de energía con E.

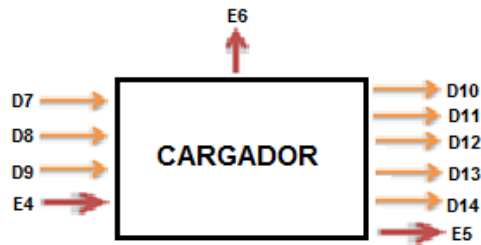


Figura 7. Diagrama de bloques etapa 2

El balance de masa y de energía elaborados para la etapa 2 se presenta en la Tabla 10 También se identifica si son corrientes de entrada o salida y emisiones o materia implementada en el proceso.

En el balance de energía se tuvo en cuenta:

- Energía entrada. Son las entalpías de los gases de entrada, aire y diesel ($\Delta H_{ref} + \Delta H_{29^{\circ}C}$).
- Energía salida. Son las entalpías de los gases de salida, CO_2 , H_2O , N_2 , y O_2 en exceso ($\Delta H_{ref} + \Delta H_{190^{\circ}C}$).
- Trabajo del motor. Es el trabajo que sale del motor diesel.
- Energía reacción. Son las entalpías de formación de los productos menos las entalpías de formación de los reactivos.
- Calor liberado. Es el calor liberado al ambiente producto de la combustión.

Tabla 10 Corrientes de la etapa 2 transporte de agregados pétreos para una producción anual de MDC-2

COMPONENTE	CORRIENTE	ENTRADA		SALIDA		DESTINO	
		Masa (kg)	Energía (KJ)	Masa (kg)	Energía (KJ)	Emisión	Materia
Diesel	D7	5184					X
Aire	D8	211872					X
Agregados	D9/D14	45213120		45213120			X
CO ₂	D10			16224		X	
H ₂ O	D11			6624		X	
O ₂	D12			26688		X	
N ₂	D13			167520		X	
Energía entrada	E4		6482496				
Energía salida	E5				103707552		
Energía reacción					235872000		
Trabajo motor	E6				25771776		
Calor liberado					-358868832		

Etapa 3. Transporte en bandas transportadoras

Cada tolva cuenta con una cinta dosificadora la cual facilita que el agregado correspondiente de cada una, baje y pase a través de ella, para llegar a una banda transportadora colectora, y esta lleva los agregados pétreos a una banda lanzadora que se encarga de pasarlos al secador. La velocidad de cada una de las cintas transportadoras está controlada por la cabina de control de la planta. En la Figura 8 se muestra el diagrama específico de la Etapa 3 donde las corrientes de masa se identifican por la letra D, las corrientes de energía E.

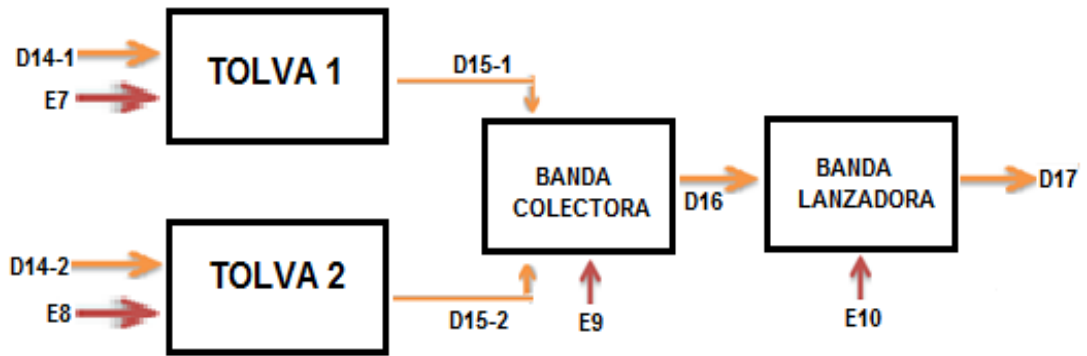


Figura 8. Diagrama de bloques etapa 3

El balance de masa y de energía elaborados para la Etapa 3 se presenta en la Tabla 11 También se identifica si son corrientes de entrada o salida y a que equipo pertenece.

En el balance de energía se tuvo en cuenta que solo hay energía eléctrica transformada en trabajo para el funcionamiento de los equipos.

Tabla 11. Corrientes de la etapa 3, flujo de agregados en bandas transportadoras para una producción anual de MDC-2.

COMPONENTE	CORRIENTE	ENTRADA		SALIDA		EQUIPO			
		Masa(kg)	Energía(KJ)	Masa(kg)	Energía(KJ)	Tolva 1	Tolva 2	Banda C	Banda L
Trabajo tolva 1	E7		8259648			X			
Trabajo tolva 2	E8		8259648				X		
Trabajo	E9		10113888					X	
Trabajo lanzad	E10		10113888						X
Trabajo					36747092				
Agregado 3/8"	D14-1/D15-1/D16/D18	31649184		31649184		X		X	X
Agregado 1/2"	D14-2/D15-2/D16/D17	13563936		13563936			X	X	X

Etapa 4. Secado de agregados pétreos

El secado se lleva a cabo en un secador rotatorio que consiste en un cilindro metálico que gira alrededor de su eje, en su interior posee aletas para arrastrar los agregados y exponerlos a la llama para reducir el contenido de humedad y elevarlos a la temperatura de mezclado. Los vapores producidos por la humedad contenida en los agregados, es removida por el ventilador exhaustor que permite una circulación controlada de gas y aire.

Para alcanzar la máxima eficiencia en la combustión del gas natural entrante al tambor secador se utiliza un turbo ventilador el cual introduce aire en exceso, en la extracción de los gases producto de la combustión se implementa el ventilador exhaustor, y en la reducción de emisión de partículas se emplea un sistema de colector de finos que consta de una unidad de ciclones y filtro de mangas que a su vez cuenta con un compresor en la impulsión del aire. En la Figura 9 se muestra el diagrama específico de la Etapa 4 donde las corrientes de masa se identifican por la letra D, las corrientes de energía E.

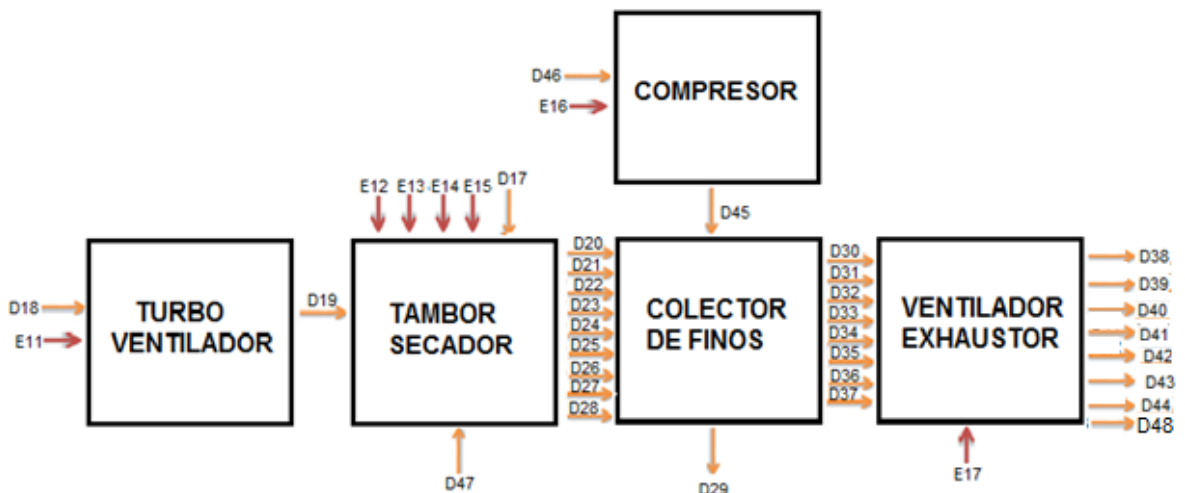


Figura 9. Diagrama de bloques etapa 4

El balance de masa y de energía elaborados para la Etapa 4 se presenta en la Tabla 12 También se identifica si son corrientes de entrada o salida, emisiones o materia implementada en el proceso identificando el equipo al que pertenece

En la Tabla 12 las siglas E y M se refiere a emisiones y materia, se abrevian los nombres de los equipos como: comp (compresor), vent ex (ventilador exhaustor), turbo vent (turbo ventilador) y col finos (colector de finos).

En el balance de energía se tuvo en cuenta:

- Energía entrada. Son las entalpías de los gases de entrada, aire y CH₄ ($\Delta H_{ref} + \Delta H_{29^{\circ}C}$).
- Energía salida. Son las entalpías de los gases de salida: CO₂, H₂O, N₂, O₂, SO₂, NO_x y CO ($\Delta H_{ref} + \Delta H_{75^{\circ}C}$).
- Trabajo del motores. Es el trabajo de cada motor presente en la etapa.
- Energía reacción. Son las entalpías de formación de los productos menos las entalpías de formación de los reactivos.
- Calor liberado. Es el calor liberado al ambiente producto de la combustión.

Tabla 12. Corrientes de la etapa 4, secado y colector de polvos finos para una producción anual de MDC-2

COMPONENTE	CORRIENTE	ENTRADA		SALIDA		EQUIPO					DESTINO	
		MASA (kg)	ENERGÍA (KJ)	MASA (kg)	ENERGÍA (KJ)	TURBO VENT	TAMBOR SECADO	COL FINOS	COMP.	VENT. EX.	E-	M
GAS NATURAL	D47	267744					X					X
AIRE COMPRESOR	D46/D45	1303651							X			X
CO ₂	D20/D30/D38			464640			X	X		X	X	
M PARTICULADO	D21/D31/D39			278,4			X	X		X	X	
SO ₂	D22/D32/D40			250			X	X		X	X	
NO _x	D23/D33/D41			105,6			X	X		X	X	
H ₂ O	D24/D34/D42			1790688			X	X		X	X	
O ₂	D25/D35/D43			2611200			X	X		X	X	
CO	D26/D36/D44			3264			X	X		X	X	
N ₂	D27/D37/D48			8073216			X	X		X	X	
AIRE TURBO VENT	D18/D19	11371968				X						X
AGREGADOS	D47/D28/D29	45213120		45212841,6			X	X				X
MOTOR TURBO	E11		95565734			X						
MOTOR TAMBOR1	E12		14288448				X					
MOTOR TAMBOR2	E13		14288448				X					
MOTOR TAMBOR3	E14		16329696				X					
MOTOR TAMBOR4	E15		16329696				X					
MOTOR V EXHAUS	E17		233310048							X		
MOTOR COMPRES	E16		42347904						X			
ENERG ENTRADA			3971066688			X	X		X			
ENERG SALIDA					5019681984					X		
ENERG REACCIÓN					26977042750		X					
CALOR LIBERADO					-27593198070							

Etapa 5. Transporte de finos en tornillos sin fin

Al producirse la eliminación de partículas de gases de escape que son liberados al medio ambiente en la etapa anterior. Las partículas finas que son producidas durante el proceso de secado provenientes de los agregados son arrastradas por el flujo de aire producido por el ventilador exhaustor y se precipitan a los tornillos sin fin que son los encargados en transportar este material hasta el elevador de cangilones, este equipo es el encargado de elevar los agregados pétreos hasta una tolva de acopio donde inicia la siguiente etapa. En la Figura 10 se muestra el diagrama específico de la Etapa 5 donde las corrientes de masa se identifican por la letra D, las corrientes de energía E.

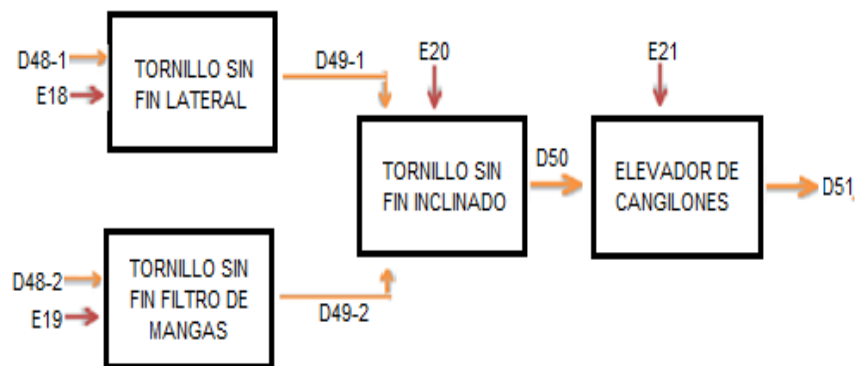


Figura 10. Diagrama de bloques Etapa 5

El balance de masa y de energía elaborados para la etapa 5 se presenta en la Tabla 13. También se identifica si son corrientes de entrada o salida identificando el equipo al que pertenece.

En el balance de energía se tuvo en cuenta que solo hay energía eléctrica transformada en trabajo para el funcionamiento de los equipos.

Tabla 13. Corrientes de la etapa 5 Transporte en tornillos sin fin para una producción anual de MDC-2

COMPONENTE	CORRIENTE	ENTRADA		SALIDA		EQUIPO			
		Masa kg	Energía KJ	Masa kg	Energía KJ	T. Lateral	T. Filtro mangas	T. Inclinado	Elevador Cangilones
Tornillo inclinado	E20		9903168					X	
Tornillo lateral	E18		9903168			X			
Tornillo filtro mangas	E19		9903168				X		
Elevador cangilones	E21		9903168						X
Trabajo realizado					39612672				
Agregados	D48-D51	45212841,6		45212841,6		X	X	X	X

Etapa 6. Pesado y mezclado de materias primas

La tolva de acopio deja pasar los agregados a la tolva de pesado, allí a su vez el cemento asfáltico se pesa, la dosificación de cada materia prima está determinado por el diseño Marshall determinado en el laboratorio de Controlab S.A.S. Después de la dosificación se mezcla homogéneamente la materia prima, para ello se emplean mezcladores de ejes gemelos provistos con paletas que giran en sentido. Finalmente se descarga la mezcla asfáltica MDC-2 en las volquetas que llevan el producto a su destino de aplicación. En la Figura 11 se muestra el diagrama de la etapa 6.



Figura 11. Diagrama de bloques etapa 6

Los balances de masa y energía elaborados para la etapa 5 se presentan en la Tabla 14 identificando las corrientes y al equipo que pertenece.

En el balance de energía se tuvo en cuenta que solo hay energía eléctrica transformada en trabajo para el funcionamiento de los equipos.

Tabla 14. Corrientes de la etapa 6 pesado y mezclado para una producción anual de MDC-2

COMPONEN TE	CORRIEN TE	ENTRADA		SALIDA		Equipo		
		Masa kg	Energía kJ	Masa kg	Energía kJ	Tolva Pesado	Tolva Mezclado	Bomba asfalto
Trabajo B. pesado	E22		16055712			X		
Trabajo mezcla 1	E23		30015072				X	
Trabajo mezcla 2	E24		30015072				X	
Trabajo B asfalto	E25		7848768					X
Trabajo realizado					83934624			
Cemento Asfáltico	D53/D55	2312064				X	X	X
Agregados	D51/D52/D 54	45212841,6				X	X	
Mezcla asfáltica	D56			47522505,6			X	
Agreg destolve	D57			2400			X	

Anexo E. Reacciones de combustión completa

Se asume reacciones de combustión completa para dos etapas del proceso ya que no era posible cuantificar experimentalmente los gases de salida.

La combustión de gas natural en la caldera de calentamiento se obtuvo de la composición del gas de suministro a la planta, donde el principal componente es el metano (ver Tabla 15), la reacción se asume con un exceso de aire del 80%vol [6].

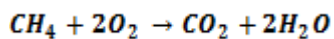
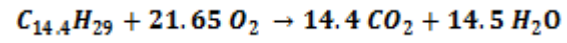


Tabla 15. Composición del gas natural procedente del pozo Gibraltar

Composición Cromatografía	Gas Gibraltar
	Mol %
Nitrógeno	0,5099
CO2	1,7753
Metano	89,7946
Etano	5,3778
Propano	1,5646
i-Butano	0,3644
n-Butano	0,3150
i-Pentano	0,1237
n-pentano	0,0687
n-Hexano	0,1055
Neo-Pentano	0,0007
Densidad Real (kg/m ³)	0,7641
Poder Calorífico Factor (BTU/PC)	1076,6
Densidad Relativa	0,6323

*Fuente: Fenosa S.A. análisis cromatográfico del gas natural de Gibraltar

La combustión del diesel se estableció a partir de la formula empírica [16], con un exceso de aire del 150%vol [6].



Anexo F. Determinación de la potencia de cada motor

Para el cálculo de la potencia de los motores trifásicos se utiliza la siguiente ecuación

$$P = \sqrt{3} \times V \times A$$

Dónde:

- P: potencia del motor (W)
- A: corriente eléctrica del motor (A)
- V: voltaje del motor (V)

Tabla 16. Potencia de los motores de la planta de proceso de Asfaltart S.A.

MOTOR DEL EQUIPO	SISTEMA DE CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)	ENERGÍA (kJ/h)	Eficiencia %	Energía real (kJ/h)
Variador de	Trifásico	440	3,2	2438,72	8779,41	98	8603,82
Variador de	Trifásico	440	3,2	2438,72	8779,41	98	8603,82
Banda colectora	Trifásico	440	4	3048,41	10974,27	96	10535,29
Banda	Trifásico	440	4	3048,41	10974,27	96	10535,29
Tambor secador	Trifásico	440	7	5334,72	19204,99	77,5	14883,86
Tambor secador	Trifásico	440	7	5334,72	19204,99	77,5	14883,86
Tambor secador	Trifásico	440	8	6096,82	21948,54	77,5	17010,11
Tambor secador	Trifásico	440	8	6096,82	21948,54	77,5	17010,11
Turbo ventilador	Trifásico	440	38,6	29417,15	105901,74	83,6	99547,64
Tornillo sin fin	Trifásico	440	4	3048,41	10974,27	94	10315,81
Tornillo sin fin	Trifásico	440	4	3048,41	10974,27	94	10315,81
Tornillo filtro de	Trifásico	440	4	3048,41	10974,27	94	10315,81
Ventilador	Trifásico	440	96	73161,83	265028,71	91,7	243031,32
Compresor	Trifásico	440	20,25	15432,57	55557,26	79,4	44112,46
Bomba Pesado	Trifásico	440	8	6096,82	21948,54	76,2	16724,78
Elevador de	Trifásico	440	10	7621,02	27435,68	94	25789,53
Tolva de	Trifásico	440	14	10669,43	38409,95	81,4	31265,69
Tolva de	Trifásico	440	14	10669,43	38409,95	81,4	31265,69
Bomba asfalto	Trifásico	440	4	3048,41	10974,27	74,5	8175,83
Bomba caldera	Trifásico	440	11,6	8840,39	31825,39	81,7	26001,34