

PERFIL TECNOLÓGICO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN COLOMBIA

E. CASTILLO¹, L. ACEVEDO² D., J. ORDUZ P.

¹ Profesor UIS, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
email:efcastil@uis.edu.co

²Especialización en Ingeniería Ambiental, Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia

RESUMEN

El presente artículo desarrolla un estudio de las tecnologías utilizadas por el sector productor colombiano de mezclas asfálticas, destinadas principalmente a la pavimentación de vías. Se comparan las variantes tecnológicas por medio de la formulación de "indicadores de desempeño ambiental", que incluyen aspectos como el consumo de recursos tanto minerales como energéticos, las emisiones y vertimientos del proceso y la generación de residuos sólidos. Finalmente, se sugiere un espectro de posibilidades tecnológicas que podrían disminuir el impacto ambiental generado en la actualidad por esta actividad económica. Este estudio forma parte del Sistema de Información Ambiental Industrial desarrollado en conjunto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Universidad Industrial de Santander.

INTRODUCCIÓN

El concepto de "Desarrollo Sostenible" implica actualmente que los efectos ambientales derivados de la producción industrial se incluyan como una variable fundamental en el análisis del desempeño económico de una sociedad. Bajo esta óptica, se hace necesario la recopilación, sistematización y análisis de la información concerniente a las tecnologías utilizadas por los industriales, con el objeto de acopiar elementos de juicio que conduzcan a programas de reconversión factibles, graduales y en el mejor de los casos, concertados entre los particulares y el Estado.

Lo anterior, junto a una creciente tendencia en el mundo industrializado dirigida a la "Prevención de la Contaminación en la fuente" y no a su "tratamiento al final del tubo" (end of pipe treatment), origina la necesidad de conocer cuáles son los paquetes tecnológicos que

nuestro sector productivo podría utilizar, de tal manera que se lograra en lo posible un equilibrio entre la rentabilidad económica y el efecto ambiental de la producción. Este último, que tradicionalmente se ha reducido a un inventario de lo que se emite y vierte, ahora se amplía hasta encontrar los índices de consumos de recursos que se utilizan, de tal manera que gradualmente se puedan plantear estudios de ciclo de vida de productos. El artículo en primer lugar, desarrolla la descripción de las principales tecnologías usadas en nuestro medio, para posteriormente caracterizarlas por medio de los indicadores de desempeño ambiental que se proponen dentro del Sistema de Información Ambiental Industrial. Finalmente, en la sección "Tecnologías Ambientalmente Sanas" se sugiere un conjunto de alternativas tecnológicas que se utilizan a nivel mundial para la fabricación de mezclas asfálticas, junto con una prospección de la posible reducción del impacto ambiental que la adopción de éstas significaría para este sector industrial colombiano.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Las mezclas asfálticas para pavimento son productos compuestos por material granular (agregado) con una distribución uniforme de tamaños, asfalto y en algunas ocasiones aditivos que imprimen algunas características especiales en la mezcla. La proporción de los materiales se define por métodos de diseño como son el método Marshall y el método Hveen. Una formulación típica contiene un 90-95 % agregado y del 5 al 10 % de asfalto.

En el proceso general de producción de las mezclas para pavimento pueden distinguirse básicamente dos modalidades diferentes de acuerdo con la forma como se manipulan las materias primas durante el procesamiento y la manera como se emplea el producto final: La primera se denomina "mezclas asfálticas en caliente", en donde el asfalto y los agregados se procesan a temperaturas por encima de 100 °C requiriendo que la fabricación se efectúe en una planta central y que el producto se traslade hacia el sitio de pavimentación. La segunda modalidad tecnológica se conoce como "mezclas asfálticas en frío", en las cuales el manejo de las materias primas se realiza a temperatura ambiente; la mezcla producida en esta forma puede ser elaborada en una planta central o en el mismo lugar de la pavimentación. En el proceso de pavimentación, si las mezclas asfálticas provienen del proceso en caliente, deben aplicarse a temperaturas que fluctúan entre 120-150 °C, mientras que las mezclas en frío se aplican a la temperatura ambiente. Vale la pena anotar, que después de la aplicación sobre la vía, para las mezclas asfálticas continúa un proceso denominado de "curado" que varía fundamentalmente de acuerdo con el tipo de mezcla utilizada.

De acuerdo con la información obtenida acerca de la producción de asfaltos (Desarrollo y Estado Actual de las Emulsiones asfálticas en Colombia, Ecopetrol), para 1995 la producción de asfalto se estima en 372.000 toneladas, de las cuales aproximadamente el 70% son empleadas en la producción de mezclas en caliente. Este porcentaje corresponde a 260.400 toneladas de asfalto, que se traducen en una producción de 5.200.000 toneladas de mezcla asfáltica en caliente. Se encuentra que en una

muestra de estudio de 27 plantas que cubren aproximadamente el 50 % de la producción, 22 de ellas corresponden a plantas de mezcla en caliente y 5 a plantas de mezclas en frío. De las plantas de mezclas en caliente se contabilizan 18 que operan en proceso batch y 4 en régimen continuo. De esta muestra, 600.000 toneladas (24%), se producen en plantas que operan en continuo y 1.886.400 toneladas (76%) en plantas de mezcla en batch. (idem, 1995)

Mezclas asfálticas en caliente: Las plantas utilizadas para los procesos en caliente están conformadas por un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos, en donde los agregados se combinan, calientan, secan y mezclan con asfalto para producir una mezcla que debe cumplir con ciertas especificaciones. Las plantas procesadoras de la mezcla asfalto-agregado en caliente operan en continuo o en batch. En términos generales las tecnologías utilizadas para la producción de la mezcla en caliente pueden resumirse como: 1. Plantas de Mezcla en batch, 2. Plantas de mezcla en cilindro con flujo paralelo, y 3. Plantas de mezclas en cilindro en contraflujo. El orden en que se muestran corresponde también al orden cronológico de aparición y adaptación al uso comercial de la tecnología.

Procesos paralelos en la industria de mezclas asfálticas en caliente

Las plantas de mezcla asfáltica en caliente requieren de un sistema de calentamiento que suministre la energía necesaria para lograr fluidizar el asfalto en los tanques de almacenamiento, en las líneas de trasiego y en otros dispositivos de conducción de dicho material. Para tal fin se emplea aceite térmico calentado mediante la combustión de materiales fósiles en calderas pirotubulares.

Balance de energía. El proceso requiere energía en el secador para el calentamiento y secado de los agregados y en los servicios industriales, específicamente para la caldera. Igualmente, debido a las operaciones en que se transportan o almacenan sólidos y para el trasiego final de la mezcla asfáltica hacia el sitio de almacenamiento, se requiere de una cierta cantidad de energía eléctrica.

Balances de masa y energía

Balance de Masa. Para el efecto es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones: Se toma como referencia una planta batch, considerando las etapas de calentamiento y

cribado del agregado previas a la fabricación de la mezcla, con una formulación típica del 95% de agregado y 5% en peso de asfalto y usando como combustible fósil fuel-oil.

La Tabla 1 muestra los flujos másicos correspondientes.

TABLA 1. Entradas y salidas másicas al proceso para la fabricación de una tonelada de mezcla asfáltica en caliente.

ENTRADAS MÁSICAS AL PROCESO		SALIDAS MÁSICAS DEL PROCESO	
Material	Ton/ton producto	Material	Ton/ton producto
Agregado	1,12	Mezcla asfáltica	1,00
Asfalto	0,05	Agua	0,07
Combustible	0,0041	Finos	0,1
Aire	0,08	Productos de la combustión:	
		H ₂	
		N ₂	0,0003895
		O ₂	0,06136
		CO ₂	0,005867
		Sox	0,0129888
		Cenizas	0,000205
		Agua en humos	0,0000369
			0,00322

FUENTE: Convenio UIS-IDEAM.

La Tabla 2 resume los índices energéticos encontrados para una planta que opera en régimen batch.

TABLA 2. Consumo de energía térmica para la fabricación de una tonelada de mezcla asfáltica en caliente.

PROCESO	MJ/Ton
Energía Térmica	
Secador	120,0
Servicios industriales (caldera)	114,5
Energía Eléctrica	
Bandas transportadoras, elevadores de cangilones	6 KW-H

FUENTE: Convenio UIS-IDEAM.

Estos datos corresponden a la tecnología de proceso más común en nuestro medio: Plantas batch. Los consumos másicos que se generan en las tecnologías continuas en caliente, en lo que respecta a los componentes básicos de la mezcla, pueden considerarse iguales a los expuestos, no así en lo que tiene que ver con los consumos de combustibles.

Estos últimos se cree que sean menores a los conocidos en las plantas batch, pero no se conocen datos suficientemente confiables para esta variable. El consumo de energía en las

plantas continuas en caliente es menor al consumo en las plantas batch, puesto que se elimina el tanque provisional de almacenamiento de asfalto de la planta y la tubería de trasiego de asfalto hasta el mezclador. Sin embargo, los consumos térmicos y eléctricos de los hornos de mezcla continua que operan en Colombia no se han medido ni calculado en forma confiable.

Sin embargo, los consumos térmicos y eléctricos de los hornos de mezcla continua que operan en Colombia no se han medido ni calculado en forma confiable.

ANÁLISIS AMBIENTAL DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

Dentro de esta sección se abordan como temas fundamentales los relacionados con el consumo de recursos y energía, fuentes de contaminación y flujos térmicos que se presentan en esta actividad industrial. Estos aspectos se tratan con la intención de plantear finalmente los factores críticos ambientales.

Determinación de los Índices Unitarios de Agresividad Ambiental.

El Sistema de Información para la Evaluación Ambiental de Sectores Productivos en Colombia, busca conocer los sectores industriales y más específicamente las actividades industriales que tienen gran potencial para efectuar procesos de reconversión industriales eficientes. Para conocer comparativamente la agresividad ambiental de los sectores, se han diseñado los siguientes índices unitarios (es decir, referidos a una tonelada de mezcla asfáltica producida por cualquier tecnología):

- En cuanto al consumo de recursos: consumo de energía térmica, consumo de energía eléctrica, consumo de aire, consumo de agua, consumo de energía fósil, consumo de energía de biomasa, consumo de materias primas minerales, consumo de materias primas vegetales, consumo de materias primas animales.
- En cuanto a las emisiones: Las correspondientes a Oxidos de nitrógeno, Oxidos de azufre, Dióxido de carbono, Material particulado, Compuestos orgánicos volátiles, compuestos potencialmente tóxicos.
- En cuanto a vertimientos de agua: Generación de Demanda Bioquímica de oxígeno y Sólidos suspendidos totales.

- En cuanto los residuos sólidos generados: Producción de Residuos de biomasa, Residuos inorgánicos unitarios, Residuos potencialmente tóxicos.

En conjunto, estos índices permiten clasificar y jerarquizar de acuerdo con los problemas ambientales que se generan, a todos los sectores industriales de la muestra de estudio.

La Tabla 3, muestra algunos de estos índices de desempeño ambiental para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y proceso batch.

De acuerdo con los indicadores unitarios obtenidos y tomando como referencia cerca de 97 actividades industriales incluidas en el Sistema de Información Ambiental Industrial que están comprendidas en sectores tales como Cementos, Pulpa y Papel, Fabricación de alcohol, Alimentos, Curtiembres, Bebidas no alcohólicas, Molinería, Siderúrgica y Productos Cerámicos, pueden hacerse los siguientes comentarios: La fabricación de mezclas asfálticas no se caracteriza por elevados consumos de energía fósil, ni de aire, ni de agua. Igualmente no genera vertimientos que puedan considerarse de extrema carga ambiental, así como tampoco es generadora de residuos que puedan considerarse tóxicos.

Sin embargo, presenta niveles moderados de emisión de diversos compuestos a la atmósfera, entre ellos algunos de reconocida toxicidad y lo que se considera más crítico, muestra uno de los mayores índices unitarios de consumo de materias primas de origen mineral.

Determinación de los Índices Globales de la Agresividad Ambiental

Un índice global de agresividad ambiental para un bien específico se define como el producto entre el índice unitario y la producción total de un año en particular.

De acuerdo con el dato de producción que se obtuvo para la industria de mezclas asfálticas en caliente (cerca de 3.952.000 toneladas en 1995), en la Tabla 4 se presentan los índices globales de agresividad ambiental para la industria de las mezclas asfálticas en caliente.

En resumen, las plantas de mezclas asfálticas se sitúan dentro de la muestra bajo estudio como importantes emisoras de material particulado (a pesar de mostrar un índice unitario bajo), generadoras de emisiones potencialmente tóxicas y como usuarias intensivas de los recursos minerales no renovables.

Puesto que las emisiones a la atmósfera constituyen uno de los principales problemas ambientales de esta industria, vale la pena ampliar la información referente a los focos de origen y su posible tratamiento.

Origen, caracterización y control de las emisiones generadas.

Plantas Batch. Esta actividad se identifica por las emisiones de material particulado y de

orgánicos volátiles que se presentan a lo largo de todo el proceso. Las emisiones se clasifican en dos categorías: fuentes de emisiones canalizadas, en donde el flujo de emisiones pasan a través de ductos hacia los sistemas de colección primario y/o secundario, para ser posteriormente venteadas hacia la atmósfera por medio de chimeneas o tuberías; y las fugas de emisiones provenientes de los procesos y fuentes abiertas, las cuales están compuestas por una combinación de contaminantes gaseosos y material particulado.

La principal fuente de emisiones canalizadas se presenta en el secador y está compuesta por vapor de agua, material particulado, productos de la combustión (CO₂, NO_x y SO_x), CO, y pequeñas cantidades de compuestos orgánicos de varias especies (dentro de los que están incluidos los VOCs, CH₄ y contaminantes peligrosos al aire).

El CO y las emisiones de compuestos orgánicos provienen de la combustión incompleta del combustible.

TABLA 3. Índices unitarios de agresividad ambiental para plantas de mezclas asfálticas en caliente, reactor batch.

ÍNDICE UNITARIO	VALOR /TON PRODUCTO
Consumo de energía térmica unitaria	234,450 MJ
Consumo de aire unitario	0,080 ton
Consumo de agua unitaria	0 m ³
Consumo de energía fósil unitaria	335,360 MJ
Consumo de materias primas minerales	1,120 ton
Emisiones de NO _x	0,051 Kg
Emisiones de SO _x	0,373 Kg
Emisiones de CO ₂	25,000 Kg
Material particulado	6,025 Kg
Compuestos orgánicos volátiles	0,0163 Kg
Emisiones potencialmente tóxicas	0,023 Kg
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0
Demanda Química de Oxígeno	0
Sólidos Suspendidos Totales	0
Residuos Biomasa Unitarios	0
Residuos Inorgánicos Unitarios	0
Residuos Potencialmente Tóxicos Unitarios	0

FUENTE: Convenio UIS-IDEAM.

TABLA 4. Índices globales de agresividad ambiental para plantas de mezclas asfálticas en caliente.

ÍNDICE GLOBAL	VALOR
Consumo de energía térmica	926.546,40 GJ
Consumo de aire	316.160,00 ton
Consumo de energía fósil	1.325.342,00 GJ
Consumo de materias primas minerales	4.426.240,00 ton
Nox	201,55 ton
SOx	1.474,00 ton
CO2	77.459,20 ton
Material particulado	23.810,80 ton
Compuestos orgánicos volátiles	64,49 ton
Emissiones potencialmente tóxicas	90,89 ton

FUENTE: Convenio UIS-IDEAM.

Otra fuente potencial incluye el transportador de material caliente, el clasificador y el equipo de mezcla los cuales son venteados a un colector de polvo primario. Estas emisiones están compuestas en su mayor parte por polvo, compuestos orgánicos y aerosoles finos de partículas orgánicas. El aerosol orgánico se crea por la condensación de gas dentro de las partículas durante el enfriamiento de vapores orgánicos volatilizados que provienen del asfalto en el mezclador. La cantidad de aerosol orgánico producido depende de la temperatura del asfalto y del agregado a la entrada del mezclador. Los vapores orgánicos son emitidos directamente hacia la atmósfera como una fuga del proceso durante la descarga del camión, y desde los tanques de almacenamiento del asfalto.

La selección de los controles de emisión aplicables a material particulado desde el secador y las líneas de venteo incluye colectores mecánicos, lavadores scrubbers y filtros de tela. Tratar de utilizar precipitadores electrostáticos ha tenido pocos éxitos. Prácticamente todas las plantas usan equipos colectores de polvo primario. Para capturar el material particulado remanente, los efluentes del colector primario son conducidos a un equipo de recolección secundario. Muchas plantas usan filtros de telas o un lavador venturi como control secundario de emisiones. Como para cualquier proceso de combustión, el diseño, operación y mantenimiento de los quemadores ofrece oportunidades para reducir las emisiones de NOx, CO y compuestos orgánicos.

Plantas de Mezcla Continua Flujo Paralelo. La principal fuente de emisiones canalizada se presenta en el secador rotatorio, y está constituida por vapor de agua, material particulado, productos de la combustión, CO y pequeñas cantidades de varias especies (VOC, CH4 y HAP).

Las emisiones de compuestos orgánicos resultan de una combustión incompleta y provienen del calentamiento y mezclado del asfalto en el secador. El CO resulta también de la combustión incompleta.

Plantas de Mezcla Continua en Contraflujo. La composición de las emisiones es similar a la presentada en las plantas de flujo paralelo, con la diferencia de que en las plantas en contraflujo se presentan menores emisiones de compuestos orgánicos.

TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE SANAS.

Como se ha indicado anteriormente existen alternativas tecnológicas que podrían eventualmente minimizar la agresividad ambiental de esta actividad industrial. Estas opciones pueden reducir directamente desde la fuente los consumos y descargas generados, brindando soluciones que generalmente involucran simultáneamente soluciones económicas y ambientales, tal como se plantea actualmente en el marco de la "Cleaner Production". Las principales opciones para el sector de mezclas asfálticas en caliente pueden resumirse en:

Proceso Batch Vs. Proceso Continuo. A nivel nacional aproximadamente el 75% de la industria de mezclas asfálticas funcionan bajo el régimen batch y el 25% en proceso continuo. La tendencia mundial en términos de las tecnologías de proceso, están orientadas hacia el procesamiento continuo. En términos ambientales las plantas continuas presentan algunas ventajas comparadas con las plantas batch, reflejadas principalmente por la reducción en la emisión de material particulado y en el consumo de energía.

De acuerdo con los factores de emisión para plantas batch y plantas continuas que ha desarrollado la EPA (1995), las plantas continuas pueden reducir la emisión del material particulado total hasta en un 40% y del MP-10 solo un 3% cuando se comparan con las plantas batch. Adicionalmente, la aplicación de la tecnología continua reduce el consumo de energía fósil unitaria en el tambor secador en un 15% aproximadamente. También de acuerdo con la EPA, las emisiones de gases de combustión utilizando gas natural se reducen en 70, 16, 10 y 25% para CO, CO₂, NO_x y SO₂ respectivamente.

Aún cuando el proceso continuo presenta las anteriores ventajas, es importante resaltar que esta tecnología muestra mayores índices de emisión para compuestos orgánicos volátiles, debido a los mayores tiempos de exposición de los compuestos con bajo punto de ebullición a las altas temperaturas. Este factor se incrementa en un 266% en peso cuando se compara con el índice correspondiente en plantas batch.

El Reciclaje De Pavimento-Asfalto (RAP). La necesidad de racionalizar el uso de recursos minerales que promueva la sostenibilidad del ambiente, ha provocado que la técnica del reciclaje de pavimentos se presente como una alternativa factible para lograr la recuperación total de los materiales contenidos en un pavimento que ha cumplido con su tiempo de vida útil. Mediante la implantación de esta técnica es posible reducir significativamente la explotación de roca virgen y del asfalto necesario para producir las mezclas. El reciclaje del pavimento es un proceso sencillo que incluye: La separación de la mezcla asfalto – agregado, molienda y tamizado del mineral recuperado, calentamiento y dosificación del

agregado en el tambor secador en las proporciones de acuerdo con el diseño de la mezcla.

La técnica del reciclaje de pavimento, posibilita que en la industria de las mezclas asfálticas se minimice el Índice de Consumo de Materias Primas de Origen Mineral, recuperando el agregado e incluso el asfalto contenido en el pavimento; materiales que de Otra forma se convertirían en un residuo inutilizable. La Tabla 5 presenta la variación en los índices unitario y global relacionados con el consumo de Materias Primas Minerales, para algunos porcentajes de adición de agregado reciclado en plantas batch de mezcla asfáltica en caliente.

Otra forma se convertirían en un residuo inutilizable. La Tabla 5 presenta la variación en los índices unitario y global relacionados con el consumo de Materias Primas Minerales, para algunos porcentajes de adición de agregado reciclado en plantas batch de mezcla asfáltica en caliente.

El reciclaje del pavimento es una alternativa nueva para el país, pero aún no goza de una total aceptación por el desconocimiento del comportamiento del pavimento a largo plazo. Por esta razón es evidente que se requieren estudios relacionados con la formulación o diseño óptimo de estas mezclas asfálticas, ya que aún no se dispone de información confiable sobre las propiedades fisicomecánicas de las mezclas y de los pavimentos que se pueden lograr con esta tecnología.

Fabricación de mezclas asfálticas en frío. Otra tendencia mundial para la producción de las mezclas asfálticas se dirige hacia la manufactura y aplicación de éstas en frío. Bajo esta modalidad tecnológica, el asfalto se emulsiona en agua y se mezcla con el agregado a temperatura ambiente. Esta técnica presenta una serie de ventajas para el ambiente, como son:

- Reducción del 60 % en el *consumo de energía térmica*, con lo cual se esperaría una reducción en el *consumo de energía fósil* y en las *emisiones de óxidos de carbono*,

nitrógeno y azufre. En la Tabla 6 se hace una comparación de los índices de energía térmica unitario, consumo de energía fósil unitario, emisiones de óxidos de nitrógeno, azufre y dióxido de carbono, para las plantas de mezcla en frío y las plantas de mezcla en caliente.

- Igualmente, esta tecnología permite el manejo de los agregados húmedos lo que ocasiona que se reduzcan las emisiones de vapor de agua en el proceso, que de acuerdo con el balance de masa son aproximadamente de 0.07 toneladas/tonelada de producto.

TABLA 5. Variación en el consumo de materias primas minerales, para algunos porcentajes de adición de material agregado reciclado en plantas batch de mezclas asfáltica en caliente.

AGREGADO RECICLADO (%)	CMPMU ^a (ton/ton producto)	CMPMG ^b (toneladas)
0	1,12	4.426.240
5	1,06	4.189.120
10	1,00	3.952.000
20	0,89	3.517.280

^a. Consumo de materias primas minerales unitario.

^b. Consumo de materias primas minerales global.

FUENTE: Convenio UIS-IDEAM.

TABLA 6. Comparación de los índices de energía térmica unitario, consumo de energía fósil unitario, y los índices de emisiones de óxido de Nitrógeno, azufre y dióxido de Carbono, de las plantas de mezcla en frío y las plantas de mezcla en caliente.

	ETU	CEFU	NOx	SOx	CO ₂
Mezcla en caliente	234,45	335,36	0,051	0,3730	25,00
Mezcla en frío	94,00	135,00	0,020	0,1600	10,06

ETU: Energía térmica unitario MJ/ton producto, CEFU: Consumo de energía fósil unitario MJ/ton producto, NOx: Emisiones de óxido de Nitrógeno, Kg/ton producto, SOx: Emisiones de óxido de Azufre, Kg/ton producto, CO₂: Emisiones de dióxido de Carbono, Kg/ton producto.

FUENTE: Convenio UIS-IDEAM.

Sin embargo, esta técnica también requiere un consumo adicional de energía eléctrica en el molino coloidal y también requeriría de agua como materia prima del proceso.

La cantidad de agua utilizada se calcula en 0.037 ton/ton de mezcla asfáltica, la cual sería finalmente emitida a la atmósfera durante el proceso de curado del pavimento.

Vale la pena anotar que para el proceso de mezclas en caliente en las etapas de secado y mezcla no se requiere la adición de agua. Los

consumos de este recurso que se reportan para la tecnología en caliente corresponden al agua necesaria (4,2 ton/ton de mezcla) para el funcionamiento del scrubber purificador de gases, en los casos en que este dispositivo se utilice.

Aunque los costos correspondientes a equipos e insumos se reducen utilizando la vía fría, debe tenerse en cuenta que se debe contar con dispositivos para el almacenamiento de agua y obviamente contar con una fuente estable de este recurso.

Aunque la técnica en frío se ha venido aplicando a nivel mundial desde hace 25 años, se considera que ha tenido un éxito limitado en razón de la escasez de reportes de campo que muestren una equivalencia de calidad entre las mezclas en frío y las mezclas en caliente (Desarrollo y Estado Actual de las Emulsiones Asfálticas en Colombia, Octubre de 1995).

Reducción de las fugas de emisiones en pilas de almacenamiento.

Las zonas de almacenamiento y acopio del agregado se caracterizan por el levantamiento de finos, que afectan las áreas aledañas. Este efecto es visible durante el cargue y descargue en las pilas de almacenamiento y especialmente durante los períodos en que se presentan vientos con alta velocidad (mayores a 6 m/seg), baja humedad o erosión por el viento.

Las técnicas para el control de emisión de finos en el almacenamiento se muestran en la Tabla 7

TABLA 7. Técnicas de control para emisión de finos en pilas de almacenamiento del material mineral.

PUNTOS DE EMISIÓN	PROCEDIMIENTOS DE CONTROL	EFICIENCIA (%)
Carga del agregado sobre pilas de almacenamiento.	-Encerrado.	70-99
	-Humidificación con agentes químicos.	80-90
	-Conductos de descarga ajustables.	75
Movimiento del agregado sobre las pilas	-Encerrado.	95-99
	-Humidificación con agentes químicos.	90
	-Riego.	50
	-Utilización de grúa corredora para distribución de material.	n.d*
Arrastre de material desde las pilas de almacenamiento, causada por el viento	-Encerrado	95-99
	-Pantallas contra el viento	n.d*
	-Humidificación con agentes químicos.	90
Descarga	-Rociado con agua	50
	-Alimentación por gravedad sobre el transportador.	80

* No disponible.

FUENTE: Control Technologies for Hazardous air pollutants; EPA/625/014.

Tecnologías de control para reducción de material particulado de fuentes canalizadas.

La selección de los mecanismos de control aplicables al manejo del material particulado incluye colectores mecánicos, lavadores scrubbers y filtros de tela. Prácticamente todas las plantas usan equipos colectores de polvo primario.

Para capturar el material particulado remanente en los sistemas de colección primaria, los efluentes se envían hacia un equipo de colección secundario.

Puede afirmarse que la reducción para los mineral resources consume and/or energetic consume, emissions, residual water and solid

índices de material particulado en plantas batch es de 99.5% mediante la aplicación de un scrubber y de 99.8% mediante la aplicación de filtros de telas.

De la misma manera, la aplicación de tecnologías de control en plantas continuas presenta una reducción de 99.75 % con scrubbers y de 99.82 % con filtros de tela.

ABSTRACT

The different process technologies used by the mix asphalt plants in Colombia are shown in this paper. In order to compare the environmental assessment of these technologies, several "environmental performance indexes" like wastes originated by the process, are used. The paper suggests a set of feasible technological

alternatives, mainly related with the reduction of the emission of particulate material, less mineral resources usage and energetic savings.

AGRADECIMIENTOS

Uno de los autores (E. Castillo) expresa su reconocimiento a COLCIENCIAS por el soporte ofrecido a esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ecopetrol, Estudio de Asfaltos, Documento interno, Santafé de Bogotá, 1995.
2. Ecopetrol, Escuela Colombiana de Ingeniería, Desarrollo y Estado Actual de las Emulsiones Asfálticas en Colombia, 1995.
3. R. Gómez, Evaluación técnica económica de los yacimientos de asfalto en Pesca Boyacá, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, 1990
4. Barrera, L. Blanco, Caracterización físico - química de los yacimientos de asfalto natural, Santander y su factibilidad de usos industriales, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, 1989.
5. F. Barrera, M. Vargas, Caracterización físico - química del asfalto natural de las Pavas (Caquetá) y su factibilidad de usos industriales, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, 1990.
6. Environmental Protection Agency, USA, Control technologies for hazardous air pollutants, 1991.
7. E. Castañeda, Principios de Pavimentos, Publicaciones UIS, 1997.
8. ICP, Ecopetrol, Universidad del Cauca, Cartilla Práctica para el Manejo de los Asfaltos Colombianos, 1997.
9. DINERO, Revista: 41, 1996.
10. Indicadores de competitividad de la industria colombiana, Revista de la Unidad de Monitoreo Industrial,: 9, 1996.
11. IDEAM-UIS, Sistema de información para la evaluación ambiental de sectores productivos, Convenio de Investigación, Formatos para recolección de información, 1997.