

USO DE ENERGIA Y EMISION DE GASES EFECTO INVERNADERO EN LOS PROCESOS DE PRESERVACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO Y ASFALTICOS

Lic. Patricia Erica Irrgang
Gerente Latinoamerica Crafcoc Inc.
Patricia.irrgang@crafcoc.com

Jim Chehovits
Crafcoc Inc.

jim.chehovits@crafcoc.com

Larry Galehouse
National Center for Pavement Preservation USA

RESUMEN

El uso de tratamientos de conservación del pavimento se extiende la vida útil restante de pavimentos de concreto asfáltico. Estos tratamientos suelen incluir aerosol aplicado sellos de superficie, delgado superposiciones, tratamientos de crack, los sellos de chips, las lechadas y reciclado de superficie micro de superficies, y otros. Cada tratamiento de conservación reduce los efectos perjudiciales del envejecimiento y el deterioro de la capa de la superficie del pavimento y ayuda a proteger la integridad de la estructura del pavimento subyacente. Si los tratamientos de conservación dinámica no se utilizan, los pavimentos se deterioran más rápidamente y requieren una rehabilitación estructural importante con superposiciones o reconstrucción mucho antes. Cada tipo de estrategia de pavimento requiere una serie de procesos que utilizan energía, que afecta a las emisiones de gases de efecto invernadero. Rehabilitación de pavimento y la reconstrucción requerirá grandes cantidades de energía para obtener y procesar las materias primas, el transporte, mezclar y aplicar el producto final, mientras que los procesos de conservación del pavimento requieren mucho menos energía para aplicar el producto final a la superficie de la carretera. Este documento presenta información sobre el uso de energía por unidad de área mediante la comparación de las extensiones de la vida del pavimento de los tratamientos de conservación del pavimento en la vida de diseño típico de la reconstrucción y las técnicas de rehabilitación. Los resultados muestran que los tratamientos de conservación de pavimento se mitigan significativamente el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la rehabilitación tradicional y las estrategias de reconstrucción.

INTRODUCCIÓN

La construcción, rehabilitación y mantenimiento de los asfaltos de autopistas requiere la obtención, procesamiento, transporte, manufactura, y ubicación de grandes cantidades de materiales de construcción. Estas actividades utilizan cantidades substanciales de energía y generan gases de efecto invernadero (GEI). Diversas filosofías han existido, y siguen existiendo, sobre la aproximación adecuada a la gestión, rehabilitación, y mantenimiento

de los pavimentos. Los métodos varían desde el extremo de permitir que el pavimento se deteriore y luego reconstruir hasta el uso de tratamientos de preservación para minimizar los efectos del envejecimiento y maximizar el tiempo de vida del pavimento. Hay grandes diferencias de consumo de energía en diferentes construcciones, rehabilitaciones y técnicas de preservación. Estas diversas técnicas también proporcionan variadas cantidades de vidas útiles de los pavimentos. Para cada tratamiento de preservación, la vida útil de un pavimento puede ser comparada así también como la energía y emisiones de GEI para determinar el nivel del uso de energía anual y de emisiones de GEI. Para minimizar el uso de energía y las emisiones de GEI sobre la vida útil de los pavimentos, los tratamientos pueden ser elegidos para que consuman la menor energía y también reduzcan la emisión de GEI.

INFORME EVALUATIVO

El uso de energía y emisiones de GEI para la industria de la construcción ha estado recibiendo mayor atención en los últimos años. Los términos “verde”, “Desarrollo sostenible”, “Impacto medioambiental”, “Eficiencia energética”, “Calentamiento Global”, “Gases de efecto invernadero” y “Eco-eficiencia” están siendo reconocidos y utilizados más ampliamente.

Para construcciones, el sistema de Liderazgo en Energía Diseño Medioambiental (LEDI) se ha desarrollado para colaborar con en el diseño y construcción para minimizar los impactos medioambientales. Los sistemas LEDI-ND (para desarrollos vecinales) incluyen algunas consideraciones básicas sobre la pavimentación en el análisis para desarrollos unidad-mult (El comité de Construcción verde de EE.UU. 2008.). Los sistemas de carreteras verdes se han desarrollado como un método para asistir la sustentabilidad de los sistemas de carreteras. Las carreteras verdes permiten a los usuarios, consultores y contratistas tomar decisiones asistidas por medio de la entrega de una medida de rendimiento para el diseño y construcción de carreteras. El sistema define los atributos de sustentabilidad, proporciona un sistema para la evaluación de la sustentabilidad de las carreteras e incluye una colección de prácticas para el diseño y construcción sustentables. El sistema incluye 11 requisitos de proyectos, incluyendo términos que van desde planes de preservación de pavimentos y mantenimiento del medioambiente hasta la construcción de controles de calidad y el análisis del costo del ciclo de vida.

Es posible dar crédito a diversas tecnologías de pavimentación incluyendo las mezclas templadas de asfalto, asfaltos en frío, y pavimentos silenciosos, para nombrar algunas. Algunos créditos adicionales están disponibles pudiendo estos ser agregados para producir un puntaje final de las Carreteras Verdes. El puntaje puede ser utilizado para el seguimiento y evaluación del proyecto y la sustentabilidad del sistema (Greenroads, 2009). BASF ha desarrollado un método de análisis Eco-eficiente que puede ser aplicado a muchos productos o sistemas (Uhlman, 2009). El proceso considera y evalúa seis aspectos de un sistema incluyendo la materia prima, uso de tierras, de energía, emisiones toxicidad potencial, y potenciales de riesgo. Este procedimiento ha sido utilizado para comparar la eco-eficiencia de varios procesos de pavimentación

incluyendo recarpeteo de mezcla en caliente, micro-surfacing, y chip seals (Wall, 2004). Los sistemas de mezclado en frío, tales como el micro-surfacing fueron los que menos energía han utilizado y son más eco-eficientes que las mezclas de concreto asfáltico en caliente, y emulsiones chip seals que han demostrado necesitar menos energía y ser más eco-eficientes que los chip seals aplicados en caliente.

La publicación “Rehabilitación de carreteras y reducción de energía para los constructores de Canadá” (Asociación de Construcción de Canadá, 2005) fue desarrollada para proporcionar información sobre métodos para reducir el uso de energía durante la construcción de carreteras y las operaciones de mantenimiento. Se proporcionan sugerencias par reducir el uso de energía durante las operaciones en plantas y de construcción. Chappat y Bilal (2003) dieron a conocer un análisis profundo de consumo de energía y emisiones de GEI de más de 20 diferentes clases de productos de pavimentación por tonelada de material aplicado. Sus comparaciones muestran que los materiales y procedimientos de concreto demandan mayor cantidad de energía, seguido por las mezclas de asfalto en caliente (MAsC). El informe también ha mostrado que reciclado in situ en frio (CIR) es el proceso que menos energía requiere.

Dorchies (2008) informó sobre software que ha sido desarrollado para cuantificar el uso de energía y emisiones de GEI para variadas estructuras de pavimento basado en la cantidad y clase del mismo. Terrerl y Hicks (2008) analizaron el uso de energía para reciclado in situ en caliente (HIR) y determinó que el proceso utiliza menos energía que los la mezcla de asfalto en caliente (MAsC). Miller y Bahia (2009) en un informe sobre pavimentos sostenibles revelaron que el mantenimiento proactivo es el proceso que menos energía consume dado a que mínimas mejoras son hechas a la estructura del pavimento y su superficie. Estos autores sugieren que los procesos de bacheo en frío son los que requieren menor energía.

Un análisis extensivo del uso de energía y las emisiones de GEI para procesos de construcción principales han sido mencionados frecuentemente en esta revisión bibliográfica. Para procesos preventivos de mantenimiento, hay una cantidad de informes limitado de usos de energía y emisiones de GEI para diversos tratamientos con conclusiones adecuadas. De cualquier manera, los informes disponibles no siempre usan la misma base de datos ni los mismos métodos, por lo cual, comparaciones entre los procesos no puede ser realizada.

USO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GEI PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En la determinación del uso de energía y emisiones de GEI de varios tratamientos preventivos de mantenimiento, el primer tema es determinar los componentes del proceso para poder medir. Algunas comparaciones que sólo contemplan partes del proceso han sido informadas; partes como la manufactura del producto o su aplicación. Estas comparaciones pueden llevar a

conclusiones confusas. Una medida más acertada y realista del uso de energía y emisiones de GEI de una clase específica de trabajo, es para comenzar con la obtención de materia prima de la tierra y el agregado de pasos de operación, tales como el transporte, refinamiento, manufactura, mezcla y aplicación. La Tabla 1 fue compilada por Chappat y Bilal (2003). Es sobre el consumo de energía y emisiones de GEI para varios productos de construcción. La siguiente discusión de usos de energía para materiales y procesos está basada en la información de la Tabla 1.

Table 1
Uso de energía y emisiones de GEI para Materiales de Construcción de Pavimentos (Chappat y Bilal, 2003)

La energía consumida y los gases de efecto invernadero emitidos durante la manufactura de una tonelada de producto final desde la extracción (mina, aceite, depósito, etc.) hasta la venta de la unidad del producto (refinamiento, planta de cemento, etc.)			
Producto	Energía (MJ/t)	CO ₂ (kg/t)	Fuente de información
Bitumen	4,900	285	Eurobitume
Emulsión 60%	3,490	221	Eurobitume
Cemento	4,976	980	Athena & IVL
Aglomerante hidráulico	1,244	245	CED
Agregados chancados	40	10	Athena & IVL
Agregados Pit-Run	30	2.5	Athena & IVL
Acero	25,100	3,540	Athena & IVL
Linea rapida	9,240	2,500	IVL
Agua	10	0.3	IVL
Plástico	7,890	1,100	IVL
Combustible	35	4.0	IVL
Producción de Mezcla de Asfalto Caliente	275	22	IVL
Producción de Mezcla de Asfalto Templada	234	20	IVL
Producción de Asfalto Alto modulo	289	23	IVL
Producción de una Planta de mezcla en frío	14	1.0	IVL
RAP de Superficies asfalticas	12	0.8	IVL
In-situ Reciclado térmico	456	34	Colas MM
In-situ Estabilización de reciclado en frío	15	1.13	IVL
In-situ Estabilización de Cemento Soil	12	0.8	IVL
Aplicación de Mezcla de Asfalto Caliente	9	0.6	IVL
Aplicación de Mezcla de Asfalto en Frío	6	0.4	IVL
Pavimentación de carreteras de Concreto Asfáltico	2.2	0.2	IVL
Transporte en camión (km/t)	0.9	0.06	IVL

Materiales

La mayoría de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos asfálticos, rehabilitación y procesos de mantenimiento consisten de agregados de diversas graduaciones y los Aglomerante asfaltico de diferentes graduaciones de rendimiento. La energía total utilizada es obtenida comenzando con la extracción de materia prima y avanzando hasta el transporte y procesamiento/refinamiento.

Agregados

La energía consumida para la producción del agregado incluye la extracción, acarreo, pulverización e investigación. El consumo de energía para la producción de agregados va desde los 25.850 a 34.470 BTU/T, y las emisiones de GEI van desde las 2.5 a 10kg de dióxidos de carbono por tonelada).

Asfalto

El consumo de energía para la producción de aglomerantes asfálticos incluye la extracción de aceite crudo, transporte, y refinamiento. El consumo de energía para aglomerantes asfálticos ha sido determinado de ser de 4900MJ/t, y las emisiones de GEI son de 285kg de Dióxido de Carbono por tonelada.

Para las emulsiones asfálticas el consumo de energía es de 3490 MJ/t y la emisión de GEI es de 221 kg CO₂/t.

Manufactura

La manufactura incluye todos los pasos involucrados en el manejo, almacenamiento, secado, mezcla y preparación de materiales para la instalación. El consumo de energía varía dependiendo del material específico o clase de producto. Los productos manufacturados típicamente para el uso en autopistas, incluyen la mezcla de asfalto en caliente (MAsC), la mezcla en frío, sellador de grietas, y agregados para el secado de la superficie. La producción de MAsC consume 275MJ/t y produce 22kg de CO₂. La producción de mezcla cálida de asfalto, como se informa en la Tabla 1, consume 234 MJ/t, aproximadamente un 15% menos que las MAsC. Se nota que hay varios procesos de mezcla cálida para los cuales varía la energía utilizada según las temperaturas requeridas de producción.

Transporte al Sitio de Trabajo

Los materiales de la construcción producida deben ser transportados al sitio de trabajo. La energía consumida en el transporte varía de acuerdo a la cantidad de material transportado y la distancia. La energía utilizada en el transporte ha sido informada como 0,9MJ/km-t con 0.06 kg CO₂/km-t.

Implementación y construcción.

La implementación y la construcción consisten de todas las actividades requeridas para instalar todos los materiales o productos. Esto incluye el control del tránsito, preparación del producto y el lugar de trabajo, compactación, terminación, limpieza, depósito de residuos, etc. El proceso que más energía requiere es reciclado in situ en caliente (HIR) con 456 MJ/t y 34 kg CO₂/t of GEI. Esto se debe al calentamiento necesario para suavizar y

recuperar el pavimento existente. La aplicación de concreto asfáltico y mezclas en frío requiere entre 6 a 9 MJ/t con 0.4 a 1.1 kg CO₂/t of GEI. La energía de aplicación más baja es la del PCC: 2.2 MJ/t con 0.2 kg CO₂/t de GEI.

Uso de Energía total y Emisiones de GEI

Las tablas 2 y 3 son resúmenes del uso total de energía y emisiones de GEI para la materia prima, manufactura y aplicación de varios productos de construcción (Chappat y Bilal, 2003). Los datos muestran que los pavimentos de concreto cemento utilizan más energía, aproximadamente 1000MJ/t estando la mayor demanda de energía en la manufactura del cemento. El concreto asfáltico utiliza menos energía: 680 MJ/t, estando la mayor parte de la energía requerida por la manufactura del cemento asfáltico y el calentamiento durante los procesos de mezclado en caliente.

Tabla 2(Chappat y Bilal, 2003)

Uso total de Energía para los Materiales de Construcción de Pavimentos.

Energy Consumption (MJ/t) for Each Tipo of Product						
Product	Ligante	Agregados	Manufactura	Transporte	Colocdo	Total (MJ/t)
Concreto Bituminoso	279	38	275	79	9	680
Rutas en base a Concreto asfaltico	196	36	275	75	9	591
Concretos Asfálticos de Alto Modulo	284	38	289	79	9	699
Mezcla de Asfalto Templada	294	38	234	80	9	654
Agregados con emulsion	227	37	14	81	6	365
Mezcla de Asfalto en Frío	314	36	14	86	6	457
Materiales unidos con Cemento	200	32	14	67	6	319
Cement-Bound Materials & AJ	203	32	14	67	6	323
Agregados con aglomerante	50	29	14	61	6	160
Agregados con aglomerante	54	29	14	61	6	164
Cement Concrete	598	40	14	84	2.2	738
Tratamientos continuos en conctrcto	1,100	29	14	81	2.2	1,22
Material Granular sin tratamiento	0	40	-	68	6	113
Tratamientos de suelo cemento	63	0	-	7	12	81
Reciclado Térmico	98	4	-	12	456	570
Bituminoso con 10% de RAP	250	35	275	73	9	642
Concreto asfálticos c/20% RAP	157	33	275	64	9	538
Concreto asfálticos c/30% RAP	137	39	275	58	9	510
Concreto asfálticos /50% RAP	98	25	275	47	9	454
Reciclado con emulsion in situ	105	4	-	15	15	139

Table 3(Chappat y Bilal, 2003)
Emisiones Totales de GEI para Materiales de construcción de Pavimentos

Emisiones de Gases de Efecto invernadero (kg/t) para cada clase de Producto						
Producto	Ligante	Agregados	Manufactura	Transporte	Colocación	Total (kg/t)
Concreto Bituminoso	16	9.4	22.0	5.3	0.6	54
Carreteras a base de Concreto Asfáltico	11	7.6	22.0	5.3	0.6	47
Concretos Asfálticos de alto Modulo	17	9.4	23.1	5.0	0.6	55
Mezcla templada de Concreto Asfáltico	17	9.4	20.5	5.3	0.6	53
Agregados con ligante de Emulsion	14	9.4	1.0	5.4	0.4	30
Mezcla de Asfalto en frío	20	9.1	1.0	5.7	0.4	36
Materiales unidos con Cemento	39	5.7	1.0	4.5	0.4	51
Materiales unidos con Cemento	40	5.7	1.0	4.5	0.4	51
Agregados con aglomerante hidraulico	10	5.1	1.0	4.1	0.4	20
Agregados aglomerante hidraulico	10	5.7	1.0	4.5	0.4	22
Concreto Slabs sin Dowels	118	9.6	1.0	5.6	0.2	134
Concretos Continuos Reinforced	188	5.1	1.0	5.4	0.2	200
Material granular sin tratamiento	0	9.6	-	4.5	0.4	15
Suelos tratados in situ cemento	12	-	-	0.5	1.1	14
Reciclado térmico	6	1.0	-	0.8	34.2	42
Concreto Asf. con 10% de RAP	15	8.6	22.0	4.9	0.6	51
Concreto Asfáltico c/20% RAP	9	7.8	22.0	4.3	0.6	44
Concreto Asfáltico c /30% RAP	8	7.0	22.0	3.9	0.6	41
de Concreto Asfáltico c /50% RAP	6	5.2	22.0	3.1	0.6	37
Reciclados con Emulsion In situ	7	1.0	1.1	1.0	0.4	10

CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GEI PARA LOS PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN, REHABILITACIÓN Y PRESERVACIÓN

Las diferentes operaciones de construcción, rehabilitación y preservación de pavimento, consumen diferentes cantidades de energía. El uso de energía y emisiones de GEI por tonelada de producto sólo proporciona una comparación relativa de los productos. La estructura específica del pavimento o clase de trabajo junto con las cantidades de materiales deben ser evaluadas para comparar más acertadamente al uso de energía y las emisiones de GEI para la construcción, rehabilitación y preservación. Dorchies (2008) ha realizado varias comparaciones para las diferentes secciones estructuradas del pavimento, y determinó que para las diferentes estructuras con el mismo rendimiento estructural, el uso de energía y las emisiones de GEI pueden variar tanto como un 80%.

Para algunos tratamientos de preservación de pavimentos, incluyendo los MASc y HIR, el uso de energía y emisiones de GEI están disponibles. Ha habido algunas comparaciones más específicas desarrolladas para varias clases de selladores chip y para micro surfacing. No se han podido encontrar referencias para los tratamientos de sellado y bacheo.

Para proporcionar comparaciones uniformes, la información desarrollada por Chappat y Bilal (2003), de las tablas 1, 2 y 3 fue utilizada para calcular el uso de energía y las emisiones de GEI. El uso de energía y las emisiones de GEI fueron calculados por unidad de área. Utilizando cantidades típicas de materia prima para cada tratamiento. Los tratamientos de preservación considerados incluyendo el recubrimiento MASc y HIR sellado chip micro-surfacing/slurry seal, llenado y sellado de grietas y fog seal. Para algunos tratamientos diversas aplicaciones de los tratamientos fueron consideradas. La tabla 4 muestra el uso de energía calculado y las emisiones de GEI para estos procesos de preservación. El análisis del uso de energía y las emisiones de GEI para estos procesos de preservación de pavimento se ha hecho incluyendo materia prima, transporte, procesamiento, mezcla e instalación según sean apropiados. Más detalles sobre la determinación de energía se encuentran listados en la siguiente discusión para cada tipo de tratamiento. Para fines comparativos, la tabla 5 muestra la engría y las emisiones de GEI para la construcción y rehabilitación de los típicos pavimentos

Tabla 4
Uso total de Energía y emisiones de GEI para los tratamientos de Preservación de Pavimentos,

TRATAMIENTO	DETALLES	EMISIONES DE GEI	
		MJ/m ²	kg/m ²
Mezcla de Asfalto en Caliente	Grosor de 3.8 cm	59	4.9
	Grosor de 5.0 cm	77	6.7
Reciclado en Caliente In situ (HIR)	Grosor de 3.8 cm 50/50	49	3.8
	Grosor de 5.0 cm 50/50	65	4.9
Chip Seal	2.0 L/m ² Emulsión	8.9	0.5
	1.6 L/m ² Emulsión	6.5	0.4
Slurry Seal / Micro-surfacing	Tipo III, 12% Emulsión,	6.5	0.3
	Tipo II, 14% Emulsión	4.9	0.2
Sellado de Grietas	0.37 m/m ² , 0.37 kg/m	1.1	0.08
Tapado de Grietas	0.74 m/m ² , 0.74 kg/m	2.0	0.14
Fog Seal	0.23 L/m ² , 50/50 Emuls.	0.4	0.02
	0.46 L/ m ² , 50/50 Emuls.	0.8	0.04
	0.69 L/ m ² , 50/50 Emuls.	1.2	0.07

Tabla 5
Uso de Energía y emisiones de GEI para la Construcción y rehabilitación del Concreto Asfáltico.

TRATAMIENTO	DETALLES	USO DE ENERGÍA	EMISIONES DE GEI
		MJ/m ²	kg/m ²
Nuevas Construcciones	100 mm HMA 150 mm Base Agregados ¹	198.5	13.1
Rehabilitaciones Mayores con Mezcla en Caliente	Recubrimiento de 100 mm ²	142.8	11.3
	Recubrimiento de 75 mm ²	107.1	8.5
Rehabilitaciones Mayores con mezclas tibias	Recubrimiento de 100 mm ²	137.3	11.1
	Recubrimiento de 75 mm ²	103.0	8.3

¹ Datos de Dorchies (2005)

² Datos de Chappat and Bilal (2003)

Las siguientes son descripciones y hallazgos del trabajo de preservación de pavimentos analizados:

Recubrimiento de Mezclas Asfálticas Calientes (MAsC)

Las capas finas de MAsC, aplicadas aproximadamente con un grosor de 3.8 a 5.0 cm, son comúnmente utilizadas como método de preservación de pavimentos. Los datos de los GEI son calculados basados en el uso de una densidad de 2240kg/m³. Los resultados se muestran en la Tabla 7 para grosores de 3.8-5.0 cm. El de grosor de 3.8 cm usa 86 kg/m² y el de 5.0 cm utiliza 114 kg/m². En el análisis se ve un uso de 680 MJ/t para todo el proceso.

Reciclado en Caliente In situ (HIR)

El HIR consiste del calentamiento, remoción y re mezcla de una pulgada de la superficie de la superficie del pavimento seguido por la instalación de una nueva capa de concreto asfáltico de un grosor de una pulgada dando un tratamiento con un grosor de 5.0 cm. Con el propósito de comparar también se muestra un tratamiento de 3.8cm. El uso básico de energía es de 570 MJ/t. Los datos son calculados utilizando una densidad de 2240 kg/m³.

Chip Seal

Dos tratamientos de chip seal fueron analizados. Primero un diseño de alta calidad utilizando 2.0 L/m² de emulsión asfáltica con 21 kg/m² de agregado.

El segundo diseño una aplicación de Aglomerante menor de 1.6 L/m^2 con una graduación de agregado menor de 15 kg/m^2 . El uso de energía es calculado incluyendo la emulsión y el agregado incluyendo la materia prima, transporte e instalación.

Slurry Seal/Micro Surfacing

Dos diseños de tratamientos slurry seal/micro-surfacing fueron analizados. Primero un agregado típico de Clase III, con un 12% de emulsión y una tasa de aplicación de 13 kg/m^2 . El segundo diseño es un agregado típico de Clase II con, un 14% de emulsión y una tasa de aplicación de 8.7 kg/m^2 . El uso de energía es calculado incluyendo la emulsión y el agregado incluyendo la materia prima, transporte e instalación.

Sellado de Grietas.

El sellado de grietas fue calculado para la típica densidad de Grietas en base a un pie de sellador por yarda cuadrada. Esta densidad es la equivalente a una fisura longitudinal por cada carril, y con fisuras transversales a una distancia de 11.0 m. Este patrón de fisuras, para una típica milla de un carril produce 2.146m de sellado para el área de 0.365 m/m^2 . Una instalación de 2268 kg por día es utilizada. La aplicación va desde cuatro pies cuadrados por libra de sellador, produciendo una cantidad de sellador a ser instalado de 0.136 kg/m^2 . El uso de energía es calculado incluyendo la emulsión y el agregado incluyendo la materia prima, manufactura, campo de calentamiento, corte de reservas, transporte e instalación.

Llenado de grietas

El llenado de grietas fue calculado para la típica densidad de grietas en base a un pie de sellador por yarda cuadrada. Esta densidad equivale al patrón de dos grietas longitudinales con grietas transversales a una distancia de 5.5cm. Este patrón de grietas para un típico carril de una milla produce 4.292 m de grietas para el área de $5,867 \text{ m}^2$, que son 0.73m/m^2 . Una tasa de instalación de 2268 kg por día es utilizado, produciendo ésta una cantidad de sellado para la instalación de 0.272 kg/m^2 . El uso de energía es calculado incluyendo la emulsión y el agregado incluyendo la materia prima, manufactura, transporte e instalación.

Fog Seal

El Fog sealing es calculado para tres diferentes formas de aplicación: 0.23, 0.46, y 0.69 L/m^2 de emulsión asfáltica diluida a razón de 50/50. El uso de energía es calculado incluyendo la emulsión y el agregado; la materia prima, manufactura, transporte e instalación.

Nueva Construcción: Mezclas de Asfalto en Caliente (MAcC)

La sección estructural del pavimento es de 100 mm. De MAsC dispuestas en 150mm de una base de agregado en curso. El uso de energía es calculado teniendo en cuenta la materia prima, calentamiento, mezcla, transporte, aplicación y compactación.

Rehabilitación: Pavimento de Mezclas de Asfalto en Caliente (MAsC)

Han sido investigadas capas de 100 mm. y 75 mm. El uso de energía es calculado teniendo en cuenta la materia prima, calentamiento, mezcla, transporte, aplicación y compactación.

Rehabilitación: Pavimento Mezclas Tibias de Asfalto

Han sido investigadas capas de 4100 mm y de 75 mm. El uso de energía es calculado teniendo en cuenta la materia prima, calentamiento, mezcla, transporte, aplicación y compactación.

USO ANUAL DE ENERGÍA Y EMISIONES DE GEI PARA LOS PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN. REHABILITACIÓN, Y PRESERVACIÓN

Los tratamientos de preservación de pavimentos tratan proactivamente las necesidades de los pavimentos y están hechos de manera tal de prolongar su vida útil. Ha habido varios estudios que han determinado el aumento en la vida útil de los pavimentos proporcionado por los diversos tratamientos de preservación. Las extensiones de vida resultante han variado notablemente dependiendo de varios factores incluyendo factores medioambientales, tiempos, diseño del tratamiento, uso existente del pavimento, niveles de tránsito y calidad de construcción. El rango de extensiones de vida de tratamientos de pavimentos con diseño y construcción apropiados varían desde un año para el sellado fog, hasta diez años para las capas de HMA y HIR. La energía y los datos de GEI deben ser normalizados para la expectativa de vida del pavimento para comparar el uso de energía y las emisiones de GEI de los tratamientos de preservación. La normalización es lograda dividiendo los datos unidad de energía y emisiones de GEI por unidad de área de la tabla 4 por la extensión de vida de la tabla 6 para producir resultados anuales. Los resultados anuales para los tratamientos de preservación se muestran en la tabla 7 y para nuevos tipos de trabajos de rehabilitación y construcción, en la Tabla 8. En la tabla 7 los rangos para el uso de energía y emisiones de GEI son debido a los rangos de extensión de vida listados en la Tabla 6.

Tabla 6 Extensiones de la vida útil de pavimento proporcionada por los tratamientos de preservación.

TIPO DE TRATAMIENTO	EXTENSIÓN DE VIDA
Capa fina de MAsC	5 – 10 años
Reciclado in situ En caliente	5 – 10 años
Chip Seal	3 – 6 años
Slurry/Micro Surfacing	3 – 5 años
Sellado de Grietas	1 – 3 años
Rellenado de Grietas	1 – 2 años
Fog Sealing	1 año

Tabla 7
Uso de energía y las emisiones de GEI por año para los procesos de Preservación de Pavimentos.

Tratamiento	Detalles	Extensión de Vida Del Pavimento	Emisiones de Gases del Efecto Invernadero por año	
			MJ/m²	kg/m²
Mezclas de Asfalto en Caliente	Grosor de 3.8 cm	5–10 años	5.9 - 11.8	0.5 - 1.0
	Grosor de 5.0 cm	5–10 años	7.7 - 15.4	0.7 - 1.3
Reciclado in situ en caliente(HIR)	Grosor de 3.8 cm 50/50 Reciclado/Nuevo	5 – 10 años	4.9 - 9.8	0.4 - 0.8
	Grosor de 5.0 cm 50/50	5 – 10 años	6.5 - 13.0	0.5 - 1.0
Chip Seal	Emulsión de 2.0 L/m ² , Agregado de 21 kg/m ²	3 – 6 años	1.5 - 3.0	0.08 - 0.10
	Emulsión de 1.6 L/m ² Agregado de 15 kg/m ²	2 – 5 años	1.3 - 3.3	0.08 - 0.2
Slurry Seal / Micro-surfacing	Emulsión de 12%, Tipo III, 13 kg/m ²	3 – 5 años	1.3 - 2.2	0.06 - 0.10
	Emulsión de 14% Tipo II, 8.7 kg/m ²	2 – 4 años	1.2 - 2.4	0.05 - 0.10
Sellado de Grietas	0.37m/m ² , 0.37 kg/m	1 – 3 años	0.4 - 1.1	0.03 - 0.08
Relleno de grietas	0.74 m/m ² , 0.74 kg/m	1 – 2 años	1.0 - 2.0	0.07 - 0.14
Fog Seal	0.23 L/m ² , 50/50 Emulsión diluida.	1 año	0.4	0.02
	0.46 L/ m ² , 50/50 Emulsión Diluida.	1 año	0.8	1.04

	0.69 L/ m ² , 50/50 Emulsión Diluida.	1 año	1.2		0.07
--	--------------------------------------------------	-------	-----	--	------

Tabla 8 Uso de Energía y de Emisiones de GEI para la construcción y rehabilitación del pavimento de concreto.

Tratamiento	Detalles	Vida de Diseño	Emisiones de GEI por año	
			MJ/m ²	Kg/
Nueva Construcción	100 mm HMA over 150 mm Base Agregados	20 años	9.9	0.7
Rehabilitaciones Mayores con Mezclas en caliente	Recubrimiento de 100 mm	15 años	9.4	.08
	Recubrimiento de 75 mm	12 años	8.9	0.7
Rehabilitaciones Mayores con Mezclas tibias	Recubrimiento de 4" (100 mm)	15 años	9.2	0.8
	Recubrimiento de 3" (75 mm)	17 años	8.5	0.7

Los datos de uso anual de energía y GEI para los tratamientos de preservación de pavimentos varía desde 0.4MJ/m²-año para una aplicación de sellado fog de 0.23 l/m² hasta 15.4 MJ/m²-año para una capa de 5.0 cm de MAsC. Los resultados anuales para las nuevas clases de trabajos de rehabilitación y construcción varían desde 6,780 hasta 8.5-9.9 MJ/m²-año. Los resultados se agrupan en tres categorías. La primera categoría incluye la capa fina de MAsC, HIR, reconstrucción y rehabilitación, tienen los resultados anuales que varían entre 3,870 hasta 4.9-15.4 MJ/yard²-año en el uso de engría y desde 0.4-1.3 kg/m²-año de GEI. La segunda categoría incluye el sellado chip, micro surface, llenado de grietas variando desde un uso de energía de 1.0-3.3 MJ/yard²-año y de 0.07-0.20 kg/m²-año de GEI. La tercera y última categoría incluye el sellado Fog y el sellado de grietas con un uso de energía desde las 0.4-1.1 MJ/m²-año y desde 0.02-0.08 kg/m²-año de GEI.

Los resultados de energía anual y las emisiones de GEI ilustrados en la tabla 7 muestran que los diversos tratamientos de preservación de pavimentos proporcionan un año de extensión en la vida del pavimento con diferentes requisitos energéticos y emisiones de GEI. Cada clase de tratamiento de pavimento no siempre será apropiado para todos los pavimentos, usos, tráfico, clima, resultados deseados, etc.

CONCLUSIONES

Las comparaciones del uso de energía y emisiones de GEI para la construcción, rehabilitación y preservación de los pavimentos de concreto asfáltico fueron calculadas y comparadas. Los resultados muestran que sobre una base anual las diferentes clases de procesos requieren diferentes

cantidades de energía por año de vida útil del pavimento. La reconstrucción, rehabilitación mayor, capas finas de MAsC, y HIR tienen el mayor uso de energía y varían entre 6.3-12.6 MJ/m²-año. El sellado Chip, Slurry, micro surfacing y llenado de grietas utilizan cantidades menores de energía por año de vida útil de pavimento extendida variando desde las 1.3-3.3 MJ/m²-año. El sellado de grietas y el sellado fog utilizan la menor cantidad de energía por año de extensión de vida del pavimento con menos de 1.3MJ/m²-año.

El uso de energía y emisiones de GEI dependen principalmente de las diferentes clases de productos y cantidad de material utilizado por unidad de área. Los productos que utilizan menores cantidades de asfalto por unidad de área y aquellos que no requieren el calentamiento del agregado utilizan menores cantidades de energía. Adicionalmente, los productos que tienen la menor cantidad de material aplicado al pavimento por unidad de área utilizan menor cantidad de energía, simplemente porque no se debe producir, procesar, transportar ni instalar tanto material. Para minimizar el uso de energía y emisiones de GEI sobre la vida del pavimento, todos los procesos de preservación deberían ser utilizados apropiadamente tanto como sea posible para todas las condiciones existentes de pavimento.

REFERENCIAS

- Dorchies, P.T. (2008). The Environmental Road of the Future: Analysis of Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions. The 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Toronto, Ontario
- Chappat, M. & Bilal, J. (2003). The Environmental Road of the Future: Life Cycle Analysis, Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions, Colas Group.
- Miller, T. & Bahia, H. (2009). Sustainable Asphalt Pavements Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities. Modified Asphalt Research Center, University of Wisconsin Madison
- Terrel, R.L. & Hicks, R.G. (2008). Viability of Hot In-Place Recycling as a Pavement Preservation Strategy, Report Number: CP2C-2008-106. California Pavement Preservation Center, Chino, California.
- Uhlman, B. (2009). Principals of Eco-Efficiency Analysis in Construction Applications. ARRA-AEMA-ISSA Annual Meeting, Palm Springs, California. February 17-21, 2009.
- Canadian Construction Association (2005). Road Rehabilitation Energy Reduction Guide for Canadian Road Builders; Ontario
- Wall, C. (2004). Eco-Efficiency Analysis of Chip Seals, BASF Corporation Report.
- US Green Building Council (2008). Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Green Building Rating System, Washington, DC
- Greenroads (2009). University of Washington & CHS M Hull