



Title: Carbon footprint of heavy machinery in the paving construction process

Authors: ACEVES-GUTIÉRREZ, Humberto, LÓPEZ-CHÁVEZ, Oscar, CAMPOY-SALGUERO, José Manuel and MERCADO-IBARRA, Santa Magdalena

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2022-01
BCIERMMI Classification (2022): 261022-0001

Pages: 13
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

Hasta hace no muy poco tiempo, la capacidad del ser humano para alterar el medio ambiente era limitada y puntual. Pero en los últimos cien años esta capacidad para alterar el entorno se ha incrementado notablemente, llegando a poner en peligro la totalidad del planeta. Las emisiones atmosféricas, vertidos o residuos no visibles, generadas por las industrias constituyen, sin duda, los más perjudiciales de los residuos producidos por las actividades del hombre.

Actualmente, una de las problemáticas ambientales más alarmantes en el mundo es seguramente el tema de contaminación, puesto que la contaminación ambiental hoy no conoce fronteras y afecta a todo el planeta. Encinas (2011) define a la contaminación como la presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o formas de energía no deseables en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas, animales y/o la vegetación, y al uso y disfrute de lo que ha sido contaminado.

El cambio climático es impulsado por el efecto invernadero, el cual es generado por los gases del mismo nombre “gases de efecto invernadero” (GEI).

Los GEI son parte natural de las condiciones climáticas del planeta, éstos propician las condiciones óptimas de vida en el planeta tierra, garantizando una temperatura ideal para la realización de los procesos naturales. El problema ocurre cuando hay un aumento en la concentración de estos gases, ya que la radiación absorbida y emitida por la atmósfera es mayor ocasionando que aumente la temperatura en la superficie terrestre y en la tropósfera.

Entre los principales GEI, el que más preocupa es el dióxido de carbono (CO₂) por su responsabilidad en el cambio climático y de acuerdo con OECC (2013), la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado por la actividad humana, fundamentalmente por el uso de combustibles fósiles y la deforestación.

El sector de la construcción a nivel mundial es una de las industrias más importantes y así mismo una de las más contaminantes en la actualidad, se puede estimar que un 40% de la contaminación, es generada por actividades ligadas directa o indirectamente a la construcción de obras civiles, la gran cantidad de recursos invertidos en la obtención de materias primas, así como su transporte y posterior manufacturación son prueba de ello, hasta 2 toneladas de materias primas son requeridas por cada metro cuadrado de una edificación.

Según un informe presentado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el sector constructivo adicionalmente consume un 40% de toda la energía, la extracción de hasta un 30% de las materias primas en el entorno, el 25% de los residuos sólidos generados provienen de actividades ligadas a la construcción, y por último consume hasta el 25% de agua y ocupa un 12% aproximado de la tierra.

El sector de la Construcción es muy importante en el desarrollo de un país ya que contribuye a generar elementos de bienestar básicos en una sociedad al construir puentes, carreteras, puertos, vías férreas, presas, plantas generadoras de energía eléctrica, industrias, así como viviendas, escuelas, hospitales; permitiendo el desarrollo de las zonas urbanas y el crecimiento de las ciudades.

Los espacios urbanos se pueden definir como las zonas accesibles para todos los habitantes y usuarios en cualquier momento, se componen de diversas estructuras que favorecen las actividades económicas, sociales, culturales y de cualquier otro interés dentro de la población existente, tal entorno está conectado principalmente por un sistema constituido principalmente por pavimentos asfálticos de tipo flexible (carpeta asfáltica) y/o rígido (concreto hidráulico); lo que gracias a la expansión urbana se ha convertido en una creciente demanda social como un indicador de una mejor calidad de vida generando con esto mayor cantidad de recursos para su construcción, lo que a su vez provoca un mayor impacto en el ambiente.

Un pavimento es una estructura compuesta por capas relativamente horizontales de materiales adecuados y propiamente compactados, sobrepuestas entre sí, las cuales se diseñan para resistir óptimamente los esfuerzos a los cuales se ven solicitadas por cargas repetidas de tránsito y está constituido materiales asfálticos, cuya composición de capas puede estar dada por la sub-base granular, base granular, carpeta asfáltica y los distintos tipos de riegos.

Dentro de los diferentes tipos de pavimentos encontramos el correspondiente a la presente investigación que es del tipo de los Pavimentos flexibles, los cuales están conformados por una carpeta bituminosa la cual se apoya, generalmente, en dos capas no rígidas, la base y la sub-base, dependiendo de cada caso en particular el sí se puede prescindir de una capa u otra y los pavimentos rígidos los cuales están constituidos por una losa de hormigón apoyada sobre la sub-rasante o sobre una sub-base del pavimento rígido, de material seleccionado.

En la actualidad a través de diversas fuentes bibliográficas se conocen las emisiones de carbono que se generan en cada material, producto o servicio existente, lo que ha permitido conocer con claridad el impacto que se genera en cada actividad y nos permite el cuantificar las emisiones de CO₂ que se generan en la construcción de una infraestructura de cualquier tipo y como esto puede variar a partir de los materiales y la zona de la construcción, por lo que es imperante la consideración del impacto ambiental que genera cualquier construcción.

En el presente trabajo se calcula la huella de carbono generada por la construcción de un pavimento asfáltico por medio de factores de emisión obtenidos por el uso de maquinaria utilizada en cada proceso constructivo.

Se consideró como el objeto del estudio un fraccionamiento urbano ubicado en Ciudad Obregón Sonora, México, el pavimento es de carpeta asfáltica de 4 cm de espesor de carpeta, 15 cm de espesor de la capa de base, 15 cm de espesor de la capa sub-base y 20 cm de espesor de la capa subyacente como material del terreno natural.

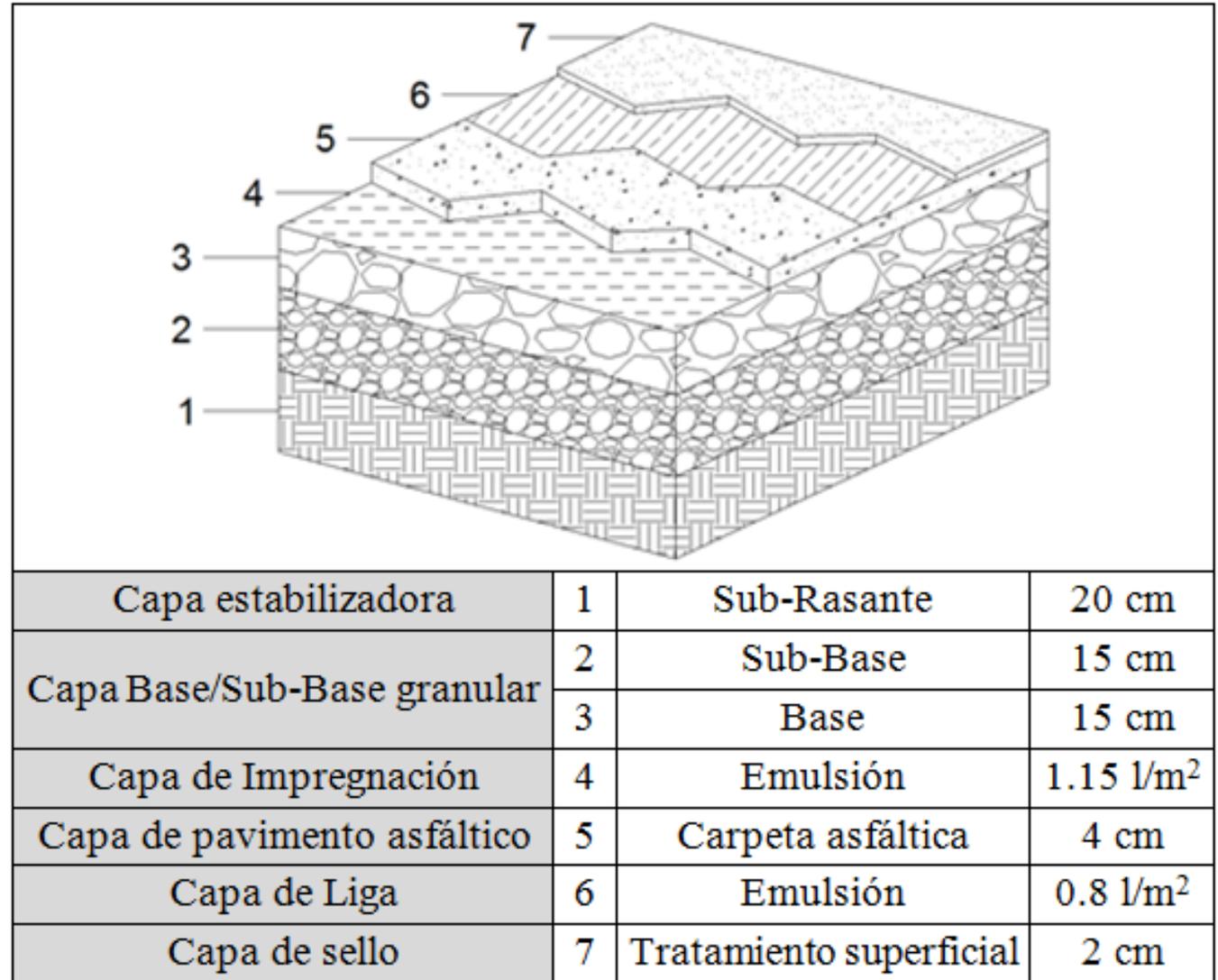


Figura 1 Especificaciones de la estructura de un pavimento asfáltico de 4 cm. *Fuente: Elaboración propia.*

Metodología

Para llevar a cabo este proyecto, se contó con los siguientes participantes:

- Profesores investigadores Instituto Tecnológico de Sonora del Departamento de Ingeniería Civil.
- Un alumno del programa educativo de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Sonora.

Materiales y equipo:

- Planos de pavimentación del fraccionamiento: Archivo en donde se encuentran especificadas la forma, dimensiones, características de diseño.
- Equipos: Computadora de escritorio y LAP TOP.
- AutoCAD, Software para el diseño, revisión y modificación de planos.
- Microsoft Word, Excel y PPT.

Procedimiento:

1. Se seleccionó el fraccionamiento en el que se basó el estudio.
2. Se definieron los conceptos de obra y se procedió al cálculo de las cantidades de obra en cada etapa del proceso constructivo.
3. Se seleccionó la maquinaria de construcción adecuada para cada tipo de trabajo y se determinaron las características específicas de cada una (Rendimiento de maquinaria, potencia y coeficiente de consumo).
4. Utilizando la fórmula: $Gh = (C.H.) * (No. \text{ de HP}) * (F.O.)$, se obtuvieron las cantidades de combustible utilizado por hora efectiva de trabajo para cada etapa del proceso.
5. Se determinó el factor de emisión del combustible y se determinaron las cantidades de Kg-CO₂eq obtenidas por cada hora de trabajo realizada de cada maquinaria utilizada.
6. Se determinaron las cantidades de Kg-CO₂eq obtenidas obtenida por toda la obra y a su vez, se determinaron las emisiones de Kg-CO₂ por cada m².

Resultados

Se seleccionó el fraccionamiento de Puente Real para este estudio, se ubica la norte de Ciudad Obregón Sonora; del cual se emplearon planos y los datos de la estructura del pavimento con la finalidad de obtener los conceptos de obra.

En la tabla 2 se observan los diferentes volúmenes de obra que se determinaron y que fueron necesarios para el estudio, destacan el área pavimentada de 128, 049.59 m² y los volúmenes de 26, 204.97 m³ de sub-rasante y el volumen de sub-base de 20, 875.29.

Nombre de la Calle	Área (m ²)	Carpeta Asfáltica		Base		Sub-Base		Sub-rasante	
		(m)	(m ³)	(m)	(m ³)	(m)	(m ³)	(m)	(m ³)
Río Volga	2009.25	0.04	80.37	0.15	301.39	0.15	301.39	0.2	401.85
Azer	876.34	0.04	35.05	0.15	131.45	0.15	131.45	0.2	175.27
Río Esteras	1321.53	0.04	52.86	0.15	198.23	0.15	198.23	0.2	264.31
Caudal	487.1	0.04	19.48	0.15	73.07	0.15	73.07	0.2	97.42
Hacho	283.16	0.04	11.33	0.15	42.47	0.15	42.47	0.2	56.63
Sagasta	2914.98	0.04	116.6	0.15	437.25	0.15	437.25	0.2	583
Oviedo	2975.27	0.04	119.01	0.15	446.29	0.15	446.29	0.2	595.05
Río Puelo	971.24	0.04	38.85	0.15	145.69	0.15	145.69	0.2	194.25
Río Garona	2058.74	0.04	82.35	0.15	308.81	0.15	308.81	0.2	411.75
Río Carrión	846.87	0.04	33.87	0.15	127.03	0.15	127.03	0.2	169.37
Río Ortega	1294.52	0.04	51.78	0.15	194.18	0.15	194.18	0.2	258.9
TOTALES	128049.59		5485.31		19653.73		20875.29		26204.97

Tabla 2 Cantidades de obra fraccionamiento. *Fuente: Elaboración Propia.* Nota: Son valores representativos.

Concepto	Área	Vol. acarreo (m3)	Vol. (m3)	Rend. (m³/hr)	Horas de trabajo
Carpeta asfáltica		5485.3	6928.8	227.84	30.41
				Totales	24.08
Base compc. Al 95%		19653.72	25549.84		
Extender		19653.72	25549.84	268.00	95.34
Humedecer		19653.72	25549.84	200.00	127.75
Mezclar		19653.72	25549.84	268.00	95.34
Extender		19653.72	25549.84	268.00	95.34
Compactar		19653.72	25549.84	59.90	426.54
				Totales	840.30
Sub-Base compc. al 95%		20875.28	28566.17		
Extender		20875.28	28566.17	227.84	125.38
Humedecer		20875.28	28566.17	200.00	142.83
Mezclar		20875.28	28566.17	268.00	106.59
Extender		20875.28	28566.17	268.00	106.59
Compactar		20875.28	28566.17	63.59	449.22
				Totales	930.61
Riego de impregnación	128049.59			15000	8.54
Riego de sello	128049.59			15000	8.54
				Totales	17.08
Mejoramiento de Sub-Rasante		26204.97	35859.43		
Extender		26204.97	35859.43	227.84	157.39
Humedecer		26204.97	35859.43	200.00	179.30
Mezclar		26204.97	35859.43	268.00	133.80
Extender		26204.97	35859.43	268.00	133.80
Compactar		26204.97	35859.43	63.59	563.92
				Totales	1168.21
Colocación de sello con dompe	128049.59	0.003	403.36	9.33	43.23
Colocación de gravilla con dompe	128049.59	0.003	403.36	30.00	13.45
				Totales	2250.29

En la Tabla 3, se determinaron las horas de trabajo requeridas en cada una de las etapas del proceso constructivo para la pavimentación del fraccionamiento dando un total de 2, 250.29 horas de trabajo, también se precia que el proceso que más horas de trabajo requiere es en el mejoramiento de la Sub-rasante con un total de 1, 168.21 horas, a su vez, el que menor tiempo toma es la colocación de gravilla con dompe con 13.45 horas.

Tabla 3 Horas de trabajo de maquinaria por cada etapa del proceso constructivo en el fraccionamiento Real de Sevilla III.

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 4, se obtuvieron las cantidades de diésel requeridas en cada una de las etapas del proceso constructivo para la pavimentación del Fraccionamiento, y a su vez, las emisiones de KG-CO₂eq obtenidas por el total de la obra; se obtuvieron un total de 46, 903.19 litros de diesel en todo el proceso constructivo, siendo el mejoramiento de la Sub-rasante el mayor contribuidor con un total de 24, 281.16 litros y siendo la colocación de gravilla con dompe el menor contribuidor con un total de 390.58 litros.

También se aprecia que se genera un total de 165, 742.02 Kg de CO₂eq por todo el proceso constructivo, siendo el mejoramiento de la Sub-rasante el que mayor contribuye con un total de 63, 033.90 Kg de CO₂eq y el que menor contribuye es el la colocación de gravilla con dompe con un total de 1, 013.95 Kg de CO₂eq.

Concepto	Horas de trabajo	Pot.	l/hr	Factor de oper.	Consumo diesel (L)	Factor de Emisión	Kg CO ₂ eq totales
Carpeta asfáltica	30.41	125	0.2	0.83	631.02		
Total	24.08				631.02	2.596	1638.14
Base compc. Al 95%							
Extender	95.34	125	0.20	0.83	1978.21		
Humedecer	127.75	205	0.20	0.83	4347.31		
Mezclar	95.34	125	0.20	0.83	1978.21		
Extender	95.34	125	0.20	0.83	1978.21		
Compactar	426.54	100	0.20	0.83	7080.59		
Total	840.30				17362.51	2.596	45073.08
Sub-Base compc. al 95%							
Extender	125.38	125	0.20	0.83	2601.60		
Humedecer	142.83	205	0.20	0.83	4860.53		
Mezclar	106.59	125	0.20	0.83	2211.75		
Extender	106.59	125	0.20	0.83	2211.75		
Compactar	449.22	100	0.20	0.83	7457.12		
Total	930.61				19342.75	2.596	50213.77
Riego de impregnación.	8.54	205	0.20	0.83	290.62		
Riego de sello	8.54	205	0.20	0.83	290.62		
Total	17.08				581.23	2.596	1508.88
Mejoramiento de Sub-Rasante							
Extender	157.39	125	0.20	0.83	3265.81		
Humedecer	179.30	205	0.20	0.83	6101.48		
Mezclar	133.80	125	0.20	0.83	2776.43		
Extender	133.80	125	0.20	0.83	2776.43		
Compactar	563.92	100	0.20	0.83	9361.01		
Total	1168.21				24281.16	2.596	63033.90
Colocación de sello con dompe	43.23	175	0.20	0.83	1255.89	2.596	3260.30
Colocación de gravilla con dompe	13.45	100	0.20	0.83	390.58	2.596	1013.95
Total	2250.29				46903.19		165742.02

Tabla 4 Consumos de combustible por cada etapa del proceso constructivo en el fraccionamiento Real de Sevilla III.

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa en la Tabla 5 las emisiones de KG-CO₂ eq generas por cada m² de pavimento asfaltico por concepto del uso de maquinaria y equipo de movimiento de tierras, dando un total de 1.29 Kg de CO₂eq por cada m² de pavimento.

Categoría de impacto	Emisiones en kg-CO ₂ /fraccionamiento	Área pavimentada	Emisiones en kg-CO ₂ por m ²
Unidad	kg de CO ₂ eq	m ²	kg de CO ₂ eq/m ²
Capa de 4 cm	165 742.02	128 049.59	1.29

Tabla 5 Análisis Emisiones en Kg- CO₂ eq /m² generadas en el fraccionamiento. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En base a nuestros resultados se pudo observar que los grandes factores de emisión no influyen tanto como se pensaría, si no que el principal factor que lograr aumentar el total de emisiones es el volumen y la cantidad de material, ya que los elementos con mayor cantidad de peso y/o piezas son los que tienen un número de emisiones mayor.

Se recomienda emplear durante la ejecución de las obras, vehículos o maquinaria de modelos recientes, con el objeto de evitar emisiones atmosféricas que sobrepasen los límites permisibles.

El uso de las tecnologías más limpias y el uso de combustibles amigables con el ambiente, así como, procurar el uso eficiente de los mismos.

Con el adecuado manejo, mantenimiento y cuidado de la maquinaria se pretende minimizar los efectos adversos al medio ambiente y disminuir los efectos negativos que éstos pueden ocasionar sobre la salud humana, para de esta forma asegurar la vida de las generaciones venideras.

Referencias

- Cidead. (2018). La humanidad y el medio ambiente . Obtenido de Cidead: http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esobiologia/4quincena12/Contenidos/pdf_q12.pdf
- CTR. Construcción. (2019). Carpetas asfálticas con mezcla en caliente. Recuperado el 2022, de CTR. Construcción: <https://normas.imt.mx/normativa/n-ctr-car-1-04-006-09.pdf>
- Cueva del Ingeniero Civil. (2012). Maquinaria y Equipo de Compactación. Recuperado el 2022, de Cueva del Ingeniero Civil: <https://www.cuevadelcivil.com/2011/03/maquinaria-de-compactacion.html>
- Encinas, M. (2011). Medio Ambiente y Contaminación. Principios Básicos . Obtenido de ADDI: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2011). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Obtenido de SCIELO: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n1/art17.pdf>
- Florides, G., Christodoulides, P., & Messaritis, V. (2013). Reviewing the effect of CO₂ and the sun on global climate. Obtenido de Renewable and Sustainable Energy reviews: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113003651>
- Fundación para la Enseñanza de la Construcción, A.C. . (2014). Factores de Consistencia de Costos y Precios Unitarios. Recuperado el 2021, de Fundación para la Enseñanza de la Construcción, A.C. : <https://vdocuments.mx/factores-de-consistencia-de-costos-y-precios-unitarios-2014.html>



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/booklets)