



Title: Emisiones de CO₂ de un pavimento asfáltico en kg de CO₂ por m²

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

Editorial label ECORFAN: 607-8695

BCIERMMI Control Number: 2021-01

BCIERMMI Classification (2021): 271021-0001

Pages: 14

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.

Estas emisiones han provocado lo que en las últimas décadas se ha venido denominando el fenómeno conocido como el cambio climático, que según Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014), es la variación del estado del clima, identificable (mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos.

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, sin estos el planeta tendría temperaturas inferiores las cuales no permitirían el desarrollo y crecimiento de los seres vivos.

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 (2014), la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado por la actividad humana, fundamentalmente por el uso de combustibles fósiles y la deforestación.

El impacto ambiental que las industrias tienen sobre el medio ambiente y los recursos naturales ha sido considerable, no tan sólo como resultado del crecimiento de la producción sino también gracias a que dicho crecimiento se concentró en sectores de alto impacto ambiental.

El sector de la construcción tiene numerosos efectos negativos en el medio ambiente, entre los más destacables están: contaminación, utilización excesiva de materiales con la consecuente pérdida de recursos naturales, degradación de la calidad del paisaje y alteración de drenajes naturales.

El sector de la construcción comercial y residencial genera el 39% del CO2 emitido a la atmósfera , además el 30% de los residuos sólidos y el 20% de la contaminación de las aguas. Por lo que se concluye que la mitad del CO2 expulsado a la atmósfera está relacionado con la construcción de edificios y obras de todo tipo a lo largo de todas sus fases: construcción, uso y posterior demolición.

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.

En la actualidad se conoce las emisiones de carbono o factores de emisión 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 , lo que nos permite cuantificar las emisiones de CO2 que se generan en la construcción de una infraestructura de tipo vial 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 tipo de construcción.

Metodología

Participantes:

- Profesores investigador del Instituto Tecnológico de Sonora del Departamento de Ingeniería Civil.
- Alumnos del Programa educativo de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Sonora.

Materiales y equipo:

- Planos de pavimentación del fraccionamiento.
- Equipos: Computadora de escritorio y LAP TOP.
- AutoCAD, Software para el diseño, revisión y modificación de planos.
- Software OPUS 2010, para la determinación de los consumos de combustibles de los equipos.
- Microsof, Word, Excel y PPT.
- Earth Google, para la ubicación del fraccionamiento y las distancias a los lugares de origen de los materiales.
- El software SIMAPRO 9.0 Para determinar las emisiones de CO2 (huella de Carbono) en Kg- CO2 eq.

Procedimiento:

1. Seleccionado el objeto de estudio, y conocido de él todas sus características relativas a:
 - Ubicación, planos y proyectos.
 - El contenido de los proyectos relativos a lotificación, área de vialidades, características de la estructura del pavimento.
2. En relación con la obra y procesos constructivos se:
 - Definieron las diversas actividades requeridas para cada capa de la estructura del pavimento y el equipo adecuado.
 - Calcularon los volúmenes de obra en cada etapa del proceso constructivo.
 - Se calculó el consumo en litros de combustible por cada HP de la potencia del equipo por cada hora de trabajo.
 - Diseñaron tablas para calcular las cantidades de obra por unidad funcional m² de pavimento.
 - Se establecieron las tablas de los pesos volumétricos que permitieron convertir las unidades de peso a masa y poder utilizarlo en unidades masa como lo permite el software usado SIMAPRO 9.0.
3. Procedimientos para la recolección de información:
 - La información relativa a las emisiones de CO₂ fueron las establecidas en el software disponible para el proyecto SIMAPRO 9.0.

Resultados

En este trabajo existen dos tipos de resultados los preliminares y necesarios para el desarrollo del estudio y los resultados finales relativos a la huella de carbono.

En la Figura 5, se estableció la manera en que se comportaron las entradas del proceso constructivo, el mismo proceso en su desarrollo y las salidas del mismo, en el destacan los materiales, los consumos energéticos de los trabajos de construcción y de los acarrees de los materiales a la obra, también se estableció como unidad funcional, un metro cuadrado de pavimento con una estructura definida.

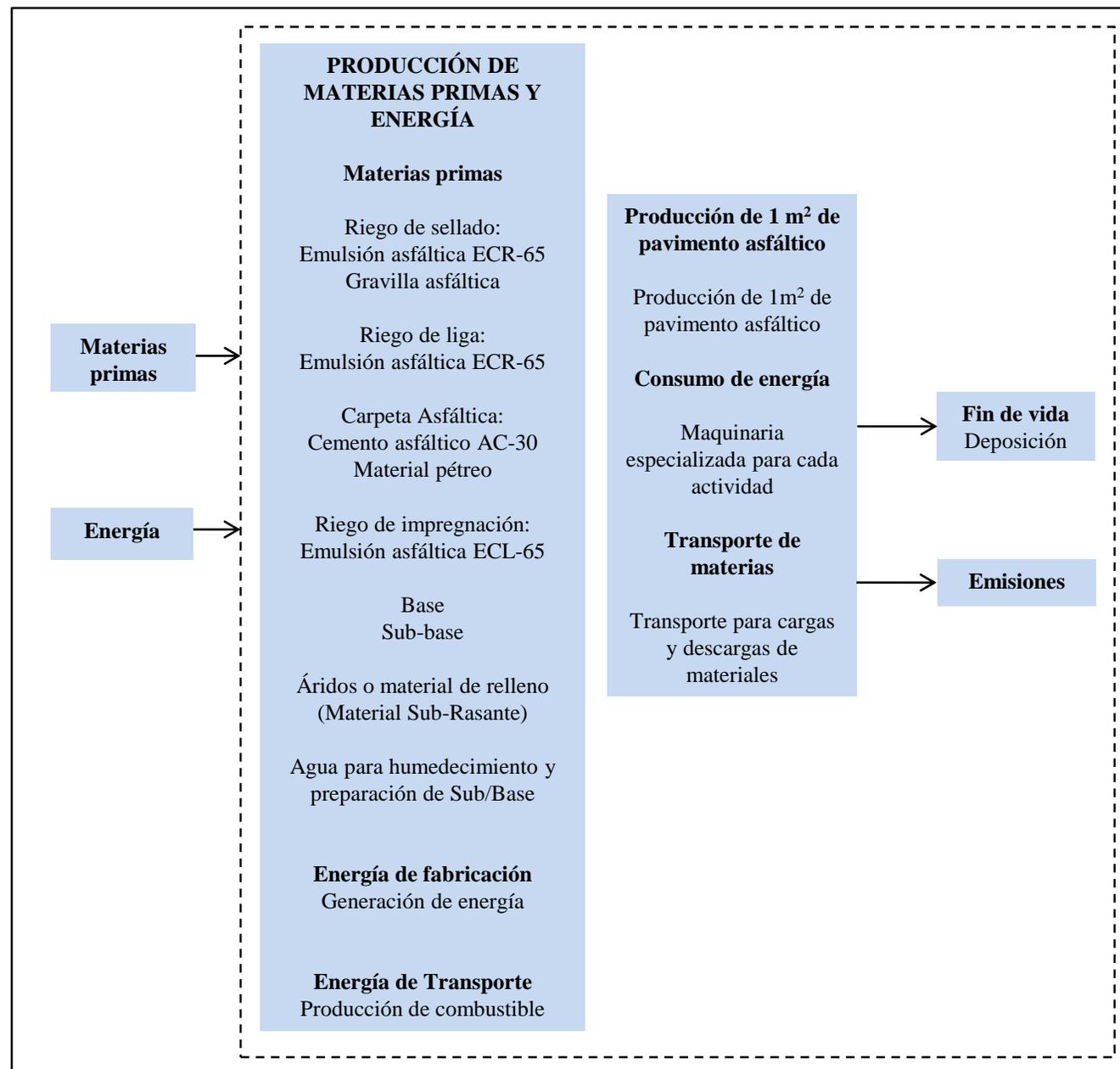


Figura 5. Esquema del sistema-producto. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6, se muestra la estructura del pavimento donde destacan que el espesor de la carpeta asfáltica tiene un espesor de 4 cm.

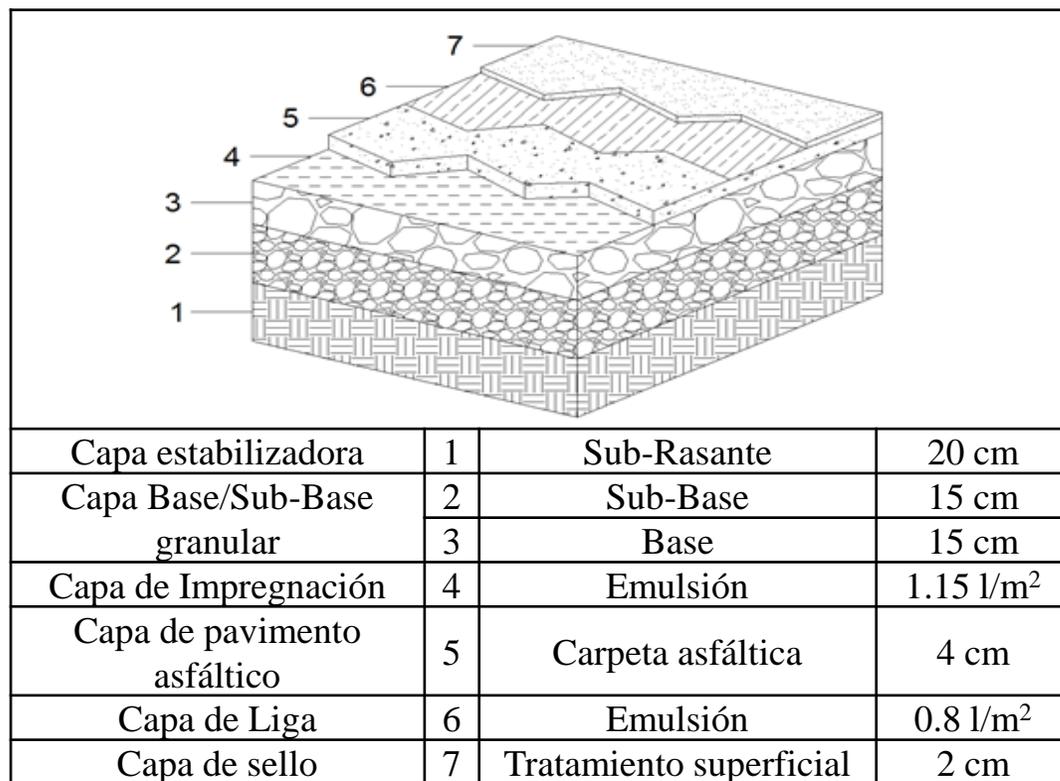


Figura 6. Especificaciones de la estructura de un pavimento asfáltico de 4 cm.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Volúmenes y pesos de los materiales al fraccionamiento Real de Sevilla III 4 cm.
Fuente: Elaboración propia

Material	Ud.	Cant. (m ³)	Peso específico (kg/m ³)	Conversión (kg)
Sub-Rasante	m ³	0.2874	1700.00	488.580
Sub-Base	m ³	0.2155	1450.00	312.475
Base	m ³	0.2155	1450.00	312.475
Material pétreo	m ³	0.0553	1500.00	82.950
Gravilla asfáltica	m ³	0.0276	1500.00	41.400
Cemento asfáltico AC-30	m ³	0.0015	1035.27	1.574
Emulsión asfáltica ECR-65	m ³	0.0024	1001.59	2.424
Emulsión asfáltica ECL-65	m ³	0.0012	1015.88	1.229
Agua	m ³	0.1260	1000.00	126.000

En la tabla 1, se pueden visualizar los materiales necesarios para un m² de pavimento, donde destacan la sub-rasante con 488.580 kg, la base y la sub-base con 312.475 kg, y los valores menores están en el cementante y emulsión asfáltica con 1.574 y 1.229 kg respectivamente.

Tabla 3. Horas de trabajo de maquinaria y consumos de combustible por cada etapa del proceso constructivo en el fraccionamiento Real de Sevilla III. *Fuente: Elaboración Propia.*

Concepto	Área	Vol. acarreo (m3)	Vol. (m3)	Rend. (m ³ /hr)	Horas de trabajo	Pot.	l/hr	Factor de oper.	Consumo diesel (L)	Consumo diesel (L/m3)
Carpeta asfáltica		4469.10	5645.18	227.84	19.62	125	0.20	0.83	407.02	
				Totales	19.62				407.02	0.0721
Base compc. Al 95%		16119.9	20955.9							
Extender		16119.90		268.00	60.15	125	0.20	0.83	1248.09	
Humedecer		16119.90		200.00	80.60	205	0.20	0.83	2742.80	
Mezclar		16119.90		268.00	60.15	125	0.20	0.83	1248.09	
Extender		16119.90		268.00	60.15	125	0.20	0.83	1248.09	
Compactar		16119.90		59.90	269.10	100	0.20	0.83	4466.99	
				Totales	530.15				10954.06	0.5227
Sub-Base compc. al 95%		16972.30	23225.25							
Extender		16972.30		227.84	74.49	125	0.20	0.83	1545.75	
Humedecer		16972.30		200.00	84.86	205	0.20	0.83	2887.84	
Mezclar		16972.30		268.00	63.33	125	0.20	0.83	1314.09	
Extender		16972.30		268.00	63.33	125	0.20	0.83	1314.09	
Compactar		16972.30		63.59	266.90	100	0.20	0.83	4430.57	
				Totales	552.91				11492.34	0.4948
Riego de impregnación	107466.24			15000	7.16	205	0.20	0.83	243.81	
Riego de sello	107466.24			15000	7.16	205	0.20	0.83	243.81	
				Totales	14.32				487.62	0.0045
Mejoramiento de Sub-Rasante		21493.20	29411.75							
Extender		21493.20		227.84	94.34	125	0.20	0.83	1957.49	
Humedecer		21493.20		200.00	107.47	205	0.20	0.83	3657.07	
Mezclar		21493.20		268.00	80.20	125	0.20	0.83	1664.12	
Extender		21493.20		268.00	80.20	125	0.20	0.83	1664.12	
Compactar		21493.20		63.59	338.00	100	0.20	0.83	5610.74	
				Totales	700.21				14553.54	0.4948
Colocación de sello con dompe	107466.24		0.00	15000	7.16	175	0.20	0.83	208.13	
Colocación de gravilla con dompe	107466.24		29411.75	125.00	17.19	100	0.20	0.83	285.43	
				Totales	24.35				493.56	0.0046
				Totales	1841.57				38388.11	

En la tabla 3, se presentan las cantidades de diésel requeridas en cada una de las etapas del proceso constructivo por la unidad que corresponde cada etapa donde se encuentra que los trabajos de la Sub-base y el mejoramiento de la base compactada requieren 0.4948 l/m³, por otro lado, para la carpeta asfáltica son necesarios 0.0721 l/m³.

Una vez reunida la información necesaria para hacer uso del software Simapro, se introdujo la información solicitada y se corrió el programa.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

La figura 7, indica en que porcentajes con los que contribuyen a los impactos ambientales las diferentes etapas del proceso constructivo.

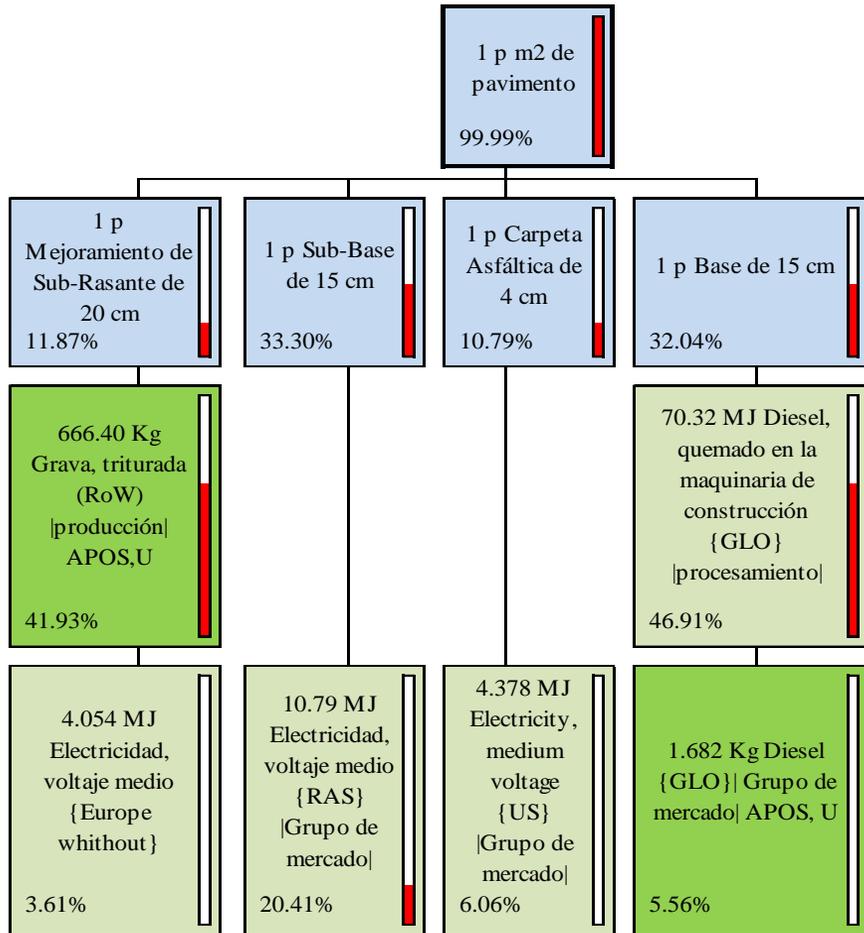


Figura 7. Aportaciones de las etapas del proceso constructivo y de materiales más representativos que intervienen Real de Sevilla III 4 cm Simapro 9.0. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Resultados de emisiones y otros por categoría de impacto Pavimento de 4 cm del fraccionamiento Real de Sevilla III 9.0. Fuente: Elaboración propia.

Categoría de impacto	Unidad	Total	Sub-rasante 20 cm	Sub-base de 15 cm	Carpeta asfáltica de 4 cm	Base de 15 cm	Riego de liga
El calentamiento global	Kg CO ₂ eq	12.618	1.498	4.202	1.361	4.043	1.514
Agotamiento del ozono estratosférico	Kg CFC11 eq	1.33E-05	1.30E-06	3.20E-06	2.20E-06	3.00E-06	3.70E-06
La radiación ionizante	KBq Co-60 eq	2.403	0.127	0.344	0.522	0.331	1.079
Acidificación terrestre	Kg SO ₂ eq	0.073	8.85E-03	0.021	0.010	0.020	0.014
Eutrofización de agua dulce	Kg P eq	3.26E-04	1.80E-06	1.42E-04	2.81E-05	1.42E-04	1.18E-05
Eutrofización marina	Kg N eq	3.50E-05	1.90E-06	8.40E-06	6.00E-06	8.20E-06	1.05E-05
Ecotoxicidad terrestre	Kg 1,4-DCB	10.412	1.248	3.242	1.275	3.110	1.537
Ecotoxicidad marina	Kg 1,4-DCB	132.079	8.159	19.645	28.361	18.779	57.136
Toxicidad cancerígena en humanos	Kg 1,4-DCB	2.045	7.29E-03	0.876	0.244	0.876	0.042
Uso de la tierra	m ² a crop eq	0.215	5.86E-04	0.087	0.034	0.087	5.84E-03
Escasez de recursos minerales	Kg Cu eq	4.82E-03	2.32E-05	2.00E-03	7.08E-04	1.99E-03	9.87E-05
Escasez de recursos fósiles	Kg oil eq	9.651	0.519	1.299	2.132	1.244	4.457
El consumo de agua	m ³	0.313	2.39E-03	0.113	0.065	0.113	0.020

En la Tabla 5, se presentan las categorías de impacto ambiental donde se observa que calentamiento global tiene un valor de 12.618 Kg de CO₂ eq.

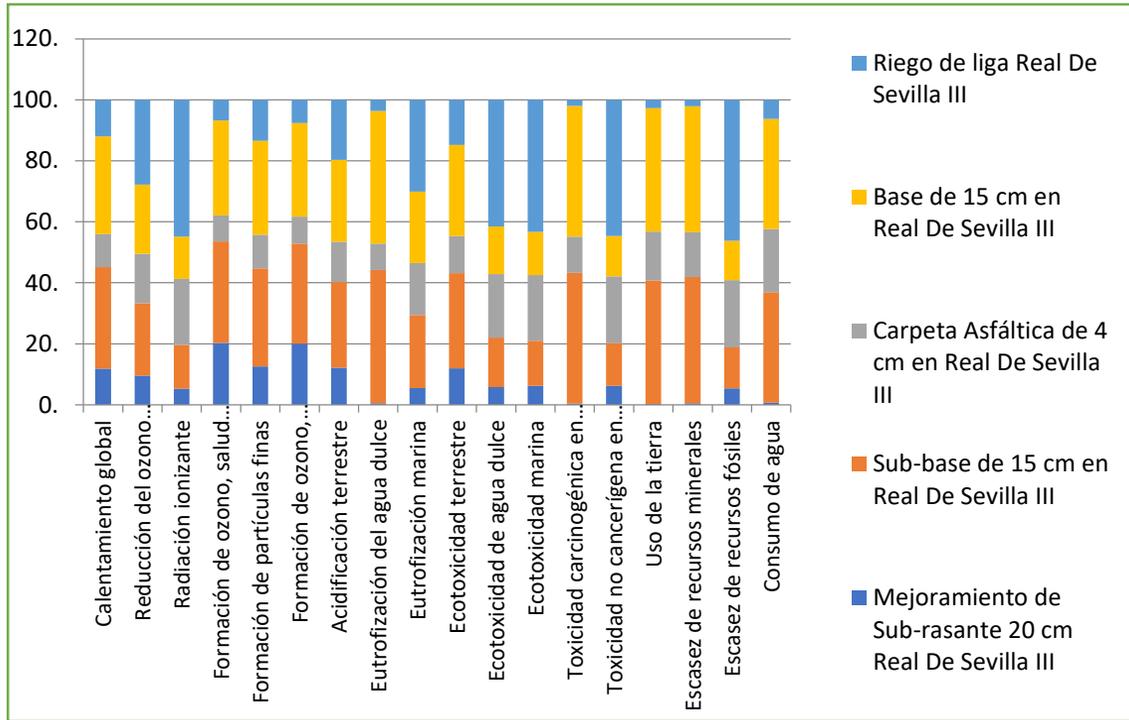


Figura 8. Gráfica de las categorías de los impactos ambientales en las diferentes etapas del proceso constructivo en el fraccionamiento Real de Sevilla III 4 cm Simapro 9.0. Fuente: *Elaboración propia.*

En la Figura 8, se presenta los resultados de los diferentes impactos ambientales y se muestran las 5 fases del proceso constructivo en la categoría de calentamiento global, las etapas que más contribuyen son la Sub-base y la base.

En la figura 9, se observa que las emisiones de CO2 relacionadas con calentamiento global son las más representativas del proceso constructivo y son del orden de 13 Kg de CO2, también es observable que las etapas que más contribuyen son la base y la sub-base.

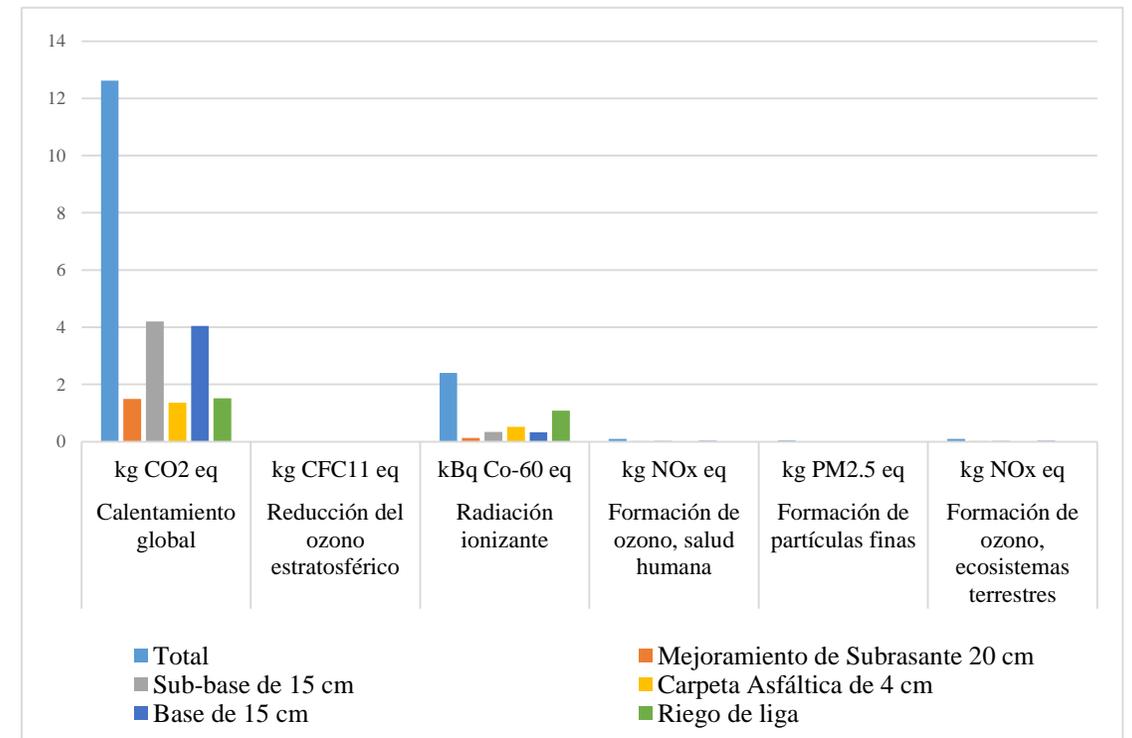


Figura 9. Categorías de los impactos ambientales asociados a los gases efecto invernadero del pavimento de 4 cm del fraccionamiento Real de Sevilla III Simapro 9.0. Fuente: *Elaboración propia.*

En la Tabla 6, aparecen los resultados finales donde las emisiones en kg de CO₂ eq/m² son de 12.618 mientras que los totales corresponden a un área total de 90,418.33 m² de construcción de pavimento de carpeta asfáltica que produce un total de 1, 140,863.493 kg de CO₂ eq.

Tabla 6. Análisis Emisiones en Kg- CO₂ eq. /m² generadas en el fraccionamiento Real de Sevilla III.
Fuente: Elaboración propia.

Categoría de impacto	Calentamiento Global	Área pavimentada	Emisiones en kg-CO ₂ /fraccionamiento
Unidad	kg de CO ₂ eq/ m ²	m ²	kg de CO ₂ eq
Capa de 4 cm	12.618	90, 418.33	1, 140, 863.69
	Total	90,418.33	1, 140,863.69

Conclusiones

Para determinar las conclusiones finales del presente trabajo se tomaron en cuenta las tablas y figuras anteriormente expuestas.

1. Las emisiones en kg de CO₂ eq/m² son de 12.618 mientras que los totales corresponden a un área total de 90,418.33 m² de construcción de pavimento de carpeta asfáltica.
2. Hipótesis planteada para el estudio señala textualmente lo siguientes: “Hi: En la construcción de un pavimento flexible en un fraccionamiento de Ciudad Obregón Sonora se emite entre 10 y 25 kgCO₂/m².”, por lo que se puede concluir que la hipótesis se acepta ya que el valor encontrado es de 12.618 Kg-CO₂/m², y se encuentra dentro de los valores planteados.
3. De las etapas del proceso constructivos las contribuciones de las emisiones en kg de CO₂ eq/m², la de mayor aportación es la capa de sub-base con un 33.30%, mientras que la menor es la carpeta asfáltica con 10.79%.
4. El mayor valor relativo a Calentamiento Global, corresponde a la sub-base con un valor de 4.202 kg de CO₂ eq/m², mientras el menor valor es de los trabajos en la carpeta asfáltica con 1.361 kg de CO₂ eq.
5. Las emisiones totales del fraccionamiento son de 1, 140,863.493 kg de CO₂ eq.
6. Si se pretende reducir estos valores se pueden utilizar técnicas de estabilización de materiales de base y sub-base con cal, lo que puede reducir la necesidad de los materiales de base y sub-base y eliminar los acarrees de los mismos.

Recomendaciones

1. Tomando en cuenta que la durabilidad del pavimento flexible y de acuerdo Wright y Dixon, el clima y medio ambiente donde se construirá un pavimento flexible, influye en su vida útil y es muy probable que dos de los factores más influyentes sean la temperatura y humedad, ya que bajo estas condiciones el pavimento flexible tiene un promedio de vida útil de 12.5 años y tomando que tiene mayor costo de mantenimiento y con un mayor impacto ambiental al ejecutar mantenimiento, se recomienda no construir con carpeta asfáltica.
2. Como la mayor contaminación se genera en el movimiento de tierras es conveniente, explorar la posibilidad de usar la técnica de estabilización del terreno con cal, principalmente en el caso de las arcillas expansivas, más en nuestro medio que existen muy comúnmente.
3. De acuerdo con el desarrollo de nuestro estudio, que señala que un pavimento rígido “son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base” esto nos indica que podemos suprimir una de las capas que más contaminan la de la base en ambos resultados están contribuyendo con valores cercanos al 30% del total de las emisiones de KG-CO₂ eq.
4. En los pavimentos rígidos usar Cemento ecológico, que genera menos emisiones Kg-CO₂/ton en su proceso de producción.
5. Realizar una mayor cantidad de estudios cambiando las variables del pavimento, como pueden ser, de concreto, estabilización de arcillas, con adoquín, empedrado, suelo cemento.

Referencias

- Acosta , B. (2019). *Qué es la gestión ambiental*. Recuperado el 2020, de Ecología verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-gestion-ambiental-2035.html>
- Acosta, D. (2002). *Reducción y Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)*. Obtenido de Builders Guide: https://issuu.com/nelianaduran/docs/reciclaje_de_materiales_de_escombros_9ce808e173be90
- Angulo, R., & Zavaleta, P. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro*. Recuperado el 2021, de Distrito San Juan–Maynas–Iquitos: <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1220/ANGULO%20ROLDAN%20MARISELVA%20Y%20ZAVALETA%20PAPA%20CINTIA%20NICOL%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aparicio, P. (2020). *Caracterización de impactos ambientales en la industria de la construcción*. Obtenido de 360° en Concreto: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion>
- Arenas, F. (1 2010). *Los materiales de construcción y el medio ambiente*. Recuperado el 2019, de ESTUDIOS: https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html
- Badilla , P., Elizondo , J., Fernández, T., Mora, F., Méndez, J., & Quesada , M. (2015). *CO2e: cálculo de huella de carbono para materiales de construcción en Costa Rica*. Obtenido de Redalyc: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/3212>
- Bravo, R. (2011). *El sector de la construcción genera el 36% de las emisiones de CO2 en la Unión Europea*. Obtenido de dicyt : <http://www.dicyt.com/noticias/el-sector-de-la-construccion-genera-el-36-de-las-emisiones-de-co2-en-la-union-europea>



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)