

Experiencia y Sustentabilidad de Pavimentos Ultradelgados del Hormigón en Caminos Básicos.

Experience and Sustainability of Ultra-thin Concrete Pavements on Basic Roads.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Carlos Binder ^{1,*}, Juan Pablo Covarrubias ¹, Pelayo del Río ¹.

¹Universidad Austral de Chile, Laboratorio de Ingeniería de Puentes y Estructuras, Valdivia, Chile.

Historial del artículo:

Recibido
09-05-2024
Aceptado
08-04-2025
Publicado
30-04-2025

Palabras Clave:

Sustentabilidad
Caminos Básicos
Mantenimiento
Vial

Article history:

Received
09-05-2024
Accepted
08-04-2025
Available
30-04-2025

Keywords:

Sustainability
Basic Roads
Road Maintenance

Resumen

La tecnología de pavimentos ultradelgados de hormigón nació como una alternativa de pavimento rígido para caminos de baja solicitación de tránsito de camiones y buses. Su aplicación se da por lo general como alternativa a doble tratamientos superficiales en zonas de alta pendiente o en zonas con curvas pronunciadas. Esta tecnología consiste en colocar una losa de hormigón con fibra estructural directamente sobre caminos granulares altamente compactados debido al tráfico histórico de vehículos y maquinaria. Estos pavimentos ultradelgados tienen un espesor de entre 8 y 12 cm de hormigón y no requieren la colocación de una subbase como apoyo. Dada las características de esta solución de pavimento rígido (que no incorpora subbase granular), que utiliza espesores bajos de pavimento y que las intervenciones en el pavimento son menores que soluciones de asfalto, es que se pretende demostrar, que esta solución de camino básico disminuye la emisión de huella de carbono frente a una solución de doble tratamientos asfálticos. Para cumplir este objetivo, se desarrolló una simulación en un software especialmente diseñado para esto, llamado Athena Pavement LCA y se compararon las emisiones totales durante un horizonte de tiempo determinado. El resultado de esta simulación demuestra que la solución de pavimentos ultradelgados permite una disminución en la huella de carbono de un 25% por sobre una solución de doble tratamiento superficial.

Abstract

The technology of ultradelgados concrete pavements emerged as an alternative rigid pavement for low-traffic roads used by trucks and buses. It is generally applied as an alternative to double surface treatments in areas with high slopes or sharp curves. This technology involves placing a structural fiber-reinforced concrete slab directly over highly compacted granular roads due to historical vehicle and machinery traffic. These ultradelgados pavements have a thickness of between 8 and 12 cm and do not require the installation of a subbase for support. Given the characteristics of this rigid pavement solution (which does not incorporate a granular subbase), which uses low pavement thicknesses and involves fewer interventions compared to asphalt solutions, it is intended to demonstrate that this basic road solution reduces carbon footprint compared to a double surface treatment solution. To achieve this objective, a simulation was developed using a software specifically designed for this purpose, called Athena Pavement LCA, and total emissions were compared over a set time horizon. The results of this simulation show that the ultradelgados pavement solution reduces the carbon footprint by 25% compared to a double surface treatment solution.

* Corresponding author at: Carlos Eduardo Binder Echevarría, TCPavements FORTA SPA, El Regidor 54 – 66, Oficina 101, Las Condes, Santiago, Chile. E-mail address: carlos@tcp.cl

RIOCI

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/index>

Vol. 13, no. 02, pp. 43–50, Abril 2025

1. Introducción.

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta nuestro país y el mundo en general en este siglo. El rubro de la construcción es responsable de un 30% del total de las emisiones de carbono a nivel mundial (CCHC, 2019), por lo que es relevante comparar las emisiones de gases que conllevan las diferentes alternativas de construcción para obtener conclusiones de como disminuir la emisión de éstos. Dentro de las emisiones que se emiten en el rubro de la construcción, una partida relevante tiene que ver con la pavimentación de un camino, tanto durante su construcción, como operación.

Los pavimentos ultradelgados de hormigón han sido incorporados como solución de caminos básicos ya que permiten colocar una capa de hormigón reforzado con macro-fibra directamente sobre un camino granular sin la necesidad de colocar una subbase (Covarrubias, Binder 2016), lo que reduce el valor inicial del proyecto completo y su necesidad de intervenciones futuras. Esta tecnología ha sido aplicada en un número creciente de proyectos en el tiempo.

El objetivo de esta publicación es demostrar a través de la experiencia de estos pavimentos y mediante una simulación en un programa de medición de emisiones de CO₂, que los pavimentos ultradelgados disminuyen la emisión de huella de carbono frente a una solución de doble tratamientos asfálticos.

2. Metodología.

2.1. Implementación de los pavimentos Ultradelgados.

Los pavimentos ultradelgados de hormigón nacieron como una alternativa a los doble tratamientos superficiales. El concepto detrás es aprovechar el nivel de compactación en que se encuentra un camino, producto del tráfico que ha debido soportar por el tránsito de vehículos livianos, camiones, buses y maquinaria durante toda su vida en operación, para colocar directamente sobre ese camino, una losa de hormigón reforzada con fibra, sin la necesidad de ejecutar una subbase. La figura 1 muestra como ejemplo una solución de pavimento ultradelgado, antes y después de su construcción:



Figura 1. Ejemplo de pavimento ultradelgado antes y después de la pavimentación.

Desde el año 2012 en que se construyó el primer proyecto, conservación Mahuidanche Mision inglesa, se han construido más de 125.000 m² ó 40 Km pista, a través de dos mecanismos, licitación pública de construcción a empresas privadas y contratos de administración directa. En total son 13 contratos de la primera categoría y 5 contratos de administración directa. La tabla 1. Muestra un resumen de las características de estos contratos.

Tabla 1. Contratos MOP ejecutados con tecnología U-TCP.

Ubicación (Región)	Contrato	Año Construcción	m2	KM
Araucanía	Conservación Mahuidanche Misión Inglesa	2012	3.600	0,60
Valparaíso	Conservación G-84 Quilamuta La Manga	2013	4.000	0,67
Aysén	Ruta X-731 Bahía Murta	2016	23.000	3,83
Bío Bío	Sara de Lebu Pangué	2016	3.200	0,53
Aysén	Ruta X-731 Bahía Murta	2016	21.500	3,58
Bío Bío	Adm. Directa Cuesta el Colo	2017	2.100	0,35
Bío Bío	Adm. Directa Balsadero San Rosendo	2017	2.100	0,35
Magallanes	Ruta Y-502 Río Verde	2018	650	0,11
Magallanes	Acceso Sarmiento	2018	4.800	0,80
Aysén	Adm. Directa Lago Pollux	2019	15.000	2,50
Bio Bio	Ruta O-298 Tomé	2020	2.588	0,43
Aysén	Adm. Directa Los Palos	2021	14.965	2,49
Aysén	Ruta X-580 y X 582	2021	1.970	0,33
Bío Bío	Conservación global mixto Arauco norte	2022	10.063	1,68
Los Lagos	U-175 Polloico	2022	1.385	0,23
Los Ríos	Mejoramiento caleta bonifacio	2022	2.250	0,38
Aysén	Adm. Directa Valle Simpson	2022	15.000	2,50
Ñuble	Camino Básico N-820	2023	3.537	0,59
Total			131.707,12	21,95

2.2. Seguimiento estado proyectos Ultradelgados.

2.2.1. Conservación camino Mahuidanche Misión Inglesa.

El primer contrato de camino básico, ejecutado con la tecnología UTCP, corresponde a la conservación del camino Mahuidanche-Misión Inglesa. Este pavimento tiene un espesor de 9 cm y su longitud es de 600 metros. El costo del pavimento fue de

\$32.682.755, es decir que el costo por kilómetro es de \$54.471.258. En la tabla número 2. se muestran las características generales del contrato. En la figura número 2. en tanto, se muestra la condición del contrato, antes y después de la pavimentación.

Tabla 2. Información técnica Camino Mahuidanche – Misión Inglesa.

Ubicación	IX Región, Chile
Longitud	600 m
Tráfico	300.000 EE en 20 años
Hormigón	H35 (90) 40 con fibra
Año de construcción	2012
Precipitación promedio	1.190 mm/año
Costo Tramo	\$ 32.682.755
Costo por Km.	\$54.471.258

9 cm con Fibra Estructural – 1,5m x 1,75m



Figura 2. Estado antes/después de la pavimentación.

El pavimento luego de 11 años de su construcción y duplicando su vida de diseño (5 años), no presenta fisuración por fatiga, asentamientos ni desplazamientos laterales. El proyecto presenta únicamente grietas que se originaron durante el proceso constructivo. La figura 3. muestra el estado del pavimento luego de 6 años de su construcción (2017).



Figura 3. Estado general pavimento a 6 años de construido

2.2.2. Conservación Ruta G-84 Sector Quilamuta La Manga.

Este pavimento de hormigón con losas de geometría optimizada de la ruta G-84 ubicado en la región de Valparaíso, Chile, construido el año 2013, corresponde a un tramo introducido dentro del proyecto completo que se realizó con un doble tratamiento asfáltico para este camino básico intermedio. La longitud del contrato des de 500 metros. El diseño de este tramo considera una vida útil de al menos 5 años, con 50% de losas agrietadas. El espesor de hormigón fue de 10 cm con fibra y la resistencia residual 1MPa según ASTM 1609. El costo de la solución fue de \$58.093.003 lo que, llevado a costo por Kilómetro, fue de \$116.186.007. La tabla 3. muestra las características generales del contrato y la figura 4. la condición general del contrato luego de un año de su construcción.

Tabla 3. Información técnica Camino Conservación Ruta G-84 Sector Quilamuta La Manga.

Ubicación	V Región, Chile
Longitud	500 m
Tráfico	384.000 EE en 10 años
Hormigón	H35 (90) 40 con fibra
Año de construcción	2013
Precipitación promedio	500 mm/año
Costo Tramo	\$ 58.093.003
Costo por Km.	\$116.186.007

10 cm con Fibra Estructural – 1,5m x 1,75m





Figura 4. Ruta G-84 construido con U-TCP.

Se realizó una auscultación del pavimento en febrero de 2020 y consistió en la medición del agrietamiento de todas las losas construidas. En términos generales, el porcentaje de losas agrietadas fue de un 43% en la pista 1 y 30% en la pista 2, lo que da un promedio de 37% de promedio. Gran parte del agrietamiento medido se concentraba en las zonas de transición entre este y el pavimento de asfalto, tanto en el inicio como en el final Cabe mencionar que el proyecto fue diseñado para una vida útil de diseño de 5 años con un 50% de losas agrietadas, por lo que la solución ha tenido un desempeño mayor a lo esperado. En la figura 5. se muestra la proyección del programa de diseño y el punto medido.

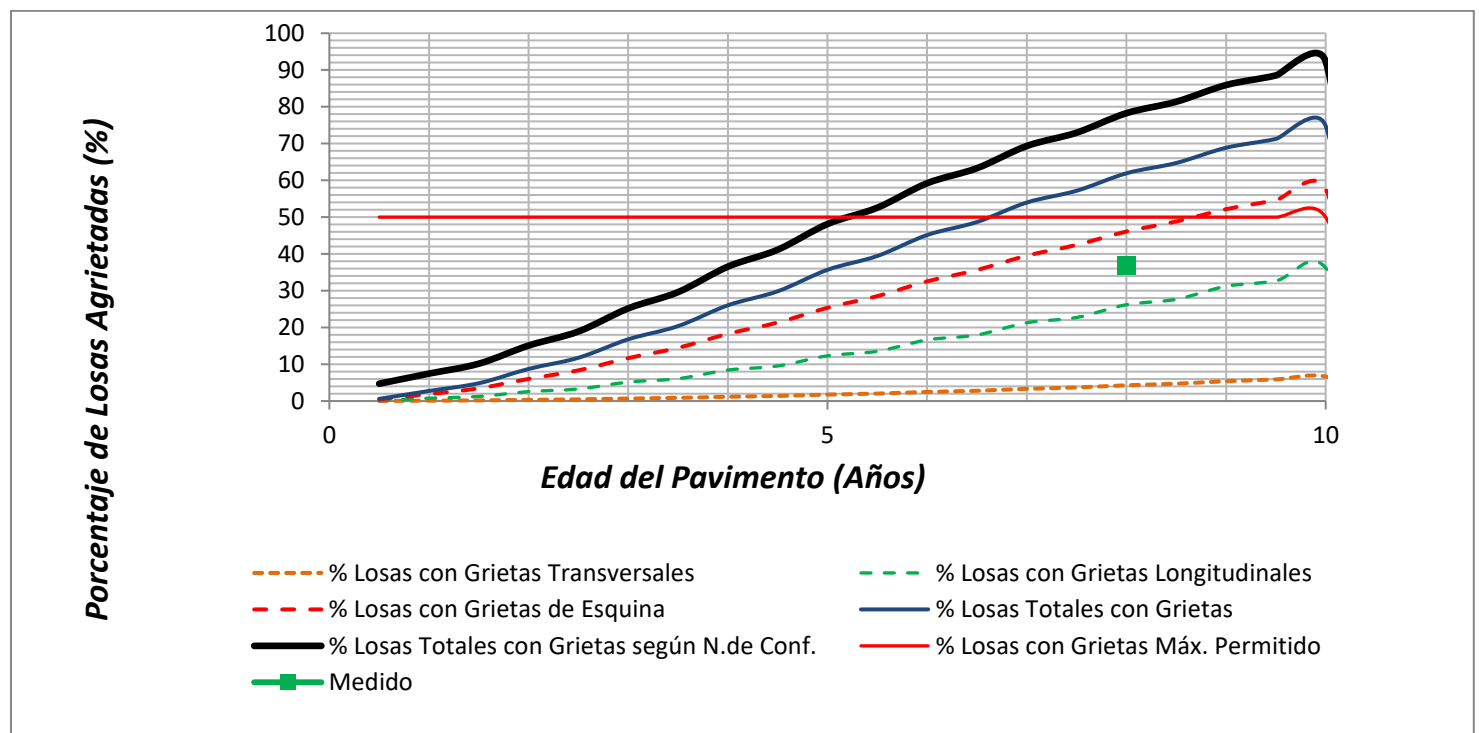


Figura 5. Modelación agrietamiento por OptiPave en Ruta G-84.

Otro aspecto importante para mencionar es que el tramo de pavimento de hormigón ultradelgado no ha debido soportar mantenciones mayores, únicamente la colocación de sello asfáltico en juntas y grietas. El doble tratamiento por su parte ha debido ser intervenido en más de una ocasión, debiendo recarpetearse, dado que presenta un daño mayor que el que ha experimentado la solución de pavimento ultradelgado. La figura 6. muestra la condición general del contrato, luego de 10 años de su construcción.

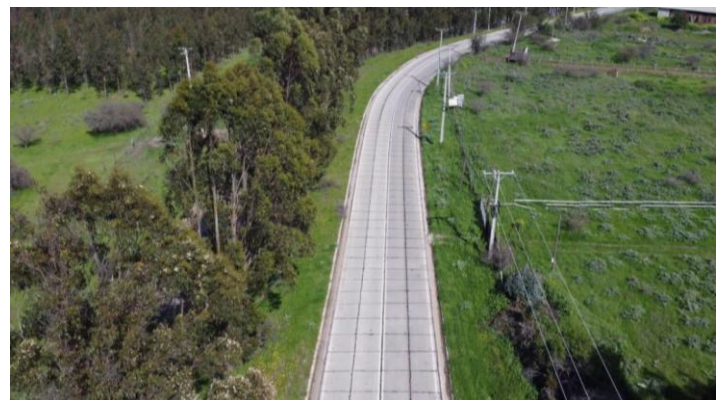


Figura 6. Imagen aérea Ruta G-84. Tomada el año 2022.

2.2.3. Ruta P46: Sara de Lebu — Pangué.

Este pavimento UTCP ubicado en la región de Bío Bío, Chile, construido el año 2016, corresponde a un tramo en una cuesta, de 400 metros de longitud, que fue licitado dentro de un proyecto completo que se realizó con un doble tratamiento asfáltico. El diseño de este tramo considera una vida útil de 5 años, con 50% de losas agrietadas. El espesor de hormigón fue de 8 cm con fibra y la resistencia residual 1MPa según ASTM 1609. El costo de este proyecto fue de \$ 71.476.929 lo que, llevado a costo por Km, corresponde a un costo de 165.903.898 por kilómetro. La tabla 4. Muestra las características generales del contrato, en tanto que la figura 7. Muestra el estado del pavimento luego de 5 años de su construcción (año 2020).

Tabla 4. Información técnica Ruta P-46 Sara de Lebu-Pangué.

Ubicación	VIII Región, Chile
Longitud	400 m
Tráfico	157.000 EE en 20 años
Hormigón	H35 (90) 40 con fibra
Año de construcción	2015
Precipitación promedio	930 mm/año
Costo Tramo	\$ 71.476.929
Costo por Km.	\$165.903.898

8 cm con Fibra Estructural – 1,5m x 1,75m



Subrasante



Figura 7. Ruta P-46 Sara de Lebu – Pangué año 2020.

3. Análisis de resultados.

Una de las ventajas que tiene el pavimento ultradelgado de hormigón con fibra, es que necesita una baja cantidad de material para ser construido, al no necesitar una subbase y que necesita menores intervenciones durante su vida útil. Para comprobar esta ventaja, es que se comparó esta solución con una solución de

doble tratamiento superficial, para evaluar la huella de carbono que emiten ambas soluciones en el largo plazo. Esta evaluación se hizo mediante el software Athena Pavement LCA (Athena Sustainable Materials Institute 2021) simulando el comportamiento observado en la ruta G-84 Quilamuta La Manga, con los siguientes supuestos:

- Período de Evaluación: 30 años
- Longitud del Contrato: 1 Km
- Ancho de la Vía: 6 m
- Solución Tratamiento Superficial Doble
 - Estructura:
 - Subbase Granular CBR>100% de 15 cm
 - Imprimación
 - Capa de Asfalto: 4 cm
 - Mantenición:
 - Reemplazo de la calzada de Asfalto cada 5 años
- Solución de Pavimento de Hormigón Ultradelgado:
 - Estructura:
 - Pavimento de 10 cm de espesor
 - Marco fibra Sintética dosis: 2,5 Kg/m³
 - Corte de Juntas (largo/ancho): 1,75m x 1,5 m
 - Mantenición:
 - Reemplazo de 50% de losas cada 10 años
 - Cepillado de 100% de losas cada 10 años

Con estos supuestos, los resultados en términos de producciones de los materiales, construcción, mantenimiento y emisiones producto del tránsito, se muestran en la figura 8.

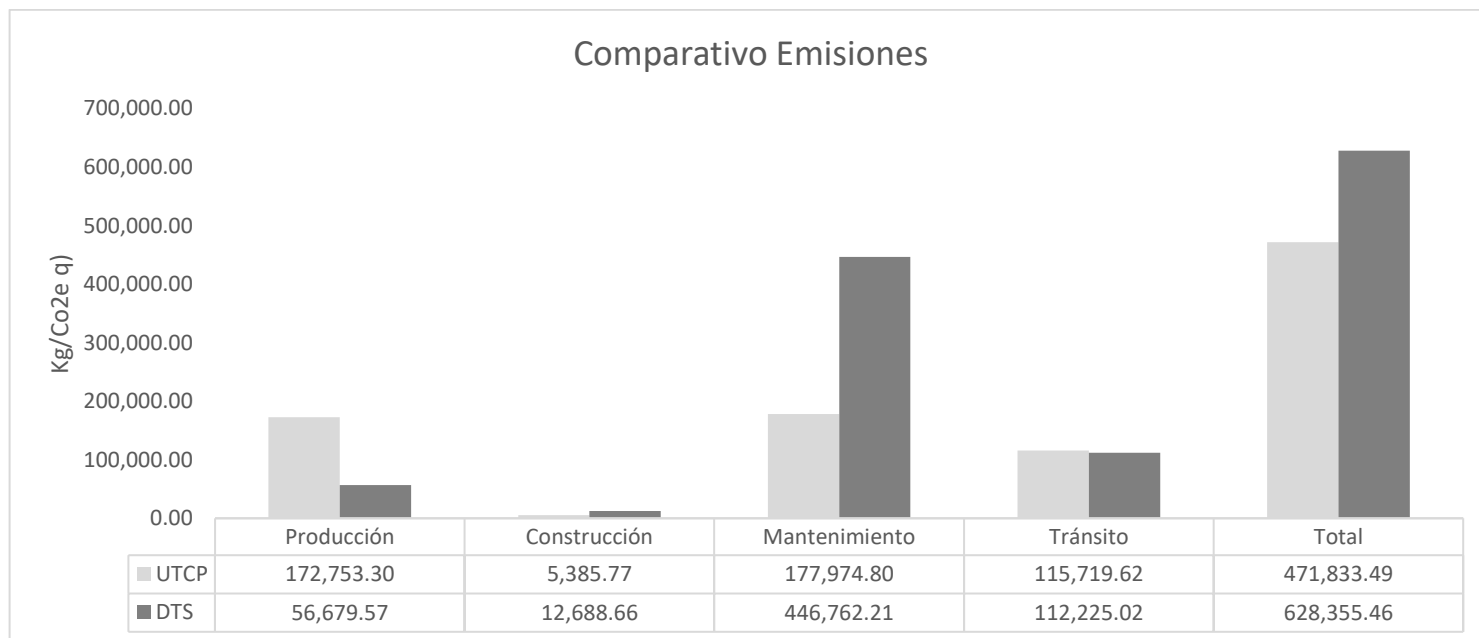


Figura 8. Resumen Emisiones ambas alternativas.

Según se observa, en términos de producción de material para la construcción, la alternativa de pavimento ultradelgado (UTCP) conlleva una mayor emisión de CO₂ que la de doble tratamiento superficial, al necesitar un mayor contenido de material inicialmente, En el comparativo del método constructivo, el doble tratamiento conlleva una mayor emisión, sin embargo, el impacto es bajo en comparación con las demás fuentes de emisión. Donde el impacto es significativo, es respecto al mantenimiento del camino, donde para la solución de doble tratamiento asfáltico donde la emisión es de 2,5 veces mayor a la de la solución de pavimento ultradelgado y su valor representa el 71% de las emisiones totales de esta solución. En términos de tránsito, que corresponde al exceso de emisiones debido al aumento de IRI producto del deterioro de la superficie, ambas soluciones manejan cifras bastante parecidas.

En términos de emisiones totales, la solución de pavimento ultradelgado representa una disminución a largo plazo de un 25% en comparación con una solución de doble tratamiento asfáltico.

4. Conclusiones.

Las conclusiones que han mostrado, la tecnología de losas ultradelgadas en su aplicación desde el año 2012 son:

- Los pavimentos ultradelgados han demostrado ser, una alternativa válida y duradera, como alternativa a conservación de caminos, con proyectos que duplican su vida de diseño, con mínimas conservaciones y bajos costos de construcción. A la fecha ya se han construido más de

125.000 m² de pavimentos en 18 proyectos, ya sean por administración directa en distintas regiones, como pavimentos licitados a empresas privadas externas.

- Desde el punto de vista ambiental, aprovechando que esta solución necesita una menor cantidad de material que soluciones tradicionales en hormigón y que su mantenimiento es bajo en comparación con el asfalto, es que se consolida como la solución de pavimento de menor huella de carbono para pavimentos de tipo básico. En el caso del contrato que se evaluó, conlleva una disminución de un 25% frente a un doble tratamiento de asfalto.

5. Agradecimientos.

Los autores quisiéramos agradecer a las direcciones regionales que han utilizado el sistema de pavimentos ultradelgados y en especial a aquellas regiones en donde se coloca esta solución mediante el mecanismo de administración directa.

6. Referencias.

- Athena Sustainable Materials Institute, *Pavement LCA Software v.3.2.06*, Canada, 2021
- CCHC, *El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global, Chile, 2019*
- Covarrubias V. J.P., Binder C.E. *Diseño de Pavimentos Ultra Delgados y su Aplicación en Caminos de Bajo Tránsito*, 12° Congreso Internacional Provia, Valparaíso, Chile, 2016.