

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN PAVIMENTACIÓN RUTA ACCESO A LENGA.

Iván González Merino¹, María Elisa Neubauer R.², Eduardo Núñez C.³

RESUMEN:

El siguiente artículo entrega una evaluación técnica del diseño estructural de pavimentación ruta acceso a Lengua de 3,5 km de longitud ubicada en la Región del Biobío, Chile.

En la primera etapa se realiza un estudio de tránsito del sector para identificar el tipo de pavimento, verificar su estado actual y determinar el flujo de vehículos predominantes.

En la segunda etapa se ejecuta el diseño estructural del pavimento mediante Método AASHTO 93 (Diseño oficial del Manual de Carreteras en Chile) y el método empírico-mecanicista de la cartilla de diseño Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación Chilena para la respectiva evaluación de resultados.

En la etapa final, se obtiene las emisiones totales generadas según el informe final “Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental” para la respectiva comparación con los criterios medios ambientales vigentes.

Finalmente, los resultados identifican a la ruta acceso a Lengua como vía troncal con un flujo vehicular bajo, se evidencia la necesidad de realizar la obra de pavimentación, al identificar el mal estado de las pistas. Para el diseño de pavimentos, los resultados de los métodos AASHTO y Cartilla de diseño son válidos, es decir, representan una alternativa viable para su ejecución.

Los datos analizados en las emisiones atmosféricas se encuentran dentro de la normativa ambiental requerida para el proceso de ejecución de pavimentación asfáltica.

PALABRAS CLAVES: Estudio de tránsito, diseño estructural, cartilla de diseño, emisiones, normativa ambiental.

ABSTRACT:

The following article provides a technical evaluation of the structural design of the paving of the 3.5 km long access road to Lengua, located in the Biobío Region, Chile.

In the first stage, a traffic study of the sector is carried out to identify the type of pavement, verify its current condition and determine the predominant flow of vehicles.

In the second stage, the structural design of the pavement is carried out using the AASHTO 93 Method (Official Design of the Highway Manual in Chile) and the empirical-mechanistic method of the design booklet Code of Standards and Technical Specifications for Chilean Paving Works for the respective evaluation of results.

In the final stage, the total emissions generated are obtained according to the final report "Compilation and systematization service of air emission factors for the Environmental Evaluation Service" for the respective comparison with the average environmental criteria in force.

Finally, the results identify the Lengua access road as a trunk road with a low vehicular flow, and the need for paving work is evidenced by the poor condition of the roads. For pavement design, the results of the AASHTO methods and the Design Booklet are valid, i.e., they represent a viable alternative for its execution.

The data analyzed for atmospheric emissions are within the environmental standards required for the paving execution process.

¹Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, igonzalez@ing.ucsc.cl

²Profesora Guía, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, maria.neubauer@ucsc.cl

³Profesor Informante, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, enunez@ucsc.cl

1. INTRODUCCIÓN

La ruta acceso a Lenga Ubicada en la comuna de Hualpén Región del Biobío Chile, conecta Caleta Lenga con Avenida Costanera y Autopista Concepción – Talcahuano.

La afluencia de vehículos hasta el sector de Caleta Lenga ha aumentado en el último tiempo debido al gran desarrollo turístico que ha tenido, contando además con un recorrido de taxibuses que otorga la posibilidad de acceso a todos los segmentos de la población (PRCH, 2022).

En el año 2015 el estudio “Capacidad Vial” del Plan Regulador Comunal de Hualpén detalla que la infraestructura vial del sector urbano de la comuna en términos generales presenta condiciones regulares de calidad, es decir exhibe fallas del tipo deterioro superficial, fisuras y grietas.

Actualmente, la ruta de 3,5 km de longitud se encuentra con una realidad diferente a la proyectada por el estudio del Plan Regulador Comunal de Hualpén, baches que superan los 50 cm distribuidos en diferentes sectores de la carpeta asfáltica sumado a la pérdida de áridos (tramos sin pavimentación), determina la posibilidad de generar una nueva pavimentación para la Ruta Acceso a Lenga.

Se requieren, entonces, nuevos proyectos urbanísticos que propongan infraestructura, espacios públicos y entornos habitables, concebidos con un enfoque integral, donde la comunidad diversa pueda interactuar y desenvolverse en un ambiente accesible universalmente, sano y confortable. Para cumplir con este propósito, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en este último periodo, ha desarrollado un intenso trabajo en conjunto con los principales actores del rubro, enfocado en la actualización y elaboración de normas técnicas, y la generación de manuales que reúnan buenas prácticas, avances en diseño, materiales y aplicación de nuevas tecnologías en el área construcción (MINVU, 2018).

Ante el complejo escenario actual de la ruta acceso a Lenga, este trabajo busca desarrollar una evaluación técnica para el diseño estructural de pavimentación mediante el desarrollo del método “ASHTOO 93” y la Cartilla de diseño de “Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación”, donde la primera etapa es un estudio de tránsito del sector y posteriormente el diseño del paquete estructural.

Finalmente para cumplir los criterios medioambientales vigentes para pavimentación, los usuarios del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) tienen a su disposición la Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire, herramienta que permite estimar las emisiones atmosféricas, particularmente identificando factores o fórmulas de emisión, para diversas tipologías de proyectos o actividades (Sea.gob.cl, sf).



Figura 1. Ubicación Ruta acceso a Lengua, Comuna Hualpén, Región del Biobío Chile.
Fuente: Google Earth (21-10-2023).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluación técnica del diseño estructural de pavimentación ruta acceso a Lengua

2.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de tránsito del sector identificando el estado actual de la ruta
- Realizar diseño estructural de pavimentación mediante el método AASHTO y la cartilla de diseño Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación para evaluar los resultados
- Estimación de emisiones atmosféricas para cumplir los criterios medioambientales vigentes

3. MARCO TEÓRICO

El pavimento tiene por objetivo dotar al camino de un sistema estructuralmente resistente a las solicitaciones que impone el tránsito, proporcionando una superficie que permita una circulación cómoda y segura a la velocidad especificada, bajo las variadas condiciones y por un periodo determinado. Diseñar consiste en determinar los tipos y espesores de las capas que resultan más económicas para lograr los propósitos enunciados (MOP, 2023a).

3.1 Estudio de tránsito

Los datos de tránsito se encuentran dentro de los elementos claves requeridos para el diseño y análisis de la estructura de los pavimentos, pues son necesarios para estimar la magnitud y la frecuencia de las cargas que serán aplicadas durante su vida útil. Los datos del tránsito requeridos en un diseño mecanicista son independientes del tipo de pavimento (rígido o flexible) o del diseño (nuevo o rehabilitado) (MINVU, 2018).

La Dirección de Vialidad, desde el año 1966 ha estado censando sistemáticamente la red de caminos bajo su tuición, con la finalidad de tener un conocimiento global del tránsito que por ella circula, tanto en cantidad de vehículos, como su composición.

Esto se determina a través de la Actualización Levantamiento de Censo de Tránsito de la Red Vial, que se lleva a cabo en los años pares para la Zona Sur y años impares Zona Norte, contemplando tres muestras al año, Febrero (mes de verano), Junio (mes de invierno) y Octubre (mes de primavera). Como producto final se entrega el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) (Servicios.vialidad.cl, 2000).

El Tránsito medio diario anual (TMDA) es el indicador que define el total de vehículos que circula como promedio diario en un año. Si del TMDA se resta el tránsito liviano, quedan solo los camiones y buses, que son los que interesan para el diseño de los pavimentos (MOP, 2023a).

Los pavimentos se deterioran debido a que los materiales experimentan con el tiempo variaciones de algunas de sus propiedades, que se manifiestan como una disminución de la capacidad para soportar cargas. Dichas cargas solicitantes, repetitivas y de gran magnitud, genera tensiones y deformaciones en los materiales, que sobrepasan su capacidad de fatigamiento. Por otra parte, el estado de la superficie expuesta directamente al tránsito también evoluciona con el uso, manifestándose en el aumento de la irregularidad superficial y otros indicadores de deterioro, y disminución de la fricción, comprometiendo el confort y la seguridad que debe ofrecer la vía (MOP, 2023a).

Como menciona el Manual de Carretera Volumen 7, la Dirección de Vialidad dispone con el documento Catálogo de Deterioros de Pavimentos relacionado con la recolección de información mediante una inspección visual de los pavimentos, el cual tiene por objetivo identificar y calificar la severidad de fallas individuales que se presenten en el pavimento.

3.2 Diseño de pavimento

Los métodos de diseño tienen por objeto relacionar la evolución funcional y estructural que experimenta la integridad (serviciabilidad) del pavimento con los factores que causan el deterioro. Evaluando estos factores, se definen procedimientos para dimensionar la estructura que se requiera para satisfacer niveles de integridad predefinidas para un periodo determinado (MOP, 2023a).

En la actualidad existen diferentes métodos de pavimentación, los cuales gracias al desarrollo de los materiales de la construcción se han ido perfeccionando, para obtener un mejor resultado, tanto en la vida útil del mismo, así como también el bajo costo de mantenimiento. Dependiendo de la utilidad del pavimento, vamos a elegir un material adecuado que pueda tener la capacidad de soporte de carga, ahí es donde entran los pavimentos de hormigón (rígido) y las mezclas asfálticas (flexible) que hoy vemos en las diferentes carreteras (chilecubica.com, sf).

Las cargas que impone el tránsito son traspasadas por el pavimento hacia la subrasante mediante mecanismos que dependen de las características de los materiales que conforman las diferentes capas; dependiendo de la mecánica por la cual esas cargas alcanzan la subrasante, los pavimentos se clasifican en flexibles y rígidos (MOP, 2023a).

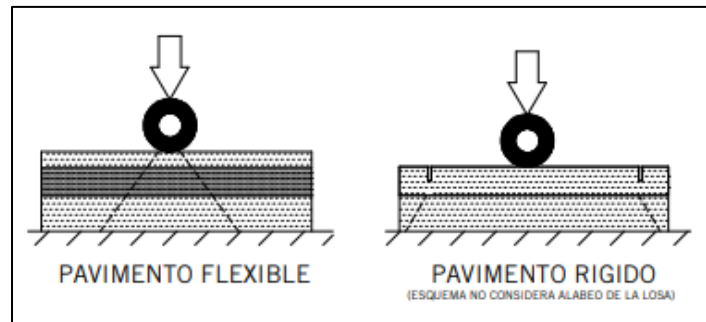


Figura 2. Distribución de carga pavimento flexible y rígido.

Fuente: MINVU, 2018.

La Dirección de Vialidad ha elegido el procedimiento de diseño de pavimentos flexibles los métodos desarrollados en los Estados Unidos por la AASHTO (MOP, 2023a).

Este método de diseño está basado en ecuaciones de regresión derivadas de ensayos empíricos desarrollados por AASHTO Road Test. Con el fin de disminuir el riesgo de deterioro prematuro bajo ciertos niveles de serviciabilidad aceptables, se incluye un factor de confiabilidad en el diseño (Fontalba, 2015).

Un pavimento flexible es un sistema multicapa y por lo tanto, debe diseñarse como tal. Esto implica, en primer lugar, unas secuencias de capas que a partir de la subrasante contemple una subbase, una base y la o las capas asfálticas (MOP, 2023a).

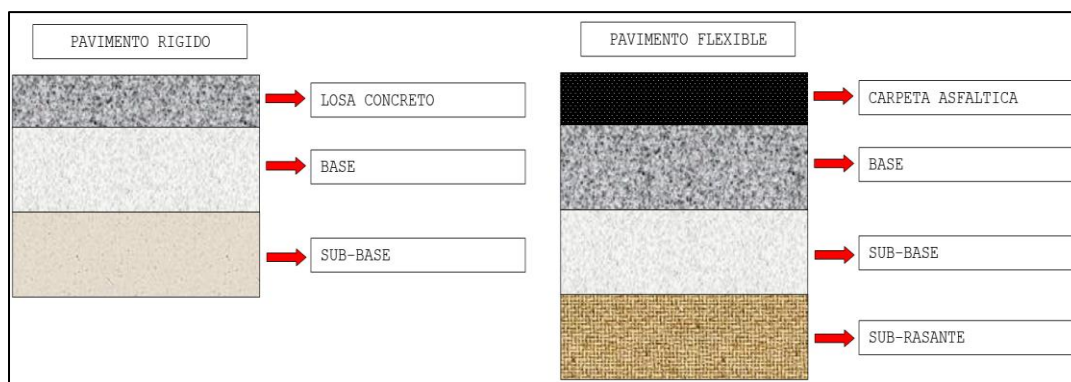


Figura 3. Estructura de pavimento Rígido y flexible

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio de Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos (Miranda, 2010).

El “Código de normas y especificaciones técnicas de obras de pavimentación” que presentamos, sancionado por Resolución Exenta N° 3008/2016 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, recopila las prácticas recomendadas de diseño y ejecución de los proyectos de pavimentación y obras de urbanización, a nivel nacional, incorporando nuevas técnicas y tecnologías constructivas

asociadas a este tipo de infraestructura, así como también de la normativa que las regula, principalmente en materia de diseño y especificación de materiales (MINVU, 2018).

Con el fin de simplificar y estandarizar los diseños, se proponen Cartillas, las cuales indican los espesores de las capas según la capacidad de soporte del suelo, zona climática, clase de vía y volumen de tránsito (MINVU, 2018).

3.3 Estimación de emisiones atmosféricas

Los factores de emisión y los inventarios de emisiones han sido durante mucho tiempo herramientas fundamentales para la gestión de la calidad del aire. Las estimaciones de las emisiones son importantes para desarrollar estrategias de control, determinar la aplicabilidad de los programas de permisos y control, los efectos de las fuentes y las estrategias de mitigación apropiadas (AP 42-Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 1995).

La oportuna consideración del impacto de un proyecto sobre el medio ambiente permite evitar o minimizar daños que en otras circunstancias se vuelven irreparables (MOP, 2023a).

En el marco del SEIA, el concepto de normativa de carácter ambiental o normativa ambiental aplicable comprende aquellas normas cuyo objetivo es asegurar la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, e imponen una obligación o exigencia cuyo cumplimiento debe ser acreditado por el titular del proyecto o actividad durante el proceso de evaluación (Sea.gob.cl, sf).

La norma primaria de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos causados por la exposición al material particulado respirable MP10, presente en el aire (Decreto N°12, 2022).

Como menciona el “Artículo 1° del decreto supremo N°144 los gases, vapores, humos, polvo, emanaciones o contaminantes de cualquiera naturaleza, producidos en cualquier establecimiento fabril o lugar de trabajo, deberán captarse o eliminarse en forma tal que no causen peligros, daños o molestias al vecindario.

Las obras viales, en etapas de construcción, mantenimiento, operación y conservación generan emisiones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza, principalmente en las actividades de excavación, transferencia de materia y nivelación de terreno (MOP, 2023b).

4. METODOLOGÍA

4.1 Estudio de tránsito

En el caso normal, la estimación de las solicitudes de tránsito para el diseño estructural de pavimentos urbanos surge de la aplicación de estudios realizados por este ministerio, tomando en consideración que el tránsito que circula por las vías urbanas depende fundamentalmente de la categoría de la vía a diseñar (MINVU, 2018).

La categorización de la vía a diseñar, el flujo y la tasa de crecimiento anual (4,96%) se obtienen a partir del estudio “Capacidad Vial” del Plan Regulador Comunal de Hualpén para la ruta acceso a Lenga.

Como menciona el Manual de Carreteras Volumen 3, la clasificación por tipo de vehículos expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciar por lo menos las siguientes:

- Vehículos livianos: automóviles, camionetas de hasta 1500 kg
- Locomoción colectiva: buses rurales e interurbanos
- Camiones: unidad simple para transporte de carga
- Camión con semirremolque o remolque: unidad compuesta para transporte de carga

La distribución porcentual de vehículos sector ruta acceso a Lenga se obtiene a partir del del Plan nacional de censos-Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío (ver tabla 1). Se debe descontar el tránsito liviano, quedando solo los camiones y buses, que son los que interesan para el diseño de los pavimentos.

Tabla 1. Distribución porcentual de vehículos sector ruta acceso a Lenga.

Tipo de vehículo	Dist. Porcentual (%)
Autos	56,3
Camionetas	15,33
Camiones 2 ejes	5,48
Camiones más 2 ejes	2,56
Semi Remolques	11,65
Remolques	1,1
Locomoción Colectiva	7,58

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan nacional de censos-Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío (Servicios.vialidad.cl, 2012b).

Se realiza una comparación del flujo vehicular del Plan nacional de censos-Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío, mediante un conteo del tránsito (vehículos livianos y pesados) circulante en la ruta acceso a Lenga durante 4 días distintos (ver tabla 2). Se debe descontar el tránsito liviano, quedando solo los camiones y buses, que son los que interesan para el diseño de los pavimentos.

Tabla 2. Flujo vehicular ruta acceso a Lenga.

Categoría	Tipo de vehículo	Día 1 (veh/h)	Día 2 (veh/h)	Día 3 (veh/h)	Día 4 (veh/h)	Promedio (veh/h)
VL	Automóvil	145	149	130	150	144
VL	Camioneta	65	79	59	61	66
73	Bus	10	11	8	10	10
1	Camión Simple	36	24	15	26	25
2	Camión 3 ejes	4	19	9	10	11
7	Camión + remolque	15	17	13	10	14
	Total	275	299	234	267	

Fuente: Elaboración propia a partir de toma de datos en el lugar.

El Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), es el volumen total del tráfico de camiones (vehículos pesados), considerando ambos sentidos, que pasa por un segmento o tramo de una ruta a diseñar. Comúnmente, se obtiene de la información proveniente de pesajes en movimiento, de la clasificación automática de vehículos, de conteos de vehículos y de modelos de generación de viajes, además de las proyecciones de tránsito, durante un período de tiempo dado (MINVU, 2018).

Para la proyección del volumen de tránsito, se utiliza los censos bianuales elaborados por la dirección de Vialidad. Se toman muestras en Verano (V), Invierno (I) y Primavera (P) (ver tabla 3). Se considera los vehículos pesados, es decir, camiones y buses.

Tabla 3. Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío.

	Muestra	Autos	Camionetas	Camiones 2 ejes	Camiones más 2 ejes	Semi Remolques	Remolques	Loc. Colectiva	Total
CCP-Thno	V	13721	4488	1821	562	3374	277	2050	26293
Directo	I	12045	3800	1459	655	3299	233	1685	23176
Av. Gran Bretaña	P	17496	3495	930	753	2280	335	2087	27376

Fuente: Adaptación a partir del Plan nacional de censos-Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío (Servicios.vialidad.cl, 2012b).

Para poder determinar el estado actual de la ruta acceso a Lenga, se procede a utilizar el Catálogo de Deterioros de Pavimentos que forma parte del Volumen N°7 del Manual de Carreteras de la

Dirección de Vialidad (ver tabla 4). El cual está destinado a facilitar y uniformar criterios y procedimientos para la identificación y recolección de información relacionada con los deterioros.

Tabla 4. Deterioros de pavimento asfáltico.

Tipo de Deterioro	Descripción
Fisuras y grietas por fatigamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Normalmente son una serie de fisuras y grietas interconectadas entre sí y que se encuentran en fase inicial de desarrollo. • Ocurren con más frecuencia en zonas del pavimento que reciben la mayor parte de las sollicitaciones.
Fisuras y grietas en bloque	<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamiento que divide el pavimento en trozos aproximadamente rectangulares de diversas dimensiones.
Grietas de borde	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras y grietas en forma de medialuna o que se desarrolla en forma más o menos continua interceptando el borde del pavimento.
Fisuras y grietas longitudinales	<ul style="list-style-type: none"> • Son predominantemente paralelas al eje de la calzada, de preferencia localizadas dentro de las huellas por donde circula la mayor parte del tránsito.
Fisuras y grietas transversales	<ul style="list-style-type: none"> • Predominantemente perpendiculares al eje de la calzada, en carpetas que no recubren pavimento de hormigón o base tratada con cemento.
Parches deteriorados	<ul style="list-style-type: none"> • Área del pavimento que ha sido removida y reemplazada o a la que se le ha agregado una carpeta asfáltica de refuerzo y que se encuentra deteriorada.
Baches en carpetas asfálticas	<ul style="list-style-type: none"> • Cavidad, normalmente redondeada, que se forma a desprenderse mezcla asfáltica.
Ahuellamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Hundimiento longitudinal que coincide con la huella por donde circula la mayor parte del tránsito y que puede encontrarse asociado a desplazamientos transversales de la carpeta.
Pérdida de áridos	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida del mortero asfáltico superficial quedando expuestos parcialmente el árido más grueso, en general, concentrada en las huellas.

Fuente: Adaptación a partir del Manual de carreteras Vol. N°7 Mantenimiento Vial (MOP, 2023c).

4.2 Diseño pavimentación

Para el diseño de pavimentos flexibles se utilizará el método empírico AASHTO 93 que se basa el manual de carreteras y la metodología empírico-mecanicista SHELL el cual se sustenta las cartillas de diseño del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación. Las solicitaciones para los efectos de determinar espesores serán los ejes equivalentes (EE) acumulados, que circularán por la pista de diseño, durante el periodo que se hubiere escogido como vida útil de diseño del pavimento. Los factores de ejes equivalentes para los pesos de los ejes del denominado tránsito liviano, automóviles y camionetas son muy pequeñas, de manera que en la práctica se desprecian (MOP, 2023a).

4.2.1 Método AASHTO pavimento flexible

Como menciona el Manual de carretera Volumen 3, el primer cálculo es determinar mediante el algoritmo desarrollado (Ec.1) por AASHTO, el número estructural (NE) que se requiere sobre la subrasante. Enseguida, se establecen los espesores mínimos de cada capa asfáltica a colocar. La estructuración de las diferentes capas debe hacerse de manera que la suma de los productos de los espesores por sus coeficientes estructurales satisfaga el **numero estructural**. Las ecuaciones representativas en el diseño de pavimento flexible son las siguientes:

$$EE = (NE_i + 25,4)^{9,36} * (10)^{-(16,4+Z_R*S_0)} * MR_i^{2,32} * \left(\frac{pi - pf}{4,2 - 1,5}\right)^{\frac{1}{B}} \quad Ec. 1$$

$$B = 0,40 + \left[\frac{97,811}{NE_i + 25,4}\right]^{5,19} \quad Ec.2$$

Donde:

- EE: Ejes equivalentes de 80 kN (8,6 t) de rueda doble.
- NE: Número estructural.
- pf: Índice de Serviciabilidad final del pavimento.
- pi: Índice de Serviciabilidad inicial del pavimento.
- Z_R: Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad.
- S₀ : Desviación estándar combinada en la estimación de parámetros.
- MR: Módulo resiliente del suelo (Mpa).

AASHTO transforma los diferentes ejes que circulan por una ruta, a un eje simple de rueda doble de 80 KN de peso, considerado como eje patrón (MOP, 2023^a).

El valor de este cociente es el **Factor de Ejes Equivalentes (EE)**:

$$\text{Factor } EE_x = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ejes de } x \text{ peso (kN) que causan una determinada pérdida de serviciabilidad}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Para el cálculo de Ejes equivalentes se consideró los siguientes parámetros:

- Tasa de crecimiento: 4,96% anual
- Periodo de vida: 20 años
- Factor de pista: 1

El grado de confiabilidad del diseño se controla por el factor de **confiabilidad (Fr)** que es función de un valor asociado al **nivel de confianza (R)** y de la **desviación normal del error combinado (So)** (MOP, 2023a).

El factor de confiabilidad F_R , se determina a través de la siguiente expresión:

$$F_R = 10^{-Z_r * S_o}$$

La guía de diseño AASHTO 93 recomienda utilizar $S_o = 0,45$.

El pavimento se diseña para que sirva por un determinado lapso llamado vida de diseño, que se refiera al periodo durante el cual Serviciabilidad (P) se mantiene dentro de ciertos límites (MOP, 2023a).

Los valores considerados son los siguientes:

Tabla 5. Criterio de Serviciabilidad pavimento flexible.

Índice de Serviciabilidad	Factor de Serviciabilidad
Inicial (pi)	4,2
Final (pf)	2,0

Fuente: Manual de carreteras Vol. N°3 Instrucciones y criterios de diseño (MOP, 2023a)

El **coeficiente de drenaje (mi)** permite ajustar el coeficiente estructural de las capas granulares no tratadas, en función de las condiciones de drenaje del proyecto que se analiza (MOP, 2023a).

Tabla 6. Coeficiente de drenaje.

mi	Casos
1,0	Para zonas 1 y 2
0,9 – 0,8	En casos especiales de cualquier zona, como suelos muy finos y presencia de napa en la zona de influencia de transmisión de cargas (0 a 1[m]). Zona 3

Fuente: Manual de carreteras Vol. N°3 Instrucciones y criterios de diseño (MOP, 2023a).

El **coeficiente estructural (ai)** adecuado a cada capa de pavimento depende directamente del módulo elástico del material que compone la capa (MOP, 2023a).

Tabla 7. Coeficientes estructurales para las capas de pavimento flexible.

Tipo de Capa	Coefficiente estructural
Capa 1 Subbase granular CBR min 40%	0,12
Capa 2 Base granular CBR min 80%	0,13
Capa 3 Concreto Asfáltico de superficie	0,43

Fuente: Manual de carreteras Vol. N°3 Instrucciones y criterios de diseño (MOP, 2023a).

Como menciona el Plan Regulador Comunal de Hualpén, la ruta acceso a Lengua tiene la particularidad que se encuentra en una zona industrial, donde existe una gran red de tuberías subterráneas que condicionan la toma de muestras, por lo que se adoptó la siguiente especificación estructural para el suelo de fundación, en base al estudio de “Mejoramiento Interconexión Vial Costanera – Centro de Concepción”

- CBR 15%

El **Módulo resiliente (MR)** representa el módulo elástico del material después de haber sido sometido a cargas cíclicas. Diversos estudios, realizados en diferentes lugares han dado origen a una cantidad de fórmulas para relacionar el **módulo resiliente** con el ensayo CBR (MOP, 2023a).

Las relaciones son las siguientes:

$$Mr(\text{MPa})=17,6 * (\text{CBR})^{0,64} \quad \text{Ec.3}$$

para CBR<12%

$$Mr(\text{MPa})=22,1 * (\text{CBR})^{0,55} \quad \text{Ec.4}$$

12%≤para CBR≤80%)

Como menciona el Manual de carretera Volumen 3, la estructuración de las capas se determina mediante el **número estructural total (NEt)**, el cual corresponde al valor que resulta al aplicar la Ec.5.

$$\text{NEt}(mm)=a_1 * h_1 + a_2 * h_2 * m_2 + a_3 * h_3 * m_3 \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

- a_i : Coeficientes estructurales.
- h_i : Espesores de cada capa.
- m_i : Coeficientes de drenaje.

4.2.2 Cartilla de diseño

Los diseños son realizados en base a la metodología empírico-mecanicista SHELL, con niveles de confianza de 85% para vías Colectoras y Troncales (MINVU, 2018).

Los pasos para la correcta utilización de las cartillas de diseño como menciona el “Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación” son las siguientes:

- Clasificar la vía a diseñar según: Pasaje, Local, de Servicio, Colectora, Troncal o Expresa
- Ubicar localidad en una zona climática
- Volumen de tránsito (alto, medio o bajo)

4.3 Estimación de emisiones atmosféricas

Los proyectos o actividades y las modificaciones de los proyectos existentes, que se sometan o deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental deberán presentar la estimación de sus emisiones de contaminantes a la atmósfera al menos para MP10, NOx, Sox, CO y COVs (MMA, 2020).

La norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10 es cincuenta microgramos por metro cúbico normal (50 µg/m³N), como concentración anual, y ciento treinta microgramos por metro cúbico normal (130 µg/m³N), como concentración de 24 horas (Decreto N°12, 2022).

Para la estimación de emisiones atmosféricas en pavimentación ruta acceso a Lengua, se desarrolla la metodología según el informe final “Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental” que tienen por finalidad asegurar una adecuada evaluación de impacto ambiental de proyectos, por ejemplo, normas de emisión y factores de emisión al aire.

De esta manera se considera las actividades producto de movimiento de tierras, circulación de tránsito por caminos no pavimentados y la combustión interna de maquinaria.

Se considera los siguientes supuestos de cálculo:

- Tiempo de ejecución 6 meses (lunes a viernes 8hrs diarias)
- Esponjamiento 20%
- Volumen por movimiento de tierra 11985 m³

4.3.1 Cálculo factor de emisión por transferencia de material

Según el informe “Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental” presenta la fórmula de emisión para el polvo generado por la transferencia de material (carga y descarga de camiones).

$$FE = k(0,0016 \frac{(\frac{U}{2,2})^{1,3}}{(\frac{M}{2})^{1,4}}) \text{ [kg/t] Ec.6}$$

Donde:

- FE: Factor de Emisión (kg/ton)
- K: 0,35 Multiplicador por tamaño de partículas, adimensional
- U: 4 m/s. Velocidad promedio del viento
- M: 3,4 % Contenido de Humedad del Material del sector

4.3.2 Cálculo factor de emisión por tránsito de vehículos por caminos no pavimentados

Según el informe “Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental” presenta la fórmula de emisión para la resuspensión de polvo por circulación vehicular en caminos no pavimentados.

$$FE = \left(k \left(\frac{s}{12} \right)^a \left(\frac{W}{2,72} \right)^b \right) * \left(1 - \frac{P}{365} \right) \text{ [g/VKT] Ec.7}$$

Donde:

- FE: Factor de Emisión (g/VKT) (VKT: kilómetro viajado por los vehículos)
- k: 422,85 Multiplicador por tamaño de partículas, adimensional
- a: 0,9 coeficiente adimensional para partículas MP10
- b: 0,45 coeficiente adimensional para partículas MP10
- s: 10% Contenido de material fino de la superficie del camino (%)
- P: 20 Días en el año con precipitación (N° de días)
- W: Peso vehículos circulante (ton)

4.3.3 Emisiones combustión interna de maquinarias

Las emisiones asociadas a la combustión interna de maquinarias dentro de la etapa de mejoramiento se extrajeron directamente desde el estudio SCAB Fleet Average Emission Factors (Diesel) Air Basic 2007 (DIA,2013).

5. RESULTADOS

5.1 Estudio de tránsito



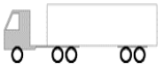

La ruta Acceso a Lengua, es de categoría **troncal asfaltada con un tráfico bajo** (vías de tránsitos menores a un millón de ejes equivalentes) según el estudio “Capacidad Vial” del Plan Regulador Comunal de Hualpén. Dado que el Manual de carretera Volumen 3 contempla buses y camiones como vehículos pesados, se obtiene la distribución porcentual el cual representa un **28,5% de vehículos pesados** circulantes en el sector (ver tabla 8).

Tabla 8. Resumen datos obtenidos “Estudio de Tránsito”.

Estudio de tránsito		
Estado de la vía	:	Regular
Materialidad de la vía	:	Asfalto
Flujo vehicular	:	339 (veh/h)
Categoría	:	Troncal
Distribución Porcentual Vehículos pesados	:	28,5%

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “Capacidad Vial” (PRCH,2020).

Tabla 9. Vehículos pesados predominantes sector acceso a Lengua.

Tipo de Vehículo	Categoría	Configuración	Descripción	Dist.Porcentual % Plan nacional de censos año 2016	Dist.Porcentual % In situ año 2023
C2E (camión simple)	1		Camión de 2 ejes	5,5	9,4
-C+2E (camión múltiple)	2		Camión de 3 ejes	2,6	3,9
	7		Tracto camión + Semirremolque	12,8	5,1
BUS	73		Bus de 2 ejes	7,6	3,6
TOTAL				28,5%	22%

Fuente: Elaboración propia a partir de Propuesta de factor camión para el diseño de pavimento (Pastrana,2014).

En la tabla 9, se observa los resultados de distribución porcentual sector ruta acceso a Lengua, en el cual se obtuvo 28,5% en el Plan nacional de censos año 2016 y 22% en toma de datos In situ año 2023, correspondiente al total de vehículos pesados (buses y camiones) en ambos casos.

Tabla 10. Resumen datos obtenidos “Toma de datos in situ”.

Tipo de Deterioro	Causas Posibles	Detalle
Fisuras y grietas por fatigamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones y/o de la capacidad de soporte de la subrasante. • Drenaje inadecuado en zonas localizadas. 	Presente a lo largo de la ruta. Nivel de severidad media: Existe un patrón definido de agrietamiento.
Fisuras y grietas en bloque	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica muy rígida. • Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones y/o de la capacidad de soporte de la subrasante. 	Presentes en el tramo inicial. Nivel de severidad media: 3mm < ancho grietas < 20mm.
Grietas de borde	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de confinamiento lateral de una carpeta mal adherida a la base. 	Presente en el tramo intermedio hasta el final de la ruta. Nivel de severidad alta: Grietas con considerables saltaduras en los bordes y pérdidas de mezcla asfáltica en más del 10% de la longitud del tramo afectado.
Fisuras y grietas longitudinales	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando coinciden con el eje de la calza son producto de una mala construcción. • Asentamientos de la base o de la subrasante, por una compactación inadecuada. 	Presente a lo largo de la ruta. Nivel de severidad media: 3mm < ancho medio de la grieta < 20mm o grietas de ancho medio rodeadas por severidad baja.
Fisuras y grietas transversales	<ul style="list-style-type: none"> • Juntas de construcción mal construidas. 	Presente a lo largo de la ruta. Nivel de severidad media: 3mm < ancho medio de la grieta < 20mm o grietas de ancho medio rodeadas por severidad baja.
Parches deteriorados	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron. • Parche estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y característica de la subrasante. 	Presente en el tramo intermedio de la ruta. Nivel de severidad alta: Cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche si es de alta severidad.



Baches en carpetas asfálticas	<ul style="list-style-type: none"> Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante. Defecto de construcción. 	Presentes a lo largo de la ruta con profundidad \geq a 30mm. Nivel de severidad alta: Profundidad del bache $>$ 20mm.
Ahuellamiento	<ul style="list-style-type: none"> Compactación insuficiente de la base y/o la mezcla asfáltica. Base de capacidad de soporte inadecuada. Diseño inadecuado de la mezcla asfáltica, exceso de asfalto, ligante muy blando, mezcla de baja estabilidad Marshall, etc. 	Presentes en diferentes tramos de la ruta. Nivel de severidad media: $20\text{mm} <$ profundidad máxima del ahuellamiento $<$ 40mm.
Pérdida de áridos	<ul style="list-style-type: none"> Falta de adherencia entre ligante y áridos. Mezcla asfáltica mal diseñada. 	Presentes en el tramo intermedio de la ruta con un ancho del tamaño de la calzada y largo desde 4m a 6m. Nivel de severidad alta: Las pérdidas son tan significativas que la superficie se presenta muy rugosa e irregular; existe una pérdida importante de árido grueso.

Fuente: Elaboración propia a partir del Manual de carreteras Vol. N°7 Mantenimiento Vial (MOP, 2023c).

En la tabla 10, se observa los resultados según el tipo de deterioro mediante la inspección visual que se realiza en la ruta acceso a Lengua, detallando el tipo de deterioro, la causa posible y su nivel de severidad.

Tabla 11. Cálculo de ejes equivalente.

Año	Camión Simple	Camión más 2 ejes	Semi remolque	Buses	Total TMDA	EE	EE Acumulado
2022	1552	937	4068	2073	8630	18086	18086
2023	1579	994	4283	2095	8952	18893	36980
2024	1606	1055	4511	2119	9290	19743	56722
2025	1633	1119	4750	2142	9644	20636	77358



2026	1661	1188	5001	2165	10015	21576	98935
2027	1689	1260	5266	2189	10405	22566	121501
2028	1718	1337	5545	2213	10813	23607	145108
2029	1747	1419	5839	2238	11242	24703	169811
2030	1776	1505	6149	2262	11693	25856	195667
2031	1807	1597	6475	2287	12166	27071	222738
2032	1837	1694	6818	2312	12662	28349	251087
2033	1869	1798	7179	2338	13183	29695	280782
2034	1900	1907	7560	2363	13731	31112	311895
2035	1933	2024	7960	2389	14306	32605	344500
2036	1966	2147	8382	2416	14911	34177	378676
2037	1999	2278	8827	2442	15546	35832	414508
2038	2033	2417	9294	2469	16214	37575	452083
2039	2067	2565	9787	2496	16915	39412	491495
2040	2103	2721	10306	2524	17653	41346	532841
2041	2138	2887	10852	2552	18429	43384	576225
2042	2175	3063	11427	2580	19245	45531	621756
						Total EE	621756

Fuente: Elaboración propia a partir del Plan nacional de censos-Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío (Servicios.vialidad.cl, 2012b).

En la tabla 11, se obtiene el resultado de Ejes equivalentes (EE) 621756 mediante la proyección del volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío sector Ruta acceso a Lenga por un periodo de vida de 20 años.

5.2 Diseño pavimentación

Tabla 12. Parámetros de diseño pavimento flexible.

Proyecto: Paquete estructural Ruta acceso a Lengua	
Parámetros de diseño:	
Periodo de Vida	20 años
Tránsito (EE)	621756
Módulo resiliente (MR)	98MPa
Confiabilidad (R)	60%
Error estándar combinado (So)	0,45
Zr	-0,253
Factor de confiabilidad (FR)	1,3
Tránsito de diseño (EE*FR)	808283
Serviciabilidad inicial (pi)	4,2
Serviciabilidad final (pf)	2
Número Estructural Requerido Total (NE)	5,49

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 12, se observa el resultado del número estructural requerido (NE) 5,49 sobre la Subrasante con el fin de determinar la estructura de capas. Mediante los parámetros de diseño se desarrolla la Ec.1 del Método AASHTO para obtener este resultado.

Tabla 13. Estructuración de Capas.

Capa	Espesor(mm)	ai	mi	NEi
Carpeta de asfáltica	50	0,43	1	2,15
Base granular	150	0,13	1	1,95
Subbase Granular	150	0,12	1	1,80
NEt				5,9

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 13, se detalla el resultado por el método ASHTOO de la estructura de capas, el cual corresponde al resultado más cercano al **NE requerido** al ocupar los espesores mínimos propuesto en el Manual de carretera Volumen 3 para cada capa estructural, total espesor 350mm.

Tabla 14. Cartilla de diseño Zona 2 tránsito bajo.

Vías Bajo Volumen de Transito Zona 2						
Tipo De Vía	Capa	CBR Capa %	CBR Subrasante %			
			=<3	4 a 7	8 a 12	13 a 20
TRONCAL	Carpeta asfáltica		70	70	70	70
	Base Granular	CBR>=80	150	150	150	150
	Sub-base Granular	30<=CBR<=50	150	150	150	150

Fuente: Adaptación Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación Cartilla de diseño (MINVU, 2018).

La tabla 14, se obtiene los resultados del diseño estructural según las cartillas de diseño del “Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación” para la Vía troncal de tránsito bajo el cual detalla las 3 capas principales, con un espesor total de 370mm.

Tabla 15. Resultados de espesor de capas.

Capa	AASHTO	Cartilla De Diseño
Carpeta de asfáltica	50	70
Base Granular	150	150
Subbase Granular	150	150
Total (mm)	350	370

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 15, se observa en términos generales, los diseños para ambos métodos, lo que da por resultado los espesores mínimos permitidos para la base y subbase al identificar un tráfico bajo del sector, el espesor de la carpeta asfáltica varia dado que el método AASHTO optimiza los espesores de capa, por su parte las cartillas de diseño proponen simplificar y estandarizar los diseños con niveles de confianza de 85% para vías Colectoras y Troncales, y de un 95% para vías Expresas.

5.3 Estimación de emisiones atmosféricas

Se registra los resultados del factor de emisión (FE) y la tasa de emisión para las actividades producto de movimiento de tierras, circulación de tránsito por caminos no pavimentados y la combustión interna de maquinaria en las siguientes tablas:

Tabla 16. Factor (FE) y tasa emisión por movimiento de tierras.

Emisiones por movimiento de tierra	FE (kg/ton)	Tasa de emisión(kg/día)
MP10	0,00058	0,1158

Fuente: Elaboración propia a partir del informe “Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire” (SEA,2015).

La tabla 16, se observa el resultado del factor y la tasa de emisión del polvo generado por la transferencia de material (carga y descarga de camiones).

Tabla 17. Factor (FE) y tasa de emisión para tránsito de vehículos por caminos no pavimentados.

Tipo de vehículo	W (ton)	Cantidad (veh/día)	Distancia (km/día)	FE (kg/VKT)	Tasa de emisión (kg/día)
C.Tolva	30	4	10	0,99	3,96
C.Aljibe	25	1	10	0,92	0,92
Camioneta	3	2	10	0,35	0,70

Fuente: Elaboración propia a partir del informe “Recopilación y Sistematización de Factores de Emisión al Aire” (SEA,2015).

La tabla 17, se observa el resultado del factor de emisión y la tasa de emisión según el tipo de vehículo utilizado.

Tabla 18. Emisión por combustión interna de maquinaria.

Maquinaria	MP10 (kg/día)	CO (kg/día)	COV (kg/día)	NOx (kg/día)	SO2 (kg/día)	CO2 (kg/día)
Cargador	0,6923	5,0134	1,8641	20,0437	0,0194	1713,96
Bulldozer	0,9202	6,615	2,3209	21,0762	0,0162	1408,32
Motoniveladora	0,9796	8,1432	2,2388	17,5586	0,0151	1338,12
Retroexcavadora	0,6944	5,0922	1,8511	20,8548	0,0205	1854,36
TOTAL	3,2865	24,8638	8,2749	79,5333	0,0712	6314,76

Fuente: Mejoramiento Interconexión Vial Costanera Concepción Chiguayante, Provincia de Concepción, Región de Biobío (DIA,2013).

La tabla 18, se observa los valores de las emisiones generadas, en donde destaca el material particulado de 10 micrones (MP10), el total registrado al sumar Emisión de movimiento de tierra, vehículos y maquinaria cual emite a una tasa de **8,98 kg/día**. El que registra mayor emisión por combustión interna de maquinaria es el **CO2** con **6314,76 kg/día**.

6. DISCUSIÓN

Respecto al estudio de tránsito, y de acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene que los datos in situ presenta una disminución del 6,5% en la distribución vehicular en comparación al Plan nacional de censos-Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío. Estos datos no son esperados debido a la tasa de crecimiento anual (4,96%) que proyecta el estudio “Capacidad Vial” del Plan Regulador Comunal de Hualpén.

Por otro lado, el diseño estructural de pavimentación mediante el método AASHTO y su respectiva evaluación de resultados con la cartilla de diseño Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación para un periodo de 20 años. La capa base y subbase granular el espesor es el mismo, cumpliendo con la especificación mínima requerida. La diferencia se encuentra en la carpeta asfáltica, donde la cartilla de diseño aumenta de 50 mm a 70 mm respecto al método AASHTO, donde la cartilla de diseño trabaja con un nivel de confianza de 85%, por su parte el método AASHTO el nivel de confianza es de 60%.

Toda obra en la actualidad debe cumplir los criterios medioambientales vigentes, según el Decreto N°12 artículo 4. La norma primaria de calidad de aire para material particulado MP10 es equivalente a 50 µg/m³N anual, es decir que el análisis de los resultados con respecto al MP10 movimiento de tierras más combustión interna de maquinaria se encuentran dentro del marco legal de dicha normativa.

Finalmente, los resultados obtenidos mediante las 3 etapas propuestas en el desarrollo de la evaluación técnica, cumple con el objetivo de dotar con información relevante para pavimentación ruta acceso a Lenga.

7. CONCLUSIÓN

En lo referente al estudio de tránsito y los resultados obtenidos, se identificó a la ruta acceso a Lenga como vía troncal con un flujo vehicular bajo, se establece la necesidad de realizar la obra de pavimentación al identificar el mal estado de las pistas con presencia de ahuellamiento, fisuras múltiples, baches y falta de pavimentación.

Los resultados obtenidos tanto para el método AASHTOO y Cartilla de diseño son válidos es decir representan una alternativa viable para su ejecución.

Con la recopilación de información se recomienda ocupar una confiabilidad de diseño más alta, dado que esta representa la probabilidad de perdurar en el tiempo, de esta manera la cartilla de diseño presenta una solución más óptima al aumentar la probabilidad de que el pavimento dure el tiempo de diseño.

Los **emisores contaminantes** calculados se encuentran dentro de la normativa ambiental requerida para el proceso de ejecución pavimentación asfáltica ruta acceso a Lenga. Se debe tomar en cuenta, el sector industrial en donde se desarrolla el proyecto, dado que hay una gran red de tuberías subterráneas que puede provocar un aumento de agentes contaminantes.

Por lo tanto, se concluye la necesidad de ejecutar el desarrollo del diseño estructural mediante la evaluación técnica, la cual repasa aspectos de tránsito, diseño y criterios medioambientales, de esta manera se presenta una solución viable para el problema de infraestructura que se necesita en el sector ruta acceso a Lenga, por un periodo de 20 años.

8. REFERENCIAS

- **Decreto N°12. (2022).** *Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10.* Chile.
- **Decreto N°144. (1961).** *Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza.* Chile.
- **MINVU-Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018).** *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación.* Chile.
- **MOP-Ministerio De Obras Públicas. (2023a).** *Manual de carreteras Vol. N°3 Instrucciones y criterios de diseño.* Chile.
- **MOP-Ministerio De Obras Públicas. (2023b).** *Manual de carreteras Vol. N°9 Estudios y criterios ambientales en proyectos viales.* Chile.
- **MOP-Ministerio De Obras Públicas. (2023c).** *Manual de carreteras Vol. N°7 Mantenimiento Vial.* Chile.

- **Pastrana,F.(2014).** *Propuesta de factor camión para el diseño de pavimento.*Concepción,Chile.
- **PRCH-Plan Regulador Comunal de Hualpén. (2020).** *Estudio de Capacidad Vial.* Chile.
- **DIA-Declaración de impacto ambiental. (2013).** *Mejoramiento interconexión vial costanera Concepción - Chiguayante, provincia de Concepción, Región de Biobío.* Chile.
- **Miranda, R. (2010).** *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos.* Chile.
- **Ley 19.300. (2007).** *Sobre bases generales del medio ambiente.* Chile.
- **Servicios.vialidad.cl. (2012a).** *Plan nacional de censo.* <http://servicios.vialidad.cl/censo/index.htm/>
- **Sea.gob.cl. (sf).** *Normativa ambiental aplicable.* <https://www.sea.gob.cl/documentacion/permisos-autorizaciones-ambientales/normativa-ambiental-aplicable/>
- **Sea.gob.cl. (sf).** <https://sea.gob.cl/noticias/herramienta-de-evaluacion-ambiental-permite-estimacion-de-emisiones-atmosfericas>
- **Chilecubica.com. (sf).** *Manual de carretera* <https://www.chilecubica.com/fichas-documentos-y-manuales/manual-de-carretera/>
- **Servicios.vialidad.cl. (2012b).** *Plan nacional de censos-Volumen de tránsito año 2016 Región del Biobío.* <http://servicios.vialidad.cl/censo/index.htm/>
- **Mma.gob.cl. (sf).** *Huella de carbono.* <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- **SEA-Servicio de Evaluacion Ambiental. (2015).** *Servicio de recopilación y sistematización de factores de emisión al aire para el Servicio de Evaluación Ambiental.* Chile.
- **AP 42-Compilation of Air Pollutant Emission Factors. (1995).** *Volume I, Stationary Point and Area Sources.* EEUU.
- **Fontalba, E. (2015).** *Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1ª etapa.* Chile.