



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Vías Terrestres y Movilidad

El cobro del peaje en carreteras: análisis y propuesta para camiones de  
carga en México.

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Maestría en Vías Terrestres y Movilidad

**Presenta:**

Ing. Cristian Asahi Vázquez Santillán

Dirigido por:

Dr. Eduardo Betanzo Quezada

Dr. Eduardo Betanzo Quezada  
Presidente

Dra. María de la Luz Pérez Rea  
Secretario

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca  
Vocal

M. en I. Emilio Abarca Pérez  
Suplente

M. en I. Alejandro Castellanos Cordero  
Suplente

Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Enero 2019

## **RESUMEN**

Los camiones de carga ejercen un efecto determinante sobre el deterioro de las carreteras, particularmente de las construidas con concreto asfáltico, las cuales componen el 37.8% de la red nacional. Además, el sobrepeso con el que circulan los camiones de carga acelera ese proceso de deterioro de las carreteras. Bajo el concepto de que “el que daña paga” sería necesario que el peaje aplicado en las carreteras de cuota considere los daños causados al pavimento por este tipo de vehículos, con el fin de que el usuario retribuya los daños ocasionados por el uso de la infraestructura. Las primeras constataciones permiten asegurar que la cuota de peaje en México sólo toma en cuenta el número de ejes de los camiones, sin importar si éstos circulan vacíos, con la carga reglamentaria o con sobrepeso, y sin incluir algunos parámetros físicos que influyen en la generación del daño, por ejemplo: el tipo de llanta y la presión de inflado, el peso por eje, el peso bruto vehicular y la temperatura de pavimento. Mediante un trabajo documental y de campo se busca responder que en las cuotas en carreteras en México no se recupera el monto equiparable para resarcir el daño, por lo tanto, explicar las razones técnicas, económicas y políticas por las que se da esa práctica. Por último, se realiza una propuesta basada en el peaje por peso del camión.

**Palabras clave:** Transporte de carga, peaje, daño a pavimento, pesaje dinámico, carreteras.

## **ABSTRACT**

Freight trucks have a decisive effect on the deterioration of roads, particularly those built with asphalt concrete, which compose 37.8% of the national network. In addition, the overweight with which the freight trucks circulate accelerates this process of road deterioration. Under the concept "that damages pays", it would be necessary that the toll applied to the toll roads consider the damage caused to the pavement by this type of vehicle, in order that the user reward the damages caused using the infrastructure. The first findings make it possible to ensure that the toll rate in Mexico only takes into account the number of axles of the trucks, regardless of whether they circulate empty, with the regulatory load or with overweight, and without including some physical parameters that influence the generation of the damage, for example: the type of tire and the inflation pressure, the weight per axle, the gross vehicle weight and the pavement temperature. Through a documentary work, we seek to respond through road tolls in Mexico, the equivalent amount is not recovered to compensate the damage and if not, explain the technical, economic and political reasons why that practice is given. Finally, is made a proposal based on the toll by weight of the truck.

**Key words:** Freight transport, toll road, pavement damage, Weight in Motion, roads.

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría comenzar por agradecer a mi director de tesis, Dr. Eduardo Betanzo Quezada por siempre estar al pendiente del avance de este proyecto de investigación y aportar grandes conceptos, ideas y sabiduría sobre el conocimiento del tema. De igual manera a mis tutores y asesores de tesis que me aportaron su tiempo y con su acertada orientación, apoyo, soporte y opinión me guiaron a dar un buen aprovechamiento del tema y con ello llevar a un buen término este proyecto.

Agradecer principalmente a CONACyT por el apoyo durante los dos años con el objetivo de terminar el proyecto de investigación y aquellas publicaciones y posters que resultaron de la tesis. Al Instituto Mexicano de Transporte por permitirme realizar mi estancia académica dentro de sus instalaciones, a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las concesionarias IDEAL y Autopistas Michoacán por aceptarme con su personal durante el trabajo de campo y especialmente reconocer a la Universidad Autónoma de Querétaro que hicieron todo lo posible por proporcionar un espacio en sus instalaciones para realizar el trabajo mediante el apoyo económico y uso de su infraestructura.

Agradecer al Dr. Ovidio Arturo González Gómez, al M. en I. Miguel Barousse Moreno, al Ing. Sergio Damián, al Lic. Raúl Huerta García e Ing. Fernando Leandro Hernández por ser piezas formativas claves en la información descrita de este documento, la aportación de sus conocimientos y experiencias a través de los años ha logrado tener un panorama amplio sobre el tema, a cada uno de ellos les expreso mi reconocimiento y agradecimiento por aportar mucho a esta tesis.

## **DEDICATORIAS**

Quiero agradecer primeramente a Dios que me permite poder cumplir mis metas y objetivos que me trazo día con día, el tener salud, vida y por rodearme de personas maravillosas que considero algo único y especial. Con esto quiero dedicar mi trabajo a dos personas realmente importantes en mi vida, mis padres Martín Vázquez Cardiel y Ma del Refugio Santillán Hernández que desde el principio de mi formación como ser humano y académicamente hablando me han enseñado la humildad, el trabajo, el respeto, la dedicación y el esfuerzo que implican las cosas

importantes en la vida y que siempre me han dado su apoyo incondicional en cualquier momento, es un orgullo llamarlos mis padres, mi más sincero respeto y reconocimiento a ellos dos por ser excelentes seres humanos y decirles una vez más, lo logre. Sé del sacrificio inmenso que hemos pasado para llegar a estos momentos, pero no me queda más que decirles muchas gracias por todo, inmensas gracias por tenerlos en mi vida, los amo.

A mi compañera de vida que siempre ha estado para alentarme de todos los momentos malos y buenos, Arq. Laura Edissa Santana González reconozco que eres una mujer respetuosa, honesta y fuerte en todos los aspectos de tu vida y lo admiro mucho, sabes que eres el pilar más importante en mi vida y solamente tú sabes lo mucho que ha costado realizar este trabajo, pero te agradezco por permanecer a mi lado y darme tu apoyo, confianza y amor en los momentos que más se necesitan, siempre estar al pendiente de mi persona en todos los aspectos, siéntete como parte de esto porque lo eres. Siempre has estado presente en mis momentos académicos importantes y en esta no es la excepción. Infinitas gracias por todo mi amor, te amo mucho.

A mis compañeros y amigos de la maestría con los que compartí momentos especiales, que a pesar de que todos teníamos el mismo objetivo de terminar la tesis y fue duro y pesado para todos, los momentos alegres y la amistad que pude tener con cada uno de ustedes es algo que me llevo para siempre, conocí muchas personas que me llevo como grandes amistades y agradezco mucho esa posibilidad de conocerlos. A mis amigos de licenciatura y ahora también de maestría, al M. en I. Andrés Andrade Becerra, Ing. Ricardo Maldonado Ríos, Ing. Francisco Silva, M. en I. Alfonso Reyes Juárez compañero de mi generación y gran amigo que siempre me apoyo en todo momento, M. en I. Mario Páez Lugarel con quien tengo una gran amistad, muchas gracias carnalito por conocer a personas como tú, eres una excelente persona. Y a todos mis compañeros de generación, saben que los aprecio amiguitos.

|                                                                   | Pag       |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| Resumen                                                           | 2         |
| Abstract                                                          | 3         |
| Agradecimientos                                                   | 4         |
| Índice de Contenido                                               | 6         |
| Índice de Figuras                                                 | 8         |
| Índice de Tablas                                                  | 10        |
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>                                      | <b>12</b> |
| 1.1 ANTECEDENTES .....                                            | 14        |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. ....                                | 20        |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN .....                                           | 21        |
| 1.4 HIPÓTESIS. ....                                               | 22        |
| 1.5 OBJETIVO GENERAL .....                                        | 22        |
| 1.6 ALCANCES DE LA INVESTIGACION. ....                            | 22        |
| <b>2. ESTADO DEL ARTE.....</b>                                    | <b>23</b> |
| 2.1 PARÁMETROS FÍSICOS.....                                       | 25        |
| 2.1.1 <i>Llantas del vehículo y el inflado.</i> .....             | 25        |
| 2.1.2 <i>Temperatura del pavimento.</i> .....                     | 28        |
| 2.1.3 <i>Rugosidad del pavimento.</i> .....                       | 29        |
| 2.1.4 <i>Velocidad vehicular.</i> .....                           | 31        |
| 2.2 CONTEXTO INTERNACIONAL.....                                   | 31        |
| 2.2.1 <i>Estados Unidos.</i> .....                                | 31        |
| 2.2.2 <i>Caseta de cobro Inteligente.</i> .....                   | 32        |
| 2.2.3 <i>Sistemas relacionados con el daño a pavimento.</i> ..... | 33        |
| 2.2.4 <i>La Euroviñeta.</i> .....                                 | 39        |
| 2.2.5 <i>Sistema de cobro de peaje en Europa</i> .....            | 40        |
| 2.2.6 <i>China</i> .....                                          | 42        |
| 2.3 LA CONCESIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO. ....                    | 47        |
| 2.4 TIPOS DE CAMIONES DE CARGA. ....                              | 48        |
| 2.4.1 <i>Camiones con configuración tipo "C"</i> .....            | 49        |

|           |                                                                              |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.2     | <i>Camiones con configuración tipo " T - S " y arreglos.</i>                 | 49         |
| 2.4.3     | <i>Camiones con configuración tipo " T – S – R ".</i>                        | 50         |
| 2.5       | SITUACIÓN DE SOBRECARGA EN MÉXICO.                                           | 50         |
| 2.5.1     | <i>Escenario para eje sencillo.</i>                                          | 52         |
| 2.5.2     | <i>Escenario para eje dual.</i>                                              | 54         |
| 2.5.3     | <i>Escenario para eje tandem.</i>                                            | 56         |
| 2.5.4     | <i>Escenario para eje tridem.</i>                                            | 58         |
| <b>3.</b> | <b>METODOLOGÍA.</b>                                                          | <b>61</b>  |
| 3.1       | MAPA CONCEPTUAL DE LA METODOLOGÍA.                                           | 61         |
| 3.2       | DESCRIPCIÓN DE PASOS METODOLÓGICOS.                                          | 63         |
| 3.3       | FORMATO DE LA GUÍA METODOLÓGICA.                                             | 65         |
| <b>4.</b> | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>                                               | <b>67</b>  |
| 4.1       | ELEMENTOS DE UNA TARIFA DE PEAJE.                                            | 67         |
| 4.1.1     | <i>Flujos vehiculares.</i>                                                   | 67         |
| 4.1.2     | <i>Encuestas Origen – Destino y de Preferencia declarada.</i>                | 68         |
| 4.1.3     | <i>Análisis de sensibilidad tarifaria y pronóstico de aforos e ingresos.</i> | 70         |
| 4.2       | ESTRUCTURACIÓN TARIFARIA.                                                    | 71         |
| 4.2.1     | <i>Tarifas máximas.</i>                                                      | 71         |
| 4.2.2     | <i>Tarifas Promedio Máximas.</i>                                             | 75         |
| 4.3       | PROPUESTA PARA EL PEAJE BASADO EN EL PESO                                    | 77         |
| 4.3.1     | <i>Marco Legal.</i>                                                          | 78         |
| 4.3.2     | <i>Marco Administrativo.</i>                                                 | 80         |
| 4.3.3     | <i>Marco Tecnológico - Operativo.</i>                                        | 82         |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSIONES.</b>                                                         | <b>88</b>  |
| 5.1       | PARÁMETROS CONSIDERADOS Y SOBRECARGA.                                        | 88         |
| 5.2       | CONTEXTO ADMINISTRATIVO                                                      | 89         |
| 5.3       | GENERALIDADES DE LA PROPUESTA.                                               | 89         |
| 5.4       | LÍNEAS DE INVESTIGACION FUTURA.                                              | 91         |
| <b>6.</b> | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>                                           | <b>92</b>  |
| <b>7.</b> | <b>ANEXOS.</b>                                                               | <b>101</b> |

## Índice de Figuras.

| Figura                                                                                                                                             | Pag |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1.1 Kilómetros de la Red Nacional de Carreteras. Fuente: (SCT, 2017). .....                                                                 | 16  |
| Figura 2.1. Comparación de la energía total almacenada para cada una de las llantas y el camión completo. Romero J. A. <i>et al.</i> (2013). ..... | 27  |
| Figura 2.2. Variaciones de la energía total almacenada con la temperatura del pavimento. Romero J. A. <i>et al.</i> (2013) .....                   | 28  |
| Figura 2.3. Representación gráfica del Modelo Cuarto de Carro Normalizado. Romero J. A. (1996). .....                                              | 30  |
| Figura 2.4. Diagrama de bloques del sistema Caseta de Cobro Inteligente. Romero J.A. <i>et al.</i> (2006). .....                                   | 33  |
| Figura 2.5. Resumen de la distribución del sistema de daño al pavimento. Dodoo & Thorpe (2005). .....                                              | 38  |
| Figura 2.6 Sistema <i>Weigh In Motion</i> implementado en las casetas de cobro en China .....                                                      | 46  |
| Figura 2.7. Escenario de sobrecarga para el eje sencillo de los cuatro tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia. ....                      | 53  |
| Figura 2.8. Escenario de sobrecarga para el eje dual de los cuatro tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia. ....                          | 55  |
| Figura 2.9. Escenario de sobrecarga para el eje tándem de los tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia. ....                               | 57  |
| Figura 2.10. Escenario de sobrecarga para el eje tridem de los tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia. ....                              | 58  |
| Figura 3.1. Metodología utilizada para el trabajo de investigación. ....                                                                           | 62  |

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 7.1. Sensibilidad de la demanda asignada al proyecto de automóviles a la tarifa.<br>Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group.....                            | 106 |
| Figura 7.2. Sensibilidad de los ingresos del proyecto de automóviles a la tarifa. Fuente:<br>Deloitte y Avanti Engineering Group.....                                  | 107 |
| Figura 7.3. Sensibilidad de la demanda asignada al proyecto de camiones unitarios a la tarifa.<br>Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group.....                     | 108 |
| Figura 7.4. Sensibilidad de los ingresos asignada al proyecto de camiones unitarios. Fuente:<br>Deloitte y Avanti Engineering Group.....                               | 109 |
| Figura 7.5. Sensibilidad de la demanda asignada al proyecto de camiones articulados a la<br>tarifa. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group. ....                  | 110 |
| Figura 7.6. Sensibilidad de los ingresos asignada al proyecto de camiones articulados a la<br>tarifa. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group. ....                | 111 |
| Figura 7.7. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Carretera Libre Tuxpam –<br>Tampico. Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT .....             | 112 |
| Figura 7.8. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Plaza de Cobro Tuxpam. Fuente:<br>Dirección General de Servicios Técnicos, SCT. ....                        | 113 |
| Figura 7.9. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Carretera Libre Coatzacoalcos –<br>Salina Cruz. Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT.....   | 114 |
| Figura 7.10. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Carretera de Cuota Salina Cruz<br>– La Ventosa. Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT. .... | 115 |

## Índice de Tablas.

| Tabla                                                                                                                 | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 2.1. Tabla de las características clave de los sistemas de cobro de peaje en la inclusión del factor daño. .... | 35   |
| Tabla 2.2. Factores relacionados al daño en el pavimento con el peaje .....                                           | 37   |
| Tabla 2.3. Características de los cobros de peaje en países europeos. ....                                            | 41   |
| Tabla 2.4. Ejemplo de estructura de peaje basado en la clase de vehículo en China. ....                               | 44   |
| Tabla 2.5. Límites de peso para peajes de camiones en China.....                                                      | 45   |
| Tabla 2.6. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje sencillo de los cuatro tramos. ...                          | 54   |
| Tabla 2.7. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje dual de los cuatro tramos.....                              | 56   |
| Tabla 2.8. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje tándem de los cuatro tramos.....                            | 57   |
| Tabla 2.9. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje tridem de los cuatro tramos. ....                           | 59   |
| Tabla 2.10. Tabla resumen del porcentaje de sobrecarga para los tramos seleccionados. ..                              | 60   |
| Tabla 3.1. Cuestionario para las concesionarias y operadores de carreteras. ....                                      | 66   |
| Tabla 4.1. Estructura de cobro histórica de las primeras autopistas de México.....                                    | 71   |
| Tabla 4.2. Estructura tarifaria actual empleada en las carreteras de cuota en México. ....                            | 73   |
| Tabla 4.3. Tabla de equivalencias en vehículos estándar para las tarifas promedio máximas.                            | 76   |
| Tabla 4.4. Tabla de rangos de sobrecarga para ejes de camión en porcentaje y toneladas. ....                          | 84   |
| Tabla 4.5. Tabla de rangos de sobrecarga para peso bruto vehicular de camión en porcentaje y toneladas .....          | 85   |
| Tabla 4.6. Tabla de ventajas y desventajas de la propuesta. ....                                                      | 86   |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 7.1. A1. Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino en ton. ....                                                  | 101 |
| Tabla 7.2. A2. Nomenclatura y características del camión unitario. ....                                                         | 102 |
| Tabla 7.3. A3 Nomenclatura y características del tractocamión articulado tipo "T-S". ....                                       | 102 |
| Tabla 7.4. A4. Nomenclatura del tractocamión articulado tipo "T-S-R".....                                                       | 103 |
| Tabla 7.5. A5. Ejemplo de formato de encuesta O-D para camiones en el estudio autopista<br>Monterrey-Nuevo Laredo .....         | 104 |
| Tabla 7.6. A6. Ejemplo de formato de preferencia declarada para camiones en el estudio<br>autopista Monterrey-Nuevo Laredo..... | 105 |

## 1. INTRODUCCIÓN

México es un país que utiliza las vías terrestres de comunicación para movilizar sus mercancías a nivel doméstico e internacional, el ferrocarril tiene un porcentaje muy bajo en la movilización de bienes hacia la población, por el contrario, las carreteras son el medio más utilizado para este movimiento dentro del país con más del 80% de toda la carga nacional. El autotransporte de carga es el encargado de llevar todos estos productos y bienes necesarios para el crecimiento económico del país debido a las necesidades que demanda cada sector de la población. En este contexto, Moreno (2004) menciona que en los años 90's en México acontecieron tres importantes cambios económicos que afectaron el auto transporte de carga de manera significativa, lo que tuvo como consecuencia el incremento del parque vehicular de estos tipos de camiones. Estos cambios fueron: la desregulación del autotransporte de carga y la intensidad del uso de la infraestructura carretera del país; el Tratado de Libre Comercio para América del Norte y la privatización de los ferrocarriles mexicanos.

Sobre este concepto, el incremento de los camiones de carga que usa las carreteras se ha venido practicando la actividad de sobrecargar estos vehículos rebasando el total de peso permitido máximo, que se hace cada vez más frecuente día con día por la alta necesidad de estar transportando bienes y mercancías en tiempos cortos y lo más rápido posible. Con esta acción de movilización pronta de mercancías, los transportistas se ven beneficiados económicamente porque obtienen una ganancia mayor en un menor tiempo, pero también hay que exponer, que el gran número de camiones sobre las carreteras es un causante del tráfico, en ocasiones hasta de provocar siniestros viales. Ahora bien, comentado anteriormente, para lograr estas ganancias, los transportistas recurren a llevar al máximo las capacidades de carga a sus camiones, provocando en muchas de las ocasiones el exceso de la carga permisible del vehículo y la disminución de la vida útil del pavimento. A este respecto, Kakan *et al.* (2014), dicen que la capacidad de servicio del pavimento puede caer prematuramente causando que este por debajo de los niveles aceptables y requiera de mantenimiento y rehabilitación frecuente, entonces para recuperar estos costos fuera de tiempo es necesario cuantificar el daño al pavimento atribuido por los camiones mediante un sistema de cobro con base

en el principio de que “el que daña, paga” tal y como está establecido, por ejemplo en la Unión Europea (Comisión Europea, 2001).

Las afectaciones en el pavimento por estos camiones se ven reflejadas con las malas condiciones de las carreteras del país, asimismo, el peso que ejercen los vehículos de carga acelera el proceso de fatiga del pavimento, según lo expone Romero *et al.* (2013). Debido a que los camiones son los principales actantes del daño al pavimento, las carreteras de cuota específicamente deberían tener contemplado estos daños a la infraestructura dentro del peaje que cobran a estos tipos de usuarios. A continuación, se enlistan algunos parámetros físicos que tienen una relación estrecha con el problema que se está tratando.

Los parámetros físicos seleccionados y que se relacionan con el daño al pavimento son:

- a) El peso bruto vehicular del camión, que no debe exceder el peso permitido por la norma mexicana NOM-012-SCT-2-2017 según sea la configuración del camión de carga; las configuraciones o los tipos de camiones más comunes y que se presentan comúnmente en las carreteras de México son el C2, C3, T3-S2, T3-S3, T3-S2-R4.
- b) El tipo de llanta y el inflado que tengan, el sobre inflado de las llantas repercute en una rigidez mayor en las llantas, acompañado de un incremento de las cargas que transmiten los vehículos en la superficie de rodamiento, por lo tanto, el área de contacto de las llantas dependerá de la presión o el inflado al que estén sujetas.
- c) La temperatura en la que se encuentra el pavimento influirá considerablemente, este factor es muy importante para carreteras de concreto asfáltico, porque este tipo de material es termosensible, lo que provoca que a una alta temperatura el pavimento se vuelve deformable, pero la repetición de cargas a una alta temperatura es lo que provoca la deformación permanente y otros daños a los que se encuentra propenso el pavimento (Romero *et al.*, 2013).
- d) El peso por eje también es un factor considerable, muy relacionado con el peso bruto vehicular, donde al final de cuenta el peso total del camión será transmitido hacia el eje de las llantas y a su vez, las llantas bajan el peso hacia el pavimento, donde se producen los daños a la estructura. Los camiones con menor número de ejes en el vehículo son los más propensos para provocar un mayor daño.

Algunas carreteras en México se encuentran sujetas a un sistema de cuota que instalan casetas de cobro en puntos determinados sobre la carretera donde se cobra una tarifa específica por circular. Con esto, se define que el peaje es la cuota relacionada con el uso de las instalaciones en la vialidad o carretera, que otorga el derecho de utilizar la infraestructura que se encuentre en ella y que, con el ingreso generado, poder dar mantenimiento y aumento de la capacidad; esperando, que a largo plazo pueda ser autosuficiente con el ingreso generado durante la operación que circule en estas redes carreteras (según lo define la Federal Highway Administration, FHWA por sus siglas en Inglés) (FHWA, 2016). Partiendo de la idea de quien cause el deterioro a la carretera debe pagar los costos de su uso, mantenimiento y conservación (TC, 2001), el costo del peaje para los camiones debe incluir el daño causado al pavimento, los factores deben tener una relación directa con el cobro que se hace en las casetas de cobro para que el dinero que ingrese sea destinado, entre otras cosas, para reparaciones futuras y el mantenimiento de la infraestructura. Esto es referido únicamente para el tema de las carreteras de cuota, pero aquellas que son libres de peaje no se encuentran fuera del problema, al contrario son las que se ven más involucradas por tener mayor longitud de carreteras, siendo en el caso de México el 80.55% de la red de carreteras pavimentadas; la diferencia entre estas dos es de que en una el ingreso es seguro y obviamente las libres de peaje dependen de otro tipo de ingresos para encontrarse en un buen estado, lo que se llega al tema de los tipos de concesiones.

### 1.1 Antecedentes.

Comenzando en los inicios de las carreteras de cuota en México, se observa que a consecuencia del inminente crecimiento de la Ciudad de México durante la década de los 50's en materia de vías de comunicación terrestre, surgieron obras para favorecer el crecimiento económico en diferentes regiones del país, y fue al término de la Segunda Guerra Mundial cuando se construyeron los primeros cuatro tramos de carretera con cuota de peaje en México. Las primeras dos construcciones de carreteras de cuota fueron inauguradas en el año de 1952; una carretera iba desde Amacuzac en Morelos hasta llegar a Iguala, Guerrero; la segunda, ubicada en la Ciudad de México hasta Cuernavaca. La construcción de estas dos carreteras estuvo a cargo de Compañía Constructora del Sur, S.A. de C.V., que en aquel entonces fue la antecesora de lo que se convirtió posteriormente en Caminos Federales de Ingresos S.A. de C.V., misma que se encargó de la

construcción de las otras dos carreteras de cuota en México, posteriores a las ya establecidas. Para el año de 1956, se comenzó a construir la carretera México – Querétaro bajo el sexenio de Adolfo Ruiz Cortines, misma que se inauguró dos años después, donde se instalaron dos casetas de cobro, una en Tepotzotlán y otra en Palmillas; siendo la última carretera dentro del sexenio de Adolfo Ruiz Cortines. Posteriormente, la cuarta carretera de cobro en el país comunicaba a la Ciudad de México con el Estado de Puebla, construida dentro del mandato del presidente en turno de aquel sexenio, Adolfo López Mateos (Contreras, 2012).

Después de la construcción de lo que serían las primeras carreteras de cuota en México en los años 50's el crecimiento continuó a lo que nos conduce a la situación de hoy en día en números que se refleja en el Manual Estadístico del Sector Transporte 2017, documento donde se estimó que, en México para ese año, el movimiento doméstico de carga en los modos que conforman el sistema de transporte nacional fue del orden de 642 millones de toneladas, y para el movimiento por carretera de este modo de transporte fue de 541 millones de toneladas, donde hubo un incremento del 0.9% respecto al año anterior, dando un 84% del movimiento domestico total (Martínez *et al.*, 2017). En la Figura 1.1 se observa la cantidad de kilómetros con que actualmente cuenta la red carretera de México; con un total de 393,471 kilómetros de longitud entre la red federal y la red de caminos rurales y alimentadores; de la cantidad total, solo el 12.8% representa únicamente a la red federal, 10.3% a la red federal libre de cuota y tan solo el 2.5% a las autopistas de cuota dando una cuenta de 9,818 kilómetros de longitud, según lo comunicó la Secretaria de Comunicaciones y Transportes a través de su 5to Informe de Labores (2017). Ahora bien, el último dato que se encontró sobre la cantidad de kilómetros de carreteras pavimentadas para el año 2014, muestra que la red nacional de carreteras alcanzó una longitud de 389,345 kilómetros; de los cuales, el 37.8% correspondió a las carreteras pavimentadas, y el 62.2% a los caminos sin pavimentar; la extensión de la red pavimentada fue de más de 147,172 kilómetros.

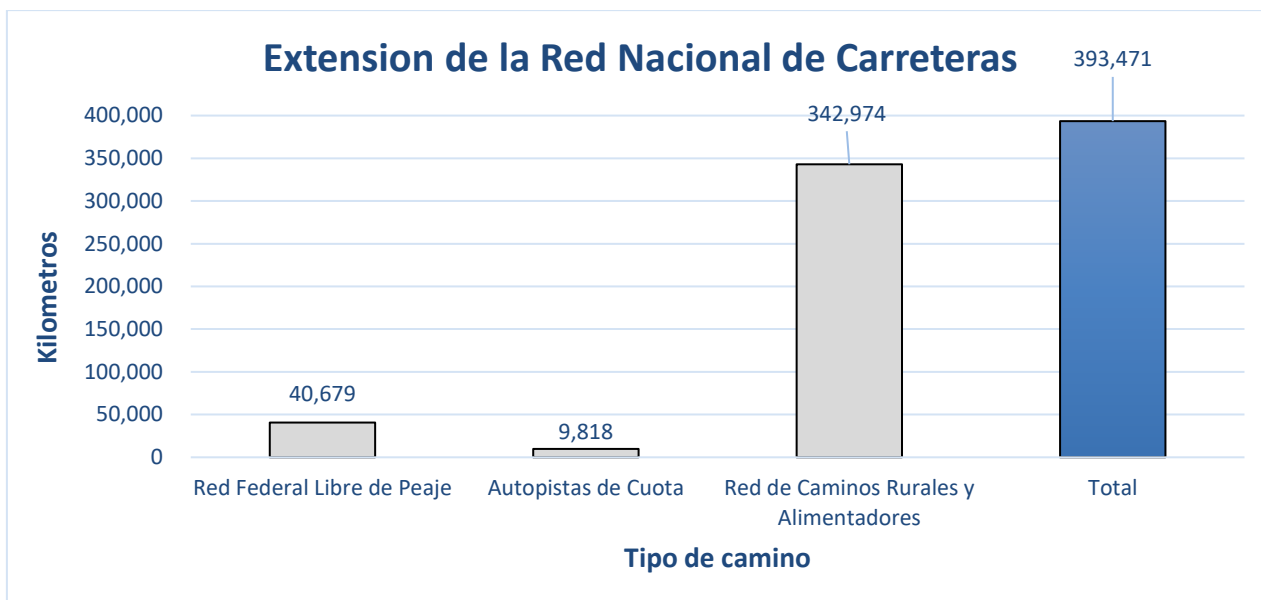


Figura 1.1 Extensión de la Red Nacional de Carreteras. **Fuente:** (SCT, 2017).

Dentro de este marco, las carreteras de la red federal se encuentran sujetas a un sistema de cuota, donde las concesionarias encargadas de operarlas y mantenerlas instalan casetas de cobro en puntos específicos para cobrar una cuota de peaje a cada tipo de vehículo que circule por esta vía de comunicación.

Precisando el concepto anterior desde la perspectiva nacional, Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE 2015), define el peaje como un “importe de la tarifa que paga el usuario en las casetas de cobro por transitar en caminos o puentes de cuota de esta red carretera”, que maneja y administra ese organismo público en México.

Puesto que la instalación de casetas de cobro en carreteras puede afectar diferentes aspectos durante y en los patrones de viaje, el conductor puede reducir el kilometraje de recorrido y cambiar el origen/destino de este, Gomez *et al.* (2015). En efecto, el conductor tiene la decisión de elegir la carretera por la cual transitar según el funcionamiento que tenga, si se encuentra en buenas condiciones la infraestructura e incluso si tiene casetas de peaje, las cuales, como un problema adicional, provocan congestión en el área de cobro a causa de todos los vehículos que circulan por la carretera (Pérez, 2018; Zhiyuan *et al.* (2014). Pero a consecuencia de que el transporte de carga utiliza de manera intensiva estas carreteras y en condiciones de sobrepeso, surge como

consecuencia el deterioro del pavimento, debido a diferentes aspectos de seguridad, así como económicos y de confort, (Harwood *et al.*, 2003).

Asimismo, se sabe que el peso que ejercen los vehículos de carga que circulan sobre la carretera, aceleran el proceso de fatiga y fractura del pavimento, según lo dice Romero *et al.* (2013). Algo semejante lo señala Shaopu *et al.* (2013), que la dinámica del vehículo juega un papel importante para el deterioro del pavimento, así como el cuerpo del vehículo, la suspensión, el frenado y los neumáticos; que son los que tienen la interacción directa con la superficie de rodamiento.

Por otra parte, para la estimación del peso de los vehículos dentro de la carretera, existen dos maneras de hacerlo: mediante pesadoras o básculas estáticas y dinámicas. De acuerdo con Hernández y Fabela (2004) el método de pesaje dinámico tiene una gran reducción en el costo de operación comparado con el método estático debido a que los vehículos se pesan en movimiento. Sin embargo, en el caso del método estático comentan que es poco eficaz para aplicarse a vehículos de grandes dimensiones, porque para realizar este procedimiento, el vehículo debe permanecer inmóvil sobre la plataforma de una báscula, mientras se mide su peso y sus dimensiones. Además, es necesario realizar cálculos adicionales para determinar la carga soportada por cada uno de los ejes que tenga el camión, lo que ocasiona que sea lento el proceso y por consiguiente, la magnitud del tránsito en carreteras importantes y las maniobras involucradas en la medición estática del peso afectaría el flujo vehicular. En cambio, las pesadoras dinámicas cuentan con una relativa inexactitud, tienen como objetivo dar una estimación aproximada relativamente aceptable sobre el peso real del vehículo.

Desde la década de los 70's se comenzó a implementar en Alemania un proceso sistemático de pesaje de vehículos en movimiento como parte de investigaciones referentes a la construcción de carreteras. Lo que llegó a desarrollarse después en un sistema llamado *Weigh-In-Motion* o pesaje dinámico de vehículos, que se puede definir como la acción de estimar el peso bruto del vehículo y una parte del peso que es soportado por cada rueda, eje o grupo de ejes, cuando éste transita a una velocidad determinada sobre la carretera, mediante el análisis de las fuerzas que se presentan a través de las llantas y el contacto con el pavimento como lo explica Hernández y Fabela

(2004), esto con el propósito de reducir el peligro en las carreteras que ocasionan los transportes de carga excediendo su peso máximo.

Asimismo, Morales y Steenbergen (2014) utilizaron este sistema en Holanda, aprovechando sus beneficios, siendo el más importante la determinación del daño que ocasiona el peso excesivo de los vehículos, mediante mediciones en modelos estáticos y dinámicos, clasificándolos como sistemas de baja velocidad y alta velocidad dentro del mismo sistema *Weigh-In-Motion*. Al mismo tiempo, en Francia, Schmidt *et al.* (2016) realizó una investigación de los vehículos pesados con sus respectivas dimensiones implementando este tipo de sistema, donde se tuvieron resultados favorables para su regularización, además de monitorear y controlar las sobrecargas que se transmiten al pavimento. Con lo que coincide Jacob y Feypell-de La Beaumelle (2010), en que este sistema es una herramienta útil que ayuda al cumplimiento de límite de peso en los transportes de carga en carretera; funcionando de buena manera durante casi dos décadas, dando como resultado, la reducción de camiones sobrecargados acompañado de un número menor de siniestros en la carretera. De la misma manera, en Estados Unidos ha habido un crecimiento notable en el número de camiones con exceso de peso que viajan en las carreteras dando como resultado que el sistema de infraestructura de transporte se deteriore a un ritmo acelerado, en algunos casos se les permite transitar a los camiones con exceso de peso de manera controlada, debido a algún tipo de permiso donde operan sin riesgo de alguna penalización, esto con ayuda del sistema *Weight In Motion* que permite identificar la configuración de ejes y pesos para cada uno de ellos y conteo de tráfico, (Fiorillo y Ghosn., 2014).

Con el tema de la sobrecarga existente de los vehículos que circulan por las carreteras en México, el peso máximo legal de carga permitido en las carreteras federales esta decretado por la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, la cual determina, entre otras cosas, los pesos máximos por eje y el peso bruto vehicular máximo (PBV) que pueden circular en la red carretera según la configuración del vehículo que participe (Tabla A1, Anexos). De todas las configuraciones posibles, hay cinco vehículos de carga que poseen una mayor presencia en las carreteras, se contemplan los camiones tipo C2, C3, T3-S2, T3-S3 y T3-S2-R4, destacando que la configuración del vehículo T3-S2-R4 es el más pesado con un peso bruto máximo vehicular de 66.5 toneladas y el vehículo que tiene mayor peso por eje es el tipo T3-S3 con 26.50 toneladas para un eje tridem en

carreteras con las mayores especificaciones del tipo ET4, ET2, A4 y A2 para ambos casos. Finalmente, Betanzo y Romero (2010) señalan que los camiones de carga ingresan a las zonas urbanas para dejar una parte de sus mercancías que transportan, generando impactos ambientales y sociales en estas zonas donde interactúan con la población y los pavimentos no están del todo diseñados para soportar esa cantidad de peso.

Por otra parte, Gomez y Vasallo (2015) identifican una variable representativa para la consecuencia de estas acciones, el producto interno bruto (PIB) y mencionan que a mayor producción y movimiento de mercancías en el país que se mueven a través de la red carretera, se provoca un aumento en el transito del transporte de carga con las mercancías viajando de un lugar a otro, por consecuencia concediendo un crecimiento del PIB en el país.

En este trabajo se mencionarán los parámetros que influyen en la vida útil de la carretera, dañándola y reduciendo el tiempo para el que fue diseñada debido a los diversos factores que ya se mencionaron. Por consiguiente, considerar algunos parámetros para la determinación del peaje en las casetas de cobro es muy importante, junto con las características de la carretera, para conseguir una cuota equilibrada y justa para todos los usuarios que transiten por ella, así como para los concesionarios de estas vías de comunicación.

Este tipo de situación ya se había trabajado anteriormente por Rico *et al.* (1995) en un trabajo hecho por el Instituto Mexicano de Transporte mediante una propuesta para establecer una cuota optima en las autopistas tomando en cuenta criterios como la búsqueda de hacer máximos los ingresos generados en la autopista para aquellos que estén dispuestos a pagar esa tarifa, ya que si es demasiado cara existirá la posibilidad que el transito se desvíe hacia las rutas alternas, en este caso hacia las rutas libres de cuota. Además, otro criterio analizado fue de establecer una cuota ideal con un nivel de costos financieros, administrativos, operativos y de conservación produciendo el costo de transporte mínimo y obteniendo una disminución de éste con el buen estado de la carretera. De modo similar, dentro del documento se trata de proponer una relación entre la tarifa que deberá pagar cada tipo de vehículo y la tarifa de un determinado vehículo patrón; esta relación puede definirse en términos de dos aspectos diferentes; el primero, con alguna característica que permita diversificar el cobro que a cada tipo de vehículo se le haga de una manera justa para el usuario y al mismo tiempo que tenga un beneficio para el transporte nacional y relacionado con los intereses del

concesionario. El segundo y más interesante, es el daño que ejerza cada tipo de vehículo hacia la infraestructura, que estará relacionado con el costo de mantenimiento. Después de ese antecedente del año 1995, no ha habido grandes avances en la consideración del daño que producen los camiones de carga.

## 1.2 Descripción del Problema.

El movimiento de mercancías en México se efectúa por medio de las vías terrestres, siendo el ferrocarril y el transporte de carga los que mueven más del 90% de la carga doméstica dentro del país, Martínez *et al.* (2017). Por esta razón, los transportes de carga utilizan de manera intensiva las carreteras debido a la alta necesidad de estar transportando bienes y mercancías en tiempos cortos y rápidos, dando como consecuencia, el tránsito afluente de este tipo de transporte en las autopistas, y para lograrlo recurren a llevar al máximo de las capacidades de sus camiones, provocando con esto a exceder la carga permisible para este vehículo logrando acelerar la fatiga del pavimento ocasionando afectaciones en la carretera y disminuyendo así la vida útil.

Los factores que más interactúan e influyen para ocasionar este problema son: el tipo de llanta, teniendo una relación muy marcada en el inflado de las mismas que produce una mayor rigidez en las llantas y aumento de las cargas dinámicas aplicadas por los vehículos sobre el pavimento. También, la temperatura del pavimento asfáltico es otro factor importante que se debe considerar, sabiendo que a altas temperaturas, la deformación del pavimento puede ser del doble o triple a comparación con las condiciones que presenta un pavimento en estado frío; añadiendo a estos parámetros, se menciona que la velocidad del vehículo de igual forma causa un deterioro menor si se viaja a una velocidad alta en un camino en buenas condiciones; caso contrario que cuando el vehículo viaja a una baja velocidad (Lozano *et al.*, 1999).

Por ello, el análisis de estos factores que están involucrados en el deterioro del pavimento a causa de los transportes de carga como: el peso bruto del vehículo, llantas y el inflado, el peso por eje y la temperatura del pavimento serán de vital importancia en la inclusión de una tarifa de peaje justa para una política de “el que daña, paga”. El daño a la infraestructura del pavimento es un problema serio que actualmente es recurrente en todas las carreteras del país, las autopistas de cuota tienen un ingreso de donde solventar estos daños, pero las carreteras que no cuenta con un sistema

de peaje de igual forma se encuentran inmersas en este problema, tratando de solucionar estos inconvenientes con otra forma de concesión.

### 1.3 Justificación

Como lo mencionan Ahmed *et al.* (2013), la presencia de los vehículos de carga en el flujo vehicular impacta significativamente las operaciones de las carreteras debido a su gran tamaño de dimensiones, ocasionando una capacidad de operación inferior de los demás vehículos, como la aceleración y desaceleración en carretera.

Debido a esto, Pais *et al.* (2013) dicen que los vehículos ligeros tienen una mayor frecuencia a comparación con los vehículos de carga en la carretera, pero el daño al pavimento es más significativo a causa de éstos últimos y acelera el deterioro provocando reparaciones y mantenimientos antes de lo previsto. El daño causado por el tránsito de vehículos pesados de carga como de pasajeros es el resultado de factores y condiciones de operación, que tienen una relación con el pavimento, el vehículo, el medio ambiente y el tráfico. Las cuotas de peaje tienen sus raíces desde un análisis económico-financiero; estas empresas que administrarán la carretera lo que buscan es generar el mayor ingreso posible durante el tiempo que dure la concesión otorgada, dejando de lado la seguridad del usuario y de la infraestructura. Durante todo este periodo, el dinero que ingresa debe ser utilizado para tener en óptimas condiciones la carretera y desafortunadamente no es así. Estas carreteras de cuota son vistas más como un modelo de negocio donde el interés primordial es centrar los ingresos en un solo grupo de inversionistas (Barousse, 2017).

Entonces, visto de esta forma, la situación de sobrecarga en las carreteras en México es más frecuente cada día y las afectaciones a la infraestructura son notorias. En esta perspectiva, se encuentra la necesidad de conocer las metodologías que se han desarrollado a nivel internacional y a su vez los elementos que están involucrados en la conformación de una tarifa de peaje en las concesionarias de México, de esta manera se tendrían que contemplar algunos de los factores que afectan directamente al pavimento por los camiones de carga y dentro de esta figura, las cuotas de peaje se deben ver reflejadas tarifas equivalentes para este daño causado por vehículo.

#### 1.4 Hipótesis.

En México, en las tarifas de peaje en las carreteras no se incluye algún factor que incorpore el daño a la infraestructura y las tarifas para camiones no son las adecuadas para retribuir los deterioros ocasionados cuando circulan sobrecargados.

#### 1.5 Objetivo General

Demostrar si las operadoras de carreteras de cuota en México introducen dentro del cálculo del peaje algún factor de daño hacia la infraestructura, y en caso negativo explicar las razones técnicas, económicas o de otra índole por las que incurren en tal práctica; y realizar una propuesta basada en una combinación de métodos para adecuarla en México incorporando consideraciones sobre el daño en la tarifa de peaje contemplando todos los ámbitos donde pueda repercutir la propuesta.

#### 1.6 Alcances de la investigación.

Dentro de los alcances que tiene esta investigación, se comienza por delimitar la zona de trabajo de campo, las concesionarias investigadas se agrupan en la parte centro del país, esto debido a que no se encuentran los recursos disponibles para trabajar con las concesionarias de otras partes lejanas del país, por esto aquellas que deseen participar serán con las que se tomen en cuenta.

Los parámetros físicos que son considerados en la relación vehículo - infraestructura durante la investigación no tendrán análisis de modelación o simulación, de experimentación ni se obtendrán datos en campo a través de ellos, únicamente serán revisados de manera literaria para conocer la influencia que tiene en el daño al pavimento a través de la información recopilada de estudios realizados.

La propuesta que se obtendrá al final de la investigación pretende ser completa en todos los ámbitos posibles, de manera que pueda ser sustentada de una forma confiable. En cuestión de aplicarla, ya correspondería a las concesionarias, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes y de más organismos que estén involucrados en el tema; la propuesta es el primer paso para demostrar la importancia del tema y de comenzar a poner manos en obra sobre cobrar por una tarifa justa para camiones basada en el peso del vehículo.

## 2. ESTADO DEL ARTE

La interacción de los vehículos pesados en el pavimento ha tenido vital importancia en las carreteras al paso del tiempo, por lo tanto, surgen consecuencias que involucran el daño de los pavimentos causantes de diferentes aspectos en el transporte de personas y bienes, como lo expresa Harwood *et al.* (2003). La principal vía de comunicación que se utiliza en el país de México son las carreteras y por donde más se mueve el tráfico de mercancías para la población. Dentro de esta red carretera se pueden encontrar carreteras libres y de cuota, aquellas que cuentan con sistema de peaje son las que se dará importancia, quedando fuera del alcance las carreteras libres de cuota de manera general. Con respecto a esto, existen parámetros que deben influir para la determinación de los niveles de peaje en las casetas de cobro; los cuales, para fines de este trabajo, se consideran dos grupos: parámetros físicos y parámetros económicos - financieros; de los cuales podemos mencionar que los parámetros físicos como: peso bruto vehicular, llantas del vehículo, temperatura de la carretera, velocidad del vehículo y el peso por eje; por mencionar los más importantes. Y en los aspectos económicos financieros, se puede hablar acerca de análisis de sensibilidad tarifaria, encuestas origen-destino, pronóstico de aforos e ingresos, flujos vehiculares, tarifas de mercado, entre otras; estos dos tipos de parámetros se deben complementar para formar una tarifa de peaje integral y adecuada para los usuarios de las carreteras, en especial para los de camiones unitarios y articulados.

Moreno (2004) dice que la carga es el factor más básico e importante en el problema del sobrepeso en el vehículo, los camiones cuentan con una capacidad de tonelaje como de volumen especificada en el reglamento de pesos y dimensiones de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, pero los transportistas pasan por alto este reglamento y cargan la unidad hasta donde las capacidades permitan sin importar la violación a la NOM-012-SCT-2-2017.

A causa de esto, Rong-xia *et al.* (2015) interpretan que los sistemas de transporte de carga han acelerado el deterioro de las carreteras en los últimos años. Para reducir los daños causados por los vehículos, el estudio de las cargas dinámicas que ejercen y la respuesta que tiene el pavimento se ha convertido en un importante interés para los constructores de autopistas, especialmente en

relación con el impacto de diferentes tipos de vehículos, sistemas de suspensión, velocidad, rugosidad de la carretera y parámetros de la estructura del pavimento.

Como una de las medidas que se han implementado para lograr tener un control con respecto a las dimensiones y los pesos de los vehículos de carga que circulan sobre la carretera, existen las llamadas pesadoras de vehículos que se dividen en dos tipos: pesadoras estáticas y pesadoras dinámicas. Estas pesadoras dinámicas son mejor conocidas por su nombre en inglés como dispositivos *Weight-In-Motion*. Este sistema como tal, es un conjunto de sensores e instrumentos de soporte que miden bajo la presencia de un vehículo en movimiento y las fuerzas dinámicas de las llantas sobre lugares específicos con respecto al tiempo para poder estimar la carga de las llantas, calcular la velocidad, la distancia entre los ejes, la clase de vehículo de acuerdo al arreglo de los ejes y otros parámetros relacionados al vehículo; así pues, procesar, visualizar, guardar y transmitir esta información obtenida a un dispositivo que se encuentre a un costado de la carretera, ASTM E 1318 (2002). Por lo tanto, este tipo de sistema *Weight-In-Motion* es un proceso mediante el cual se estima el peso bruto vehicular de un vehículo en movimiento y la parte de ese peso que soporta cada llanta, eje o grupos de ejes o combinación de estos, esto por medio de mediciones y análisis de fuerzas dinámicas de las llantas del vehículo, para que esta acción suceda, se debe obligar al vehículo pasar por encima del dispositivo colocado sobre su trayectoria, bajo la definición de la norma ASTM E 1318 (2002). En este mismo contexto, Dawid *et al.* (2015) indican que el porcentaje de vehículos excedidos de carga se puede regular, controlar y por tanto reducir, mediante la implementación de los sistemas *Weight-In-Motion*, identificando si el vehículo que ha excedido el peso máximo permitido por esta carretera que transita. De la misma manera, Schmidt *et al.* (2016) dicen que estos tipos de sistemas *Weight-In-Motion*, siempre están abiertos a nuevas investigaciones y requieren un desarrollo; pueden utilizarse en tramos de la carretera o en los puentes existentes, pero es importante utilizar este tipo de aplicación en las carreteras para aumentar la vida útil de la infraestructura carretera. Siguiendo con esta idea, Nichols y Cetin (2015) expresan que las estaciones *Weight-In-Motion* son utilizadas por las agencias de transporte para recolectar datos con respecto a las dimensiones y pesos del vehículo, sin afectar la velocidad a la que viaja; para mantener un alto nivel de precisión en estos sistemas, los sensores deben estar debidamente calibrados de forma rutinaria y tener un seguimiento regular a través de las visitas en el sitio de información.

En consecuencia, Romero *et al.* (2006) mencionan la implementación de una caseta de cobro inteligente (*Intelligent Toll Station*), donde toma en consideración diferentes elementos: la carretera, los dispositivos de pesaje en movimiento (*Weight In Motion*), un soporte lógico (*software*), casetas de cobro y la identificación/verificación del vehículo.

Una vez explicado este tipo de sistema de pesaje en movimiento, ahora se comienza a hablar de los parámetros físicos, ya antes indicados, las características de cada uno de los elementos relacionados con los vehículos que deterioran el pavimento.

## 2.1 Parámetros físicos

Los parámetros que se están tomando en cuenta para la evaluación del deterioro de la carretera tienen una relación estrecha que perjudica directamente a la superficie de rodamiento; cada parámetro con sus particularidades específicas terminará reduciendo la vida útil del pavimento. A continuación, se enumeran los parámetros elegidos con los respectivos daños al pavimento.

### 2.1.1 Llantas del vehículo y el inflado.

Un factor de gran importancia en estos parámetros perjudiciales al pavimento son las llantas del vehículo, éstas serán las encargadas de transmitir la carga hacia la superficie de rodamiento. Como una de las alternativas que hacen los operadores de camiones con la carga excesiva que llevan en su vehículo, aumentan la presión de inflado de los neumáticos para reducir el desgaste natural de las llantas mientras que con esto logran incrementar la vida útil de los neumáticos, Arshad *et al.* (2016). Los parámetros que intervienen en el deterioro del pavimento tienen una relación muy estrecha y cada uno de ellos, con sus características propias, lo terminan afectando. El parámetro que tiene más influencia en la interacción vehículo-pavimento son: las llantas. Una práctica muy común entre los conductores de camiones es el sobre inflar las llantas de su vehículo, con ello, el manejo en carretera se hace más sencillo y el costo de combustible disminuye, pero al mismo tiempo, produce condiciones ásperas de vibración en la conducción,

Lozano *et al.* (1999). Al mismo tiempo, también comenta que el tipo de llanta afecta la respuesta del vehículo en el pavimento; una llanta radial presenta un mayor amortiguamiento con respecto a una llanta de costados rígidos. Y el sobre inflado de las llantas repercute en una rigidez mayor en ellas acompañado de un incremento de las cargas que transmiten los vehículos en la superficie de rodamiento. De acuerdo con lo que dice Sebaaly y Tabatabaee (1992), la magnitud y la frecuencia de carga que se transmita a las llantas hacia la superficie de pavimento puede influir en el área de contacto de la llanta y la presión de contacto de ésta. Siguiendo en esta idea, también encontraron que el área de contacto de las llantas dependerá de la presión o el inflado al que estén sujetas, así como también de la estructura o tipo de llanta, que tiene una relación directa con la deformación que se presenta en la parte inferior de la capa de asfalto. La relación entre la llanta y el pavimento se asume que es un área de contacto circular; el área que toca la llanta y la presión de inflado de las llantas se determina con la ecuación 1 que se encuentra enseguida:

$$p = \frac{P}{a^2 \pi} \dots\dots\dots (1)$$

Donde  $p$  = presión de la llanta (kPa).

$P$  = es la carga total de la llanta (kN).

$a$  = radio de contacto (m).

Del mismo modo, Guo & Wang (2016), consideran que el esfuerzo del contacto entre el pavimento y la llanta se distribuye uniformemente sobre un área circular e igual a la presión de inflado de los neumáticos. Este modelo tradicional del neumático lo expresan en la ecuación 2, donde:

$$D = 2 \times 1000 \times \sqrt{\frac{TL}{TP \cdot \pi}} \dots\dots\dots (2)$$

$D$  = diámetro del área de contacto circular entre el pavimento y llanta en mm,

$TL$  = carga que recibe la llanta (kN)

Presión de inflado de la llanta (kPa); se expresa de esta manera.

El modelo es utilizado en el diseño y análisis de pavimentos flexibles debido a que no es tan complejo, es simple y la velocidad del cálculo es rápida.

Romero *et al.* (2013) presenta una simulación sobre los daños ocasionados por un camión de carga de dos ejes tipo C2 con tracción trasera en un pavimento flexible, dentro de ésta, se evalúan las llantas del vehículo, en donde se observa que cada una de ellas producen un daño potencial diferente con base a la energía acumulada que ellas ejercen hacia el pavimento. Las llantas producen una mayor fuerza longitudinal durante la aceleración y el frenado del vehículo, por lo tanto, un daño potencial significativo al momento de realizar esta acción. En la Figura 2.1 se muestran los resultados obtenidos de cada una de las llantas del camión evaluadas dentro de esa investigación.

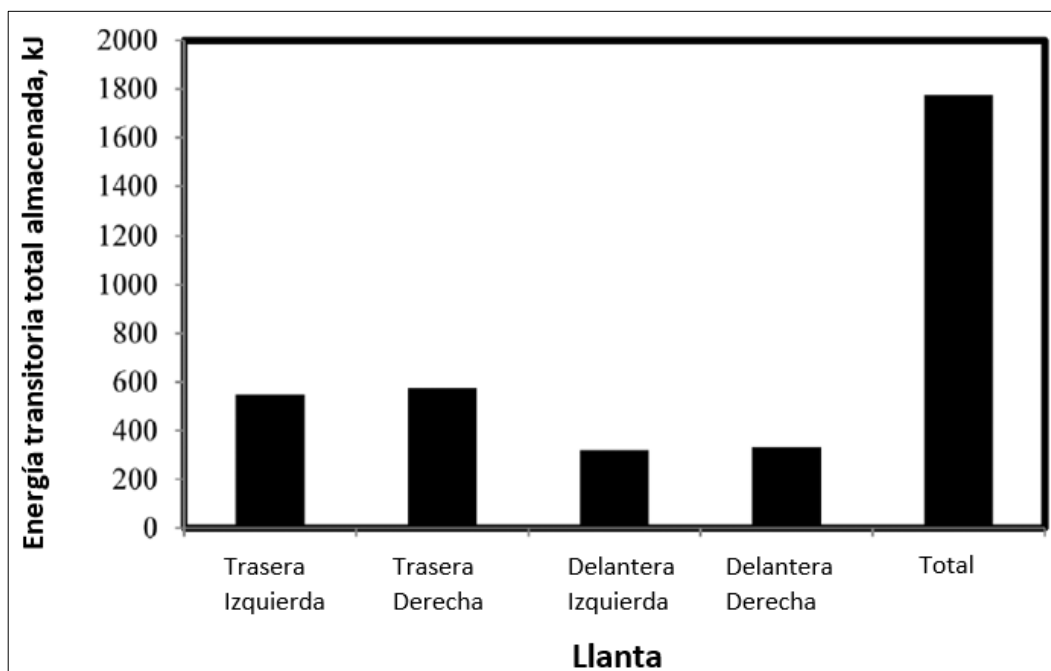


Figura 2.1. Comparación de la energía total almacenada para cada una de las llantas y el camión completo. Romero J. A. *et al.* (2013).

Una vez evaluadas cada una de las llantas, los resultados sugieren que las ruedas traseras representan cerca del 65% del daño total del camión, dejando una menor cantidad de daño para las ruedas delanteras. La energía total almacenada de las llantas es medida en kilo joule (KJ) como se muestra en la Figura 2.1, sujeto a una cierta temperatura.

### 2.1.2 Temperatura del pavimento.

Mientras tanto, otro factor o parámetro que sin duda alguna afecta de manera sustancial al pavimento es la temperatura de la superficie de rodamiento; del mismo modo Romero *et al.* (2013) analiza este factor mediante una simulación, la misma con la que evaluó las llantas del camión, ya antes mencionada. Las energías de deformación del pavimento se calcularon para diferentes temperaturas dentro de un rango de 10 a 40 °C y en los resultados se observó, que la energía total almacenada incrementa sustancialmente con el aumento de la temperatura, cerca del 1250%, con la temperatura más baja y la más alta. Lo que da como resultado que existe una relación exponencial de la deformación del pavimento y la energía total que este almacena. En la Figura 2.2, se observa el incremento de la deformación de la superficie de rodamiento, del cual ya se hizo mención.

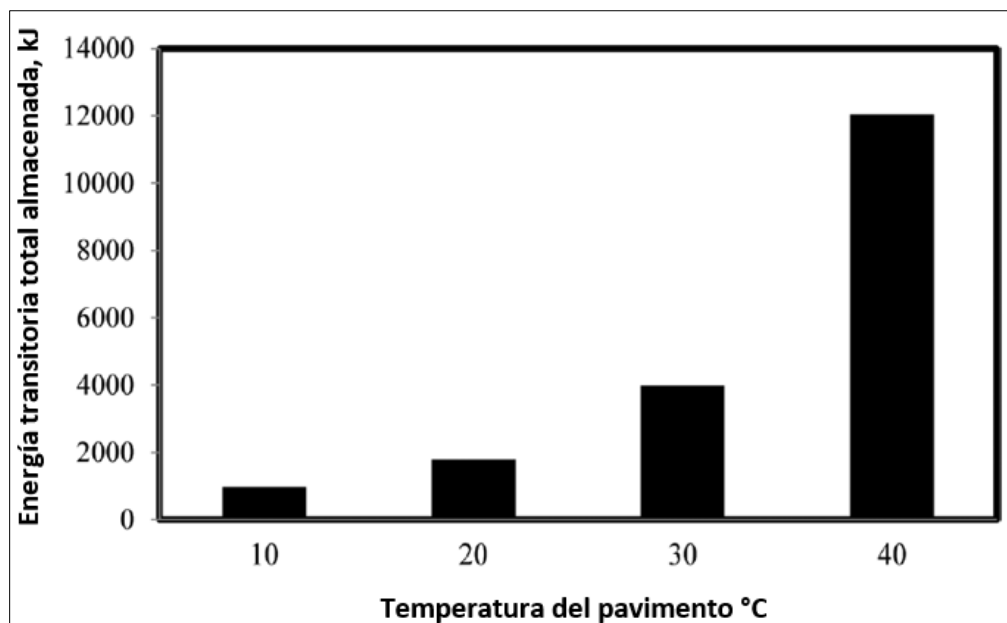


Figura 2.2. Variaciones de la energía total almacenada con la temperatura del pavimento. Romero J. A. *et al.* (2013)

Una situación desfavorable para el pavimento se ve presente al momento que circula un vehículo de carga a baja velocidad sobre un pavimento asfáltico a alta temperatura, esto en las horas donde la exposición del sol es mayor, esto representa una condición especialmente perjudicial para

este tipo pavimento, según lo expresan Al-Qadi *et al.* (2011). Aunque, por otra parte, Xue *et al.* (2016) dicen que los pavimentos deben estar diseñados principalmente para soportar el tráfico sin exhibir fallas durante su vida de diseño, a pesar de presentar en las carreteras un aumento en el ancho de los neumáticos de los camiones para lograr transportar cargas sobredimensionadas. Ahora bien, Qiu *et al.* (2015) expresa que la interacción de estos parámetros tiene su campo de acción en la superficie de rodamiento de la carretera. Con esto, comenta que los pavimentos pueden ser clasificados en tres tipos: pavimentos rígidos, pavimentos flexibles, pavimentos compuestos.

Así como lo explica Luo (2005) los pavimentos rígidos son aquellos que tienen como base de construcción losas de concreto hidráulico; los pavimentos compuestos combinan dentro de su estructura superior una capa de material asfáltico sobre otra de concreto hidráulico; y para los pavimentos flexibles, son aquellos que consisten en una carpeta de concreto asfáltico en su superficie la cual se encuentra sobre capas de material granular. Prestando atención al pavimento asfáltico, Yanqing *et al.* (2012) menciona que un pavimento de asfalto generalmente consta de tres capas: mezcla asfáltica en caliente sobre un suelo de base granular unido con la capa subrasante, a causa de esto señala, que existen dos tipos de deterioro en el pavimento, el desgaste por fatiga y las deformaciones permanentes. Este tipo de pavimento es el objeto de estudio donde se analizan los parámetros que causan el deterioro del pavimento. El tráfico representa un parámetro fundamental utilizado en el análisis y diseño de estructuras de pavimento, Fuentes *et al.* (2012).

### 2.1.3 Rugosidad del pavimento.

Tratando el tema de pavimentos flexibles, existe un elemento que tiene que ser considerado; se trata de la rugosidad de la superficie del pavimento flexible. La rugosidad de un pavimento se define como el nivel de irregularidades que genera longitudes de onda en un espacio que va de los 0.5 m a los 50 m que involucra variaciones en la superficie, según la *Permanent International Association of Road Congresses* (PIARC, 1987).

A partir de esta rugosidad del pavimento, se busca estandarizar y unificar el valor de la regularidad superficial, para esto, en el año de 1986, el Banco Mundial propuso el Índice

Internacional de Rugosidad (IIR), mejor conocido como IRI (*International Roughness Index*), es un valor estadístico de la rugosidad que sirve como el parámetro de referencia en la medición de la superficie de rodamiento de un camino, Arriaga *et al.* (1998). Este valor, tiene su origen en un modelo matemático denominado cuarto de carro normalizado (Golden Quarter Car) que circula a una velocidad de 80 km/h. También, expresa que este índice se obtiene a partir de la acumulación del desplazamiento relativo entre las masas de la carrocería y la suspensión del modelo, mientras el vehículo viaja por el perfil del camino en estudio.

Ahora bien, el cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad se basa en la acumulación de desplazamientos, de la masa superior con respecto a la masa inferior, que se mide en milímetros, metros o pulgadas y de un modelo de vehículo, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino, las unidades pueden ser en m, km, o millas: que se origina por los movimientos al vehículo, cuando viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI resulta entonces, como una medición de la respuesta que el vehículo presenta estando sujeto a las condiciones de un camino y se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi. El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado varia de 0 a 12 m/km, donde el valor de 0, representa una superficie perfectamente uniforme y el valor de 12 un camino no transitable, Orozco *et al.* (2004). En la siguiente Figura 2.3, se muestra la representación gráfica del modelo Cuarto de Carro Normalizado al igual que los elementos que la integran: una rueda representada por un resorte vertical; la masa del eje, la cual es soportada por la llanta; un resorte de la suspensión, un amortiguador y la masa del vehículo soportada por la suspensión de la rueda, Romero y Lozano (1995).

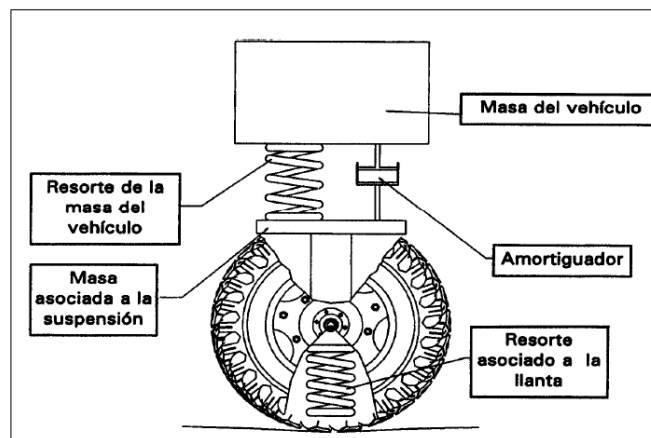


Figura 2.3. Representación gráfica del Modelo Cuarto de Carro Normalizado. Romero J. A. (1996).

#### 2.1.4 Velocidad vehicular.

La velocidad en carretera ha sido identificada como uno de los contribuyentes más importantes a las afectaciones causadas por el tránsito. La velocidad juega un papel importante en dos puntos de vista, en el aspecto de daño al pavimento y en la causa de siniestros que se presentan en las carreteras, por ejemplo, el número de víctimas mortales y accidentes de tránsito está aumentando debido a la alta velocidad con la que se circula. El límite de velocidad del vehículo de carga es menor al de los vehículos de pasajeros debido a la dificultad para los conductores de maniobrar con seguridad el vehículo pesado a alta una velocidad trayendo una consecuencia de un mayor impacto durante un choque, Abdullah *et al.* (2011).

### 2.2 Contexto internacional.

#### 2.2.1 Estados Unidos.

Los sistemas de cobro de peaje tienen una relación en cuanto a la forma de fijar los precios de las carreteras de cuota, tienen sus variaciones dependiendo los países en donde se implementen y las políticas que buscan aplicar los gobiernos en cuanto al tema de las carreteras. Holguín-Veras *et al.*, (2006) realizaron un análisis comparativo de la política de los peajes en Estados Unidos, centrando el objetivo general de la investigación por medio del análisis de los datos de los peajes y la información sobre los factores que los afectan; y como objetivo particular el de evaluar si los peajes por tipo de vehículo son apropiados y consistentes con la teoría económica por medio de indicadores aproximados sobre el espacio vial y el deterioro del pavimento que tiene la autopista, así de esta manera verificar si los valores de las cuotas de peajes son apropiadas desde un punto de vista económico. El análisis de estos datos se realizó en las 334 instalaciones de peaje registradas hasta el año 2006 contabilizando puentes, autopistas y túneles, divididas en 5 regiones: Oeste, Medio Oeste, Suroeste, Sureste y Noreste (esta región con el 49.4% del total de las instalaciones de peaje). Un tema que se identificó fue si los peajes relativamente altos que pagan los vehículos comerciales más grandes se deben al deterioro del pavimento que producen estos; para ello decidieron usar

factores de equivalencia de carga como indicadores de la cantidad de daño que produce una carga por eje dada con respecto a una carga normal por eje, y las cargas útiles promedio para los diferentes tipos de vehículo. Estos factores de carga aumentan con el tamaño del vehículo de la misma manera que los coeficientes específicos del vehículo, aunque en diferentes proporciones. Con esto, parece indicar que las instalaciones de peaje están factorizando de alguna manera el deterioro del pavimento en sus cálculos de peaje. Ahora bien, parte de los resultados arrojados por la investigación resaltan que los peajes para los vehículos comerciales grandes (semirremolques y vehículos largos) parecen ser desproporcionadamente más altos que los peajes para vehículos de pasajeros con respecto al espacio ocupado en el carril y en el deterioro del pavimento.

#### *2.2.2 Caseta de cobro Inteligente.*

Es una propuesta de sistema desarrollada por Jose Antonio Romero, Alejandro Lozano y Eduardo Betanzo Quezada que representa sus ventajas y desventajas, como todo proyecto. Una de ellas es la incorporación a un sistema más equitativos para el cálculo del monto de las cuotas que estén en función del efecto de los vehículos sobre el pavimento; por el contrario, la desventaja de este sistema es el costo del tiempo que se invierte para el pago de este servicio, además de provocar una concentración de la contaminación en el sitio de la caseta. Los elementos esenciales de esta caseta son: 1) camino hacia la caseta, 2) un sistema de pesaje en movimiento, 3) soporte lógico (*software*), 4) sistema de identificación del vehículo, 5) y un sistema de comunicaciones. En la Figura 2.4 se ilustran los componentes de la caseta de cobro inteligente.

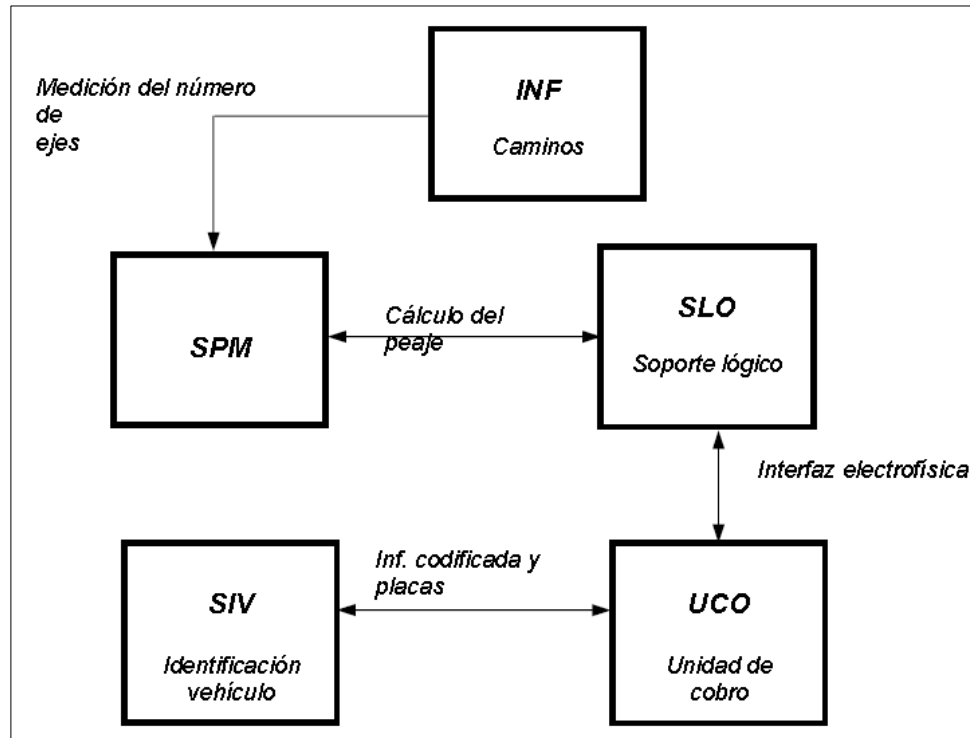


Figura 2.4. Diagrama de bloques del sistema Caseta de Cobro Inteligente. Romero J.A. *et al.* (2006).

### 2.2.3 Sistemas relacionados con el daño a pavimento.

Los principales parámetros que determinan una tarifa de peaje que eligen la mayoría de los países que fueron considerados para este marco internacional, coinciden con los que se enumeran a continuación, algunos añaden a estos parámetros otros que consideran que son un elemento no excluyente y que debe ser incluido. Por ejemplo:

- El número de ejes.
- El máximo peso permisible para el vehículo (peso bruto vehicular).
- La distancia recorrida.

Para demostrarlo, a continuación, se muestra en la Tabla 1 la descripción de la parte metodológica en los países incluidos en la investigación; la primer columna es la fecha de implementación del sistema que manejan los países; enseguida, los parámetros que se contemplan

en el cobro de peaje, la siguiente es la descripción del sistema o las herramientas auxiliares que utilizan para el cobro, siguiendo con la otra columna, se describe en qué tipo de carreteras se implementan estos sistemas; en la penúltima columna es donde especifica a partir de qué tipo de vehículos aplica el cobro (peso del vehículo) y la última, describe el método de pago que se emplea en los sistemas.

Tabla 2.1. Tabla de las características clave de los sistemas de cobro de peaje en la inclusión del factor daño.

| <b>País</b>                                                                                 | <b>Fecha de Implementación</b> | <b>Parámetros de cobro</b>                                                                                           | <b>Descripción del sistema</b>                                                                                                                                     | <b>Cobertura de red</b>                           | <b>Vehículos que pagan.</b>                                                              | <b>Método de pago.</b>                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Nueva Zelanda                                                                               | 1 Abril de 1978                | Distancia recorrida, número y espacio entre los ejes, número de llantas, máximo peso permitido de vehículo de carga. | Hubodómetro mide la distancia recorrida, licencia de distancia comprada.                                                                                           | Todas las carreteras públicas.                    | Todos los vehículos de carga mayores a un peso de 3.5 toneladas de peso bruto vehicular. | Prepago en las oficinas. Licencias compradas para múltiplos de 1000 km. |
| Alemania, Países Bajos, Bélgica, Luxemburgo, Dinamarca + Suecia “ <i>The Eurovignette</i> ” | 1 Enero de 1995                | Número de ejes, clase de emisiones.                                                                                  | Disco que da acceso a la red carretera en los países participantes.                                                                                                | Autopistas únicamente.                            | Peso bruto vehicular > 12 toneladas                                                      | Pre pago.                                                               |
| Programa USA HELP                                                                           | Octubre 1993                   | Distancia recorrida.                                                                                                 | Identificación automática vehicular y un sistema de clasificación que permite dar paso a los vehículos en las casetas. Vehículos pesados por pesaje en movimiento. | Secciones designadas de autopistas en 24 estados. | Vehículos pesados participantes.                                                         | Post-pago en operadores de facturación                                  |

|                |                 |                                                                                                          |                                                                                                       |                             |                                                               |                                                                                                     |
|----------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Suiza          | 1 Enero de 2001 | Distancia recorrida, máximo peso permitido de peso bruto vehicular. Clase de emisiones.                  | GPS y DSRC; distancia recorrida medida tacógrafo complementado por el sistema GPS.                    | Todas las carreteras        | Peso bruto vehicular > 3.5 toneladas.                         | Información del viaje del vehículo se descarga en una tarjeta con chip en un centro de facturación. |
| Austria        | 1 Enero de 2004 | Distancia recorrida, numero de ejes (2, 3, 4 y más).                                                     | Sistema basado DSRC. Peajes que se cobran por separado en cada una de las 800 secciones de la red     | Autopistas y vías rápidas.  | Todos los vehículos con peso bruto vehicular > 3.5 toneladas. | Post-pago para facturar y prepago con una cuenta a bordo.                                           |
| Alemania       | 1 Enero de 2005 | Distancia recorrida, numero de ejes, máximo peso permitido de peso bruto vehicular, clases de emisiones. | Sistemas basados en GPS/GSM con un mapa digital a bordo en carreteras de peaje. Aplicación para DSRC. | Autopistas solamente.       | Vehículos con peso bruto vehicular > 12 toneladas.            | Opciones prepago y post-pago disponibles.                                                           |
| United Kingdom | 2007/2008       | Distancia recorrida, clase de camino, número de ejes (2,3,4 o más), clases de emisiones                  | Basados con sistema GPS.                                                                              | Todos los caminos públicos. | Todos los vehículos con peso bruto vehicular > 3.5 toneladas. | Opciones prepago y post-pago disponibles.                                                           |

Fuente: Dodoo & Thorpe (2005).

Como se hace mención, la Tabla 2.1 muestra las características principales o clave en las que se basan aquellos países para su sistema de cobro en las carreteras, se observa que los parámetros que coinciden son, la distancia recorrida por el vehículo, el número de ejes y el peso máximo permitido, como se había hecho hincapié con anterioridad. Países como Nueva Zelanda, Suiza y Alemania identifican más parámetros y se hacen específicos con el cobro, incorporando el tipo de transmisión y la distancia que hay entre los ejes del camión.

Ahora bien, como se observa, los métodos de peaje en Europa no involucran aspectos técnicos íntegramente relacionados al daño al pavimento, el único que se considera es el número de ejes, pero ningún otro. En la Tabla 2.2, a continuación, se exponen aquellos factores de daño al pavimento que se pretende incluir en los sistemas de cobro de los vehículos pesados que consideran son necesarios contemplarlos.

Tabla 2.2. Factores relacionados al daño en el pavimento con el peaje

| <b>País</b>                                                                                 | <b>Carga dinámica del eje</b> | <b>Número de ejes</b> | <b>Tipo de eje</b> | <b>Tipo de llanta</b> | <b>Tipo de pavimento</b> | <b>Espesor de pavimento</b> | <b>Temperatura y humedad</b> | <b>Distancia recorrida</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Nueva Zelanda                                                                               | No                            | Si                    | No                 | No                    | No                       | No                          | No                           | Si                         |
| Eurovignette                                                                                | No                            | Si                    | No                 | No                    | No                       | No                          | No                           | No                         |
| HELP (US)                                                                                   | (No <sup>a</sup> )            | Si                    | No                 | No                    | No                       | No                          | No                           | Si                         |
| Suiza                                                                                       | No                            | No                    | No                 | No                    | No                       | No                          | No                           | Si                         |
| Austria                                                                                     | No                            | Si                    | No                 | No                    | No                       | No                          | No                           | Si                         |
| Alemania                                                                                    | No                            | Si                    | No                 | No                    | No                       | No                          | No                           | Si                         |
| Reino Unido                                                                                 | No                            | Si                    | No                 | No                    | No                       | No                          | No                           | Si                         |
| <sup>a</sup> El pesaje en movimiento es utilizado para la aplicación del peso bruto y ejes. |                               |                       |                    |                       |                          |                             |                              |                            |

Fuente: Dodoo & Thorpe (2005).

En la Tabla 2.2 se muestran por países los parámetros perjudiciales a la superficie de rodamiento, como la carga dinámica de los ejes, el tipo de eje, el tipo de llanta, el tipo de pavimento, el espesor del pavimento, la temperatura y humedad y la distancia recorrida. Aun no se considera ningún factor daño que se vea reflejado en la cuota de peaje.

Entonces, se parte de realizar un esquema conceptual para asignar un nuevo sistema de cobro que tenga una relación con el daño al pavimento y la metodología del costo de peaje dentro de los sistemas. En la siguiente Figura 2.5 se ilustran los componentes del sistema y una explicación de cada uno de ellos para comprender en que se basa el modelo que se maneja.

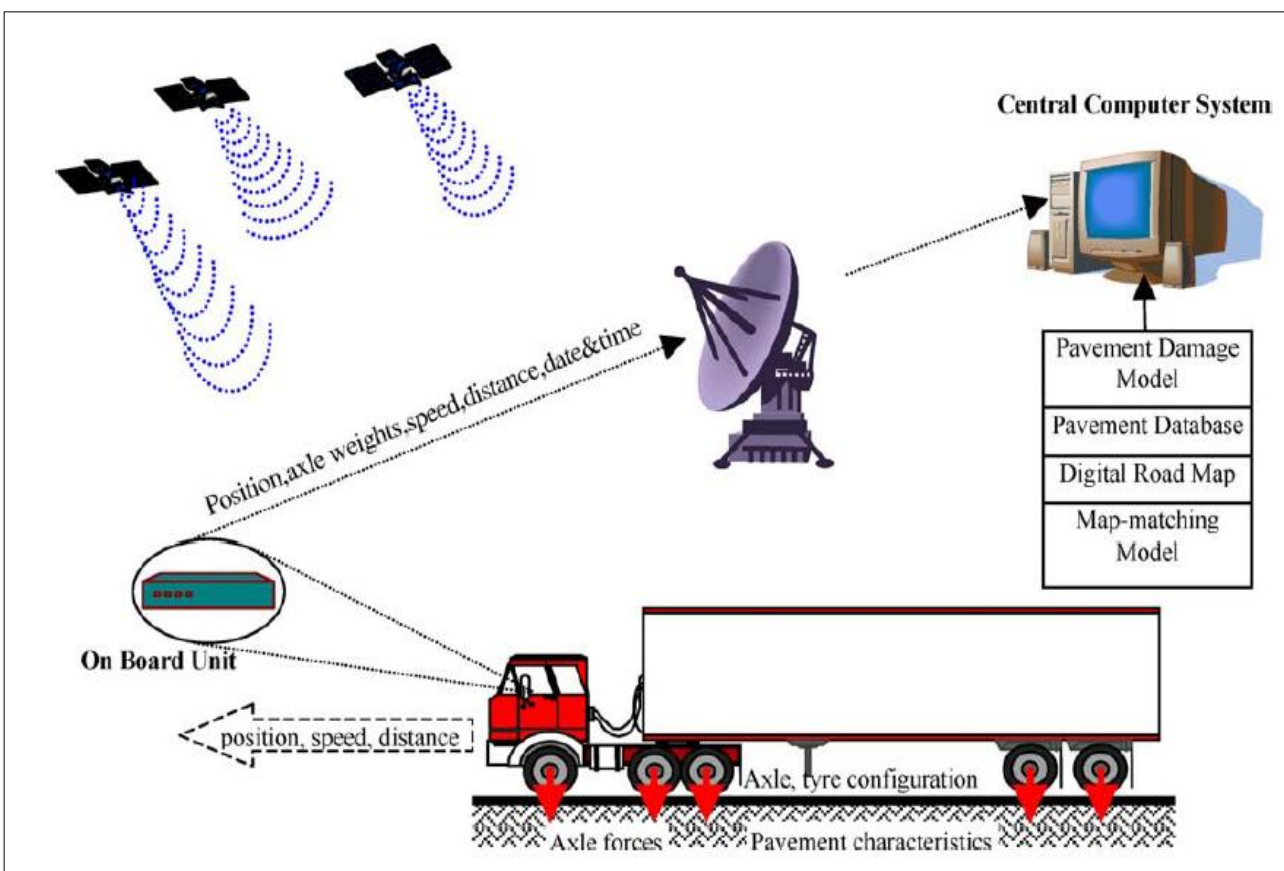


Figura 2.5. Resumen de la distribución del sistema de daño al pavimento. Dodoo & Thorpe (2005).

Un primer paso en este sistema es identificar la posición del vehículo dentro de la red carretera para conocer la distancia de traslado en todo el recorrido; también, la medición de la velocidad y la distancia recorrida deben ser conocidas entre los enlaces que tengan la carretera con otras; la medición continua de los ejes de carga del vehículo durante el viaje. Así mismo, la información

debe guardarse en un dispositivo para posteriormente llevarlo a la oficina para el procesamiento de información y descargar los datos recolectados por este dispositivo (ubicación, carga de ejes, velocidad, distancia, fecha y tiempo). Después, se identifican las características del pavimento para saber el daño que tendrá éste mediante un modelo de desgaste de pavimento, pero no hacen mención en qué tipo de modelo se están basando, con esto se procesa toda la información recopilada en el vehículo de una manera integral, abarcando todos los aspectos medulares del sistema.

#### 2.2.4 La Euroviñeta.

Algunos países europeos iniciaron implementando un sistema basado en el kilometraje o en una viñeta basada en el tiempo para fijar el peaje en sus carreteras de cuota, estas políticas se manifiestan en el Parlamento Europeo por medio de una especie de leyes o acuerdos; una de ellas se centran en las condiciones de interoperabilidad de los sistemas de peaje electrónico (2004/52/EC) y otras como 2006/38/EC y 2011/76/EU tratan sobre las recomendaciones para internalizar los costes externos del transporte por carretera, Glavic *et al.*, (2017). Un sistema actualmente utilizado por algunos países de la Unión Europea se centra en los transportes de carga denominado la Euroviñeta, que es un sistema de cobro integrado para transportistas de vehículos de carga mayores a 12 toneladas de peso bruto vehicular, empleado en países como Bélgica, Dinamarca, Alemania, Luxemburgo, Holanda y Suecia que fue introducido en el año de 1995. Inicialmente en 1992, fue adoptado por miembros de los estados de la Unión Europea que permite cobrarlo como un cargo para cubrir los costos de construcción, mantenimiento y de operación de la carretera. Entonces, se puede decir que es un peaje definido como el pago de una cantidad específica para un vehículo que recorre una distancia entre dos puntos y que debe basarse en la distancia recorrida y el tipo de vehículo. De acuerdo con esto, es el cargo del usuario que paga para otorgarle el derecho a circular sobre la infraestructura por un periodo determinado ya sea por días, meses o incluso años, Clough *et al.* (2008).

En los países de Europa se maneja el sistema llamado Euroviñeta, que solamente cobra peaje a los camiones mayores a 12 ton de su peso bruto vehicular, donde cada país toma su criterio para cobrar bajo este sistema.

Este tipo de cargo en el cobro de peaje ha tenido variaciones o modificaciones en años posteriores, uno de ellos llegó en el año de 2008 cuando la Directiva de la Euroviñeta propuso incluir un costo de externalidades del transporte, sin especificar cuáles eran estos cargos extra. Aunque esta modificación tuvo una crítica por excluir los costos por emisiones contaminantes y accidentes. Fue hasta la última revisión del sistema en el año 2011, donde la directiva del sistema Euroviñeta incluyó y permitió cobrar costos de emisiones contaminantes y de ruido otorgando los métodos para el cálculo de ambos costos ambientales; para el caso del ruido, el método de cálculo se basa en costos promedios por vehículo/kilometro, estos costos se distinguen acorde a factores clave como: la ubicación (caminos suburbanos e interurbanos), clase de vehículo (factores de carga) y tiempo del día (día o noche). En el tipo de vehículo, para los cálculos del método, se requieren usar factores influyentes o de ponderación para las diversas clases que consideren los diferentes costos entre estos tipos de vehículos y tanto para distinguir entre el día y la noche otro tipo de costos, (Moliner *et al.*, 2013).

#### *2.2.5 Sistema de cobro de peaje en Europa*

Europa cuenta con una gran red de carreteras a lo largo de su territorio y la forma del cobro de tarifas de peaje es muy particular con respecto a los países de América. Dentro de las investigaciones referentes a los métodos de cobro, se encontró una empresa llamada DKV Euro Service líder en el mercado para el repostaje en ruta sin necesidad de efectivo, dentro de la industria del transporte en las carreteras europeas mediante una tarjeta llamada DKV CARD; esta empresa pertenece al DKV MOBILITY SERVICES Group; dicho grupo registró en 2017 una cifra de ventas de 7,2 mil millones de euros. La tarjeta es recargable y además se puede pagar el peaje de las carreteras en toda la Unión Europea donde se encuentre presente. En la Tabla 2.3, se muestra un resumen de las características de cobro de cada país y de los camiones que tienen que pagar por transitar por esta red.

Tabla 2.3. Características de los cobros de peaje en países europeos.

| <b>País</b>                              | <b>Peso del vehículo a partir del cual se hace el cobro.</b>          | <b>Observaciones.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>España</b>                            | Vehículos a partir de 3.5 ton.                                        | El sistema llamado VIA-T (PDF). DKV pone a disposición de sus clientes una unidad a bordo (On-Board-Unit/OBU)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Alemania</b>                          | Todos los camiones con un peso total igual o superior a 7.5 ton.      | Pagar peaje en función del trayecto a Toll Collect. El importe depende 1) de la clase de sustancias nocivas, 2) del número de ejes y 3) longitud del tramo. A partir 1 de julio de 2018 todas las carreteras nacionales alemanas estarán sujetas al pago de peaje. Las tarifas de peaje en Alemania se pueden pagar de forma automática mediante la On-Board-Unit (OBU) de la concesionaria Toll Collect.                                                                              |
| <b>Austria</b>                           | Para camiones con un peso total superior a 3.5 ton                    | Aplicación en las autopistas y vías rápidas austríacas el sistema de GO Maut en función de los kilómetros recorridos con la On-Board-Unit (OBU) GO-Box. Los peajes varían durante el día (5:00 – 22:00) y la noche (22:00 – 5:00). Existen tramos en los que se cobran un peaje especial. En el peaje se incluyen costos externos de transporte: recargos por contaminación de aire y contaminación acústica; así como la diferenciación de camiones de acuerdo con el número de ejes. |
| <b>Bélgica</b>                           | Para vehículos de un peso total superior a 3,5 t.                     | El sistema de peaje en función de los kilómetros recorridos incluye la red de tramos existente de la Euroviñeta basada en el tiempo de uso. El peaje se efectúa a través de una unidad a bordo (On- Board-Unit) y varía según el tipo de región (2), el peso y tipo de vehículo (euro normas); rangos de > 3.5 – 12 t, >12 – 32 t y > 32 t.                                                                                                                                            |
| <b>Países Bajos, Dinamarca y Suecia.</b> | Para vehículos > 12 t. Los autos quedan excluidos de este reglamento. | La Eurovignette electrónica registra matrícula, país emisor del permiso de circulación, clase de sustancias nocivas, número de ejes, así como la validez, desde un día hasta un año.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                        |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Francia</b>         | Vehículos > 3.5 t.                         | Existen 3 criterios para la determinación de la categoría de vehículos sujetas al pago de peaje: <i>a)</i> altura máxima de la combinación de vehículos, <i>b)</i> peso total admisible y <i>c)</i> número de ejes (con contacto de suelo/combinación de vehículos). Se permite permanecer en la autopista un periodo de 24 - 48 hrs, excediendo ese lapso existe un recargo llamado “tarifa máxima”. |
| <b>Gran Bretaña</b>    | Camiones extranjeros de peso total > 12 t. | Es un peaje para camiones en forma de impuesto basado en el tiempo de uso de todas las carreteras públicas (HGV* Road User Levy). El impuesto se compone del <i>a)</i> tipo de vehículo, <i>b)</i> peso total y <i>c)</i> configuración de los ejes.                                                                                                                                                  |
| <b>República Checa</b> | Vehículos de peso total admisible > 3.5 t. | Los peajes se abonan de forma electrónica por medio de la llamada (On-Board-Unit/OBU). Los costes del peaje ascienden actualmente a unos 0.14 € /km dependiendo de la clase de sustancias nocivas y del número de ejes. Se toman como base las siguientes categorías de pesos vehículos: <i>a)</i> > 3.5 – 7.5 t, <i>b)</i> > 7.5 – 12 t y <i>c)</i> > 12 t.                                          |
| <b>Suiza</b>           | Camiones y remolques peso total > 3.5 t.   | Impone el pago de la “tasa de transporte pesado en función de la potencia”. La base de cálculo para el importe es: <i>a)</i> el peso total máximo admisible del vehículo o de la combinación de vehículos, <i>b)</i> la distancia recorrida en km y <i>c)</i> la tasa del impuesto en función de las emisiones de acuerdo con el euro norma.                                                          |

**Fuente:** DKV Euro Service, (Consultado mayo 2018).

### 2.2.6 China

La infraestructura del transporte en China ha tenido una transformación importante en los últimos 20 años con la construcción de un nuevo sistema de autopistas. Para controlar el peso de los camiones y cobrar las tarifas de sobrecarga adecuadas, China ha utilizado la tecnología *Weigh-In-*

*Motion* apoyado en una placa de flexión en las carreteras de peaje desde el año 2001, Hanson & Bushman (2008). Se han instalado miles de sistemas WIM para cobrar tarifas por sobrecarga de los camiones; además de la aplicación de 700 sistemas WIM únicamente para fines estrictos de cumplimiento de peso del camión. China utiliza dos métodos de regulación del peso del camión, uno es el peaje por peso que es ampliamente adoptado por las agencias que operan las carreteras; el otro es la aplicación del peso del camión que se aplica de manera conjunta por las administraciones de carreteras y la policía del tráfico. Enseguida, se explican las generalidades de estos métodos de regulación del peso de los camiones.

#### *2.2.6.1 Peaje por peso y clase del camión.*

Para determinar el peaje por peso y clase del camión, China maneja dos formas; una es la apoyada con la clase del vehículo, inicialmente la mayoría de los peajes se recaudaron con base a este parámetro y la capacidad de carga conocida o verificada. Este método es simple y fácil de implementar, pero esta estructura de tarifas no demuestra el daño real que sufren las carreteras, Conway & Dalton (2008). La clasificación de los vehículos para este método se observa en la Tabla 4, es una estructura simple de identificar y la capacidad de carga se encuentra marcada en la placa del vehículo. La tarifa dada en la Tabla 2.4 hace referencia al Yuan Chino (CNY) mostrada en la primera columna, la segunda es el equivalente a pesos mexicanos, aproximadamente 3.10 MXN.

Tabla 2.4. Ejemplo de estructura de peaje basado en la clase de vehículo en China.

| Numero de clase<br>del vehículo | Capacidad de carga<br>controlada | Tarifa (CNY / t km) /<br>Tarifa (MXN / t km ). |       |
|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|-------|
|                                 |                                  |                                                |       |
| Primera                         | < 2                              | 0.4                                            | 1.24  |
| Segunda                         | 2 - 5                            | 0.7                                            | 2.17  |
| Tercera                         | 5 - 10                           | 1.1                                            | 3.41  |
| Cuarta                          | 10 - 15                          | 1.32                                           | 4.092 |
| Quinta                          | < 20                             | 0.08                                           | 0.248 |

Fuente: Hang *et al.*, (2013).

Con esto, surge una tendencia emergente y popular de usar sistemas WIM en las carreteras de peaje y así facilitar la incorporación del peso de los vehículos en la determinación de una tarifa apropiada.

La segunda forma es la basada en el peso del camión, prácticamente el método de basa en el cobro a los conductores de camiones según el peso de carga, este método de cobro fue introducido en 2001 en el Puente Rainbow en Tianjin; para el 2003 más provincias en China comenzaron a introducirlo, actualmente 24 de 32 provincias, municipios y el 90 % de las carreteras están bajo este método. Esta estructura tarifaria incluye una tarifa básica y una multa al exceder el peso; la tarifa básica se aplica al peso legal del peso bruto del camión, dentro de este hay dos aspectos: el peso bruto al límite y el peso bruto excedido al legal. Ahora bien, la multa por exceso de peso dependerá del lugar donde se aplique, generalmente varía desde los 0.07 a 1.0 CNY/ t / km equivalente a un aproximado 0.13 a 3.10 MXN / t / km.

Hay que añadir que, suceden ocasiones donde el camión no se encuentra sobrecargado y en este caso la tarifa básica usualmente se reduce en cierta cantidad generando una tarifa incentiva para los conductores. Con esta acción se busca alentar a los conductores a no sobrecargar el camión,

pero en la práctica es diferente, los conductores muestran un desinterés por el incentivo debido a que aumentaría en sus costos generales, Hang *et al.* (2013). Los límites de peso para peajes de camiones se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Límites de peso para peajes de camiones en China.

| <b>Tipos de camiones</b> | <b>Límite de peso (t).</b> |
|--------------------------|----------------------------|
| 2 ejes                   | 17                         |
| 3 ejes                   | 27                         |
| 4 ejes                   | 37                         |
| 5 ejes                   | 43                         |
| 6 o más de 6 ejes        | 49                         |

Fuente: Hang *et al.*, (2013).

El cálculo de la tarifa multa por sobre pasar el peso es un poco complicado. Depende del nivel de sobrecarga se eligen intervalos basados en los valores de los límites de peso en la Tabla 2.5, estos varían entre el 30%, 50% y 100%, lo que representa las proporciones del límite de peso sobre el peso límite legal. Dependerá una ecuación del nivel de sobrecarga para así obtener el cálculo de la nueva tarifa con su penalización ya incluida; con esto se observa que la tarifa por clase de vehículo es más sencilla determinar en lugar de la aplicación de las fórmulas según sea tu nivel de sobrecarga y demás factores. El cobrar por peajes adicionales a los camiones sobrecargados ayudará de alguna forma a los operadores de carreteras a pagar los costos de construcción y mantenimiento de autopistas previstos a futuro, Tian & Xiong (2009). El método de peaje basado en el peso es más razonable en el momento de la implementación, pero el cálculo se hace complicado.

Un efecto positivo después de accionar la política de peaje basado en el peso, las agencias que operan las carreteras obtuvieron aumentos constantes y significativos con respecto a los ingresos del peaje. En el puente Rainbow Bridge en Tianjin durante el primer año los ingresos de peaje aumentaron hasta un 30 %, y en algunos lugares la cifra llegó hasta el 47.7% (Anhui Expressway Company Limited, 2006). Para concluir el tema de China, la estrategia del peaje con base al peso es

más flexible y justa que la basada en la clase de vehículo, pero complicado al momento de entender la estructura de tarifas, sin embargo, el rendimiento puede mejorarse con sistemas WIM más precisos. Dentro de los puntos desfavorables se encuentran un probable aumento en los costos de transporte, el desvío de camiones hacia caminos libres de cuota y el aumento en el retraso del tráfico. Un punto fuerte por señalar aquí es que esta estrategia puede cobrarles a los transportistas de manera justa el uso real del camión en las carreteras, trayendo como efectos el aumento de los ingresos de peaje. En la Figura 2.6 se muestra un sistema típico WIM usado en una caseta de cobro en China.

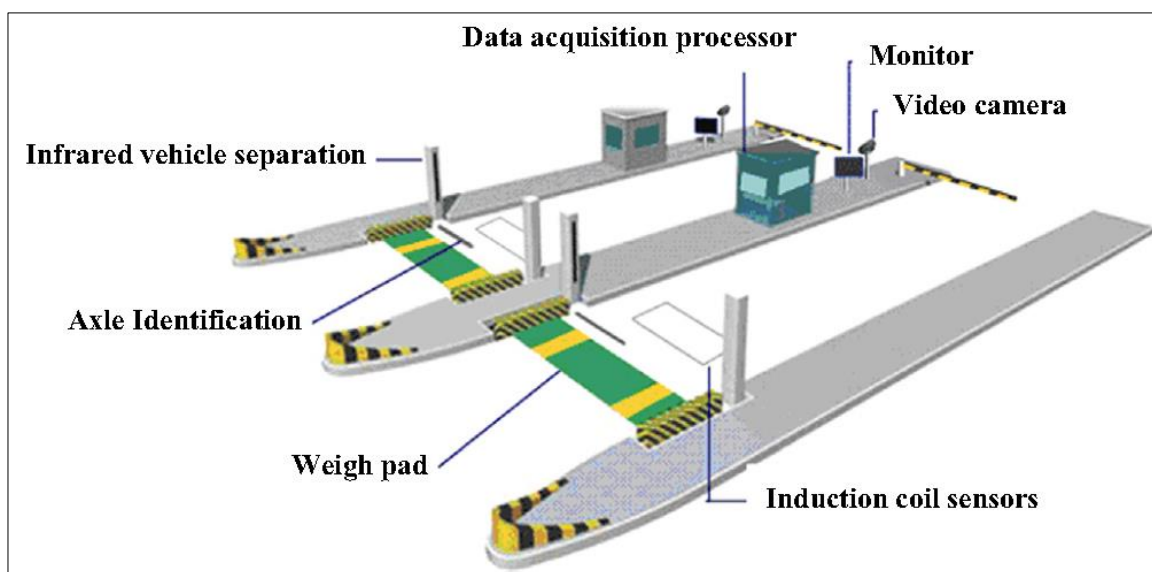


Figura 2.6 Sistema *Weigh In Motion* implementado en las casetas de cobro en China

Con esta información acerca de los métodos que utilizan en varios países de Europa y en caso particular de China, se puede ver que la tecnología en estos sistemas y los elementos que conforman a éstos es muy desarrollada, cuentan con una idea clara del manejo del sistema de transporte con el que cuentan y la manera de aplicarlo en las carreteras de cada país. Desde esta perspectiva, son un gran ejemplo para un comienzo de implementación en las carreteras de México; siguiendo con esto, a continuación, se describe el manejo de las concesiones en México, el cómo surgen y como se conforman.

### 2.3 La concesión de carreteras en México.

El peaje de las carreteras está creciendo como una opción de financiamiento para construcción y mantenimiento de las carreteras. Algunos países han realizado inversiones importantes en las carreteras de cuota en los últimos años, como Francia, España, Italia, Portugal, Estados Unidos, Canadá, México, Brasil, Chile, Australia y China. Bajo estas inversiones y el corto presupuesto con el que cuentan los gobiernos, surge la idea de que las autopistas sean financiadas y construidas por medio de las llamadas Asociaciones Público-Privadas, Li y Hensher (2010).

México cuenta con un pequeño porcentaje de carreteras de cuota, el 2.5% (9,818 km) son pocos los kilómetros bajo esta jurisdicción de pagar una cuota para circular sobre la infraestructura de una carretera, es un número menor comparando con el total de kilómetros existentes a lo largo del país. El tema de las concesiones de carreteras en México es muy amplio, en el sentido de que algunas de estas se construyen mediante Asociaciones Público-Privadas, con ayuda de iniciativa privada. De acuerdo con la Secretaria de Comunicaciones y Transportes y Banobras (2003) una concesión carretera es: “un acto mediante el cual el Estado otorga a un particular el derecho a prestar un servicio público y a explotar bienes del dominio público, durante un tiempo determinado (hasta 30 años en México), sujeto a diversas condiciones que pretenden preservar el interés público. El nuevo esquema de concesión otorga a los particulares el derecho a construir, operar, conservar, mantener y explotar una autopista de cuota. Al concluir el plazo de concesión, tanto la carretera como los derechos que fueron concesionados regresan al control directo del Estado”.

Actualmente en México, se cuenta con una legislación especializada publicada por el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 16 de enero de 2012, la Ley de Asociaciones Público-Privadas, que tiene por objeto regular los esquemas para el desarrollo de proyectos de asociaciones público-privadas, matizando la distribución de beneficios y riesgos entre los agentes participantes a través de un contrato de largo plazo para la concesión de un servicio público específico, *Torres et al.* (2017). En efecto, este tipo de asociaciones público-privadas en el sector carretero comprenden tres principales tipos de contratos de largo plazo que incluyen las concesiones carreteras “tradicionales”, además de proyectos de prestación de servicios y el aprovechamiento de activos.

Debido a la enorme demanda de infraestructura y el elevado costo de la construcción y operación de la carretera, el gobierno busca inversionistas privados para financiar proyectos públicos, es por esto, que las asociaciones público – privadas hacen un proyecto carretero, sabiendo que dentro del proyecto existe un riesgo de inversión, pero recuperándolo a través de la cuota que se le adjudicará al usuario, Alasad & Motawa (2016).

Algo semejante ocurre con lo que dicen Wu & Zhang (2013) que han observado en los recientes años, que la planificación del transporte ha cambiado debido al incremento de la necesidad en el desarrollo de la infraestructura carretera, ocasionando un problema financiero dentro del sector público para su construcción, como consecuencia da hincapié a recurrir a los sectores privados para lograr el objetivo de construcción de la vía de comunicación. Con esto, surgen las asociaciones público - privadas; encargadas del diseño, la construcción, la operación y de la inversión requerida para la carretera. Las partes involucradas que conforman este proceso son, la dependencia encargada del transporte, el sector privado que desee invertir y los usuarios que utilizarán la carretera; cada parte cuenta con diferentes funciones y responsabilidades dentro de este modelo. En México, la mayoría de las veces se otorgan concesiones que, por ley son puestas en práctica por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con un máximo de 30 años o hasta 60 años en casos excepcionales, para que se recupere la inversión inicial de la construcción de la carretera, una vez finalizado este periodo la carretera pasa a ser de tránsito libre sin cobrar ninguna tarifa para los usuarios, donde ahora la encargada de las reparaciones, mantenimiento y rehabilitación quedará a cargo del Gobierno del Estado donde se encuentra esta carretera.

## 2.4 Tipos de camiones de carga.

Los tipos de camiones que se toman en cuenta para la investigación como objeto de estudio, son aquellos que vienen especificados en la norma mexicana NOM-012-SCT-2-2017. A partir de los camiones con la configuración C y mayores a estos, tanto en peso y dimensión, como son los T-S y T-S-R, y los respectivos arreglos que surgen; son presentados y descritos a continuación.

#### 2.4.1 Camiones con configuración tipo "C".

Dentro de la NOM-012-SCT-2-2017 se encuentran solamente dos tipos de camiones bajo esta nomenclatura (C) se les denomina camiones unitarios a los tipos de camiones C2 y C3. Siendo estos dos tipos de camiones de los cinco totales que se presentan con más frecuencia en las carreteras mexicanas y de los más dañinos hacia el pavimento.

El camión C2 se considera de carga, cuenta con dos ejes, un eje sencillo delantero y un eje dual trasero. El camión C3 también se considera de carga, cuenta con un eje sencillo delantero y eje tándem trasero, Rico *et al.* (1995). Las características de estos camiones, el número de ejes y de llantas se especifica en la Tabla A2 en Anexos.

#### 2.4.2 Camiones con configuración tipo "T - S" y arreglos.

Ahora bien, continuando con los camiones que circulan en la red carretera, se reconocen aquellos de tipo "T – S". El significado de la primera letra representa el tractocamión y la letra S representa el semi remolque que va arrastrado por el vehículo remolcador. En México se manejan 6 tipos de configuraciones dentro de la NOM-012-SCT-2-2017, variando tanto en el número de los ejes en el vehículo tractor y en el de los ejes del semi remolque. Teniendo una definición particular para los T3-S2 y T3-S3, que son los otros dos vehículos que mayormente circulan en la red carretera del país de los cinco representativos.

Rico *et al.* (1995), el tractocamión articulado T3-S2 es el camión de carga articulado con un tractor de tres ejes y un semirremolque con eje tándem trasero. Y el T3-S3 es un camión de carga articulado con tractor de tres ejes y un semirremolque con eje tridem trasero. Las características de estos camiones, el número de ejes y de llantas se especifica en la Tabla A3 en Anexos.

### 2.4.3 Camiones con configuración tipo “T – S – R”.

Por último, esta configuración establecida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes dentro de la NOM-012-SCT-2-2017 es la que cuenta con un mayor número de ejes y de llantas, y, por lo tanto, aquella configuración que registra el mayor peso bruto vehicular es la configuración T3-S2-R4, con un total de 66.5 ton de PBV. Existen 11 tipos de configuraciones, pero la más usual es la T3- S2- R4. En la Tabla A4 en Anexos, se observan todas las configuraciones de este arreglo, con el número de ejes, de llantas y la nomenclatura usada para cada uno de ellos.

Por definición el camión denominado “full” en México y conocido como T3-S2-R4 es el camión de carga doblemente articulado con tractor de tres ejes y dos remolques, el primero con eje tándem trasero y el segundo con 2 ejes en tándem, uno delantero y el otro trasero.

Las conclusiones derivan que éstas son las configuraciones de camiones establecidas bajo la NOM-012-SCT-2-2017 que se les permite circular a estos vehículos en las carreteras de México, no todas aquellas configuraciones que se muestran en las Tablas A2, A3 y A4 en Anexos se encuentran circulando en las carreteras del país porque no son tan comunes algunas combinaciones, pero todas ellas están bajo regla y permitidas según el tipo de carretera y respetando los pesos y las dimensiones establecidas en la misma norma.

### 2.5 Situación de sobrecarga en México.

Para complementar el tema de las tarifas de peaje en México y su relación con el daño a los pavimentos, ahora es turno de hablar de la situación de sobrecarga en las que se encuentran las carreteras del país. En México, las prácticas de los camiones de viajar con exceso de peso, se ha comentado que es muy frecuente y no hay ninguna penalización alguna por el daño hacia el pavimento, misma situación que atenta contra la seguridad del vehículo/conductor y de los usuarios de esas vías de comunicación. Para fundamentar esto, en la investigación se quiere demostrar de alguna manera una cantidad cercana de vehículos y del peso con que circulan; de esta manera se logró encontrar un *software* recientemente desarrollado por parte del Instituto Mexicano de Transporte (IMT), el objetivo de este *software* llamado “Espectros & Sobrecarga” es de conocer los

espectros de carga que ejercen los camiones por medio del tipo de ejes, con esto se hace un conteo para los ejes sencillos, dual, tándem y tridem según sea el caso de la configuración del camión. Cabe aclarar que el *software* no lleva la contabilización de la cantidad de camiones, si no de la cantidad global de ejes que estos tienen y el espectro de carga que ejercen.

La base de datos del *software* es analizada por la Subdirección de Ingeniería de Tránsito de la Dirección de Evaluación Tecnológica mediante las estaciones colocadas por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en diferentes tramos de la red carretera, cada estación tiene información global de los vehículos y algunas se encuentran actualizadas de manera *online*; hay estaciones que no están actualizadas con los datos, por ejemplo, algunas tienen información de los años 90's de las cuales no se pueden tomar datos cercanos a la realidad para realizar un análisis. Como primer paso, se debe seleccionar que estación o conjunto de estaciones se quieren analizar a lo largo de la red carretera, en cada estación se observa el nombre y número con el que se identifica, el año donde se obtuvieron los últimos datos y también si es de cuota o libre; se pueden visualizar datos de tantas estaciones se requieran. Una vez seleccionadas aquellas estaciones por analizar, hay una opción donde se cargan los datos y se arroja un gráfico de manera global o particular de cada uno de los ejes analizados (sencillos, dual, tándem y tridem). Para esta investigación, únicamente se necesitarán los datos de las estaciones a manera de generar el grafico que nos ayude a visualizar y plasmar la situación de sobrecarga en las carreteras del país.

De esta forma, se seleccionaron dos pares de estaciones en donde existiera una comparativa entre una carretera de cuota y una libre de la misma zona, a razón de observar el comportamiento que tienen los camiones y la carga que transitan. Como primer par, se eligieron carreteras que son las alternativas que tienen los usuarios para un origen-destino similar. Por ejemplo:

- 1.- Estación 99 "Buenos Aires". Carretera: Tuxpam – Tampico. Tramo Tuxpam – T. Izq. La Lajuela km 11+500. Origen: Tuxpam. Carretera Libre. Año 2011. Anexo 15.
- 2.- Estación 108 "Plaza de cobro Tuxpam". Carretera Tihuatlán-Tuxpam. Tramo: Ent. Cañadas – Tuxpam km 32+800. Carretera de Cuota. Año 2011. Anexo 16.

El segundo par de carreteras se eligieron con datos más recientes y aunque la zona es similar al par anterior, tiene las mismas características, una de vía libre y otra de cuota.

- 3.- Estación 196 “La Noria”. Carretera Coatzacoalcos - Salina Cruz. Tramo: Santo Domingo Tehuantepec – Salina Cruz 292+400. Origen: Coatzacoalcos. Carretera Libre. Año 2017. Anexo 17.
- 4.- Estación 195 “Tehuantepec”. Carretera Salina Cruz-La Ventosa. Tramo: Rincón Moreno – X. C. (Oaxaca – Tehuantepec) km 22+600. Origen: Salina Cruz. Carretera de Cuota. Año 2017. Anexo 18.

Con este *software* denominado “Espectros & Sobrecarga”, se crearon escenarios con estos cuatro tramos de carreteras que se describen a continuación, se analizaron de manera global gráficamente separándolas por el tipo de eje (sencillo, dual, tandem y tridem).

#### 2.5.1 Escenario para eje sencillo.

Para este primer escenario, se analiza únicamente el eje sencillo de los cuatro tramos; se puede visualizar en la Figura 2.7 el porcentaje de pesos promedio obtenidos para este eje. La estación Tehuantepec, ubicada en la carretera de cuota Salina Cruz - La Ventosa es la que registra un mayor número de porcentaje de sobrecarga en el eje del que establece la NOM-012-SCT-2-2017, en este caso el eje no debe sobrepasar las 6.5 toneladas, subrayar que todas las carreteras presentan un pequeño porcentaje de sobrecarga, en la tabla resumen se observan los correspondientes a cada tramo.

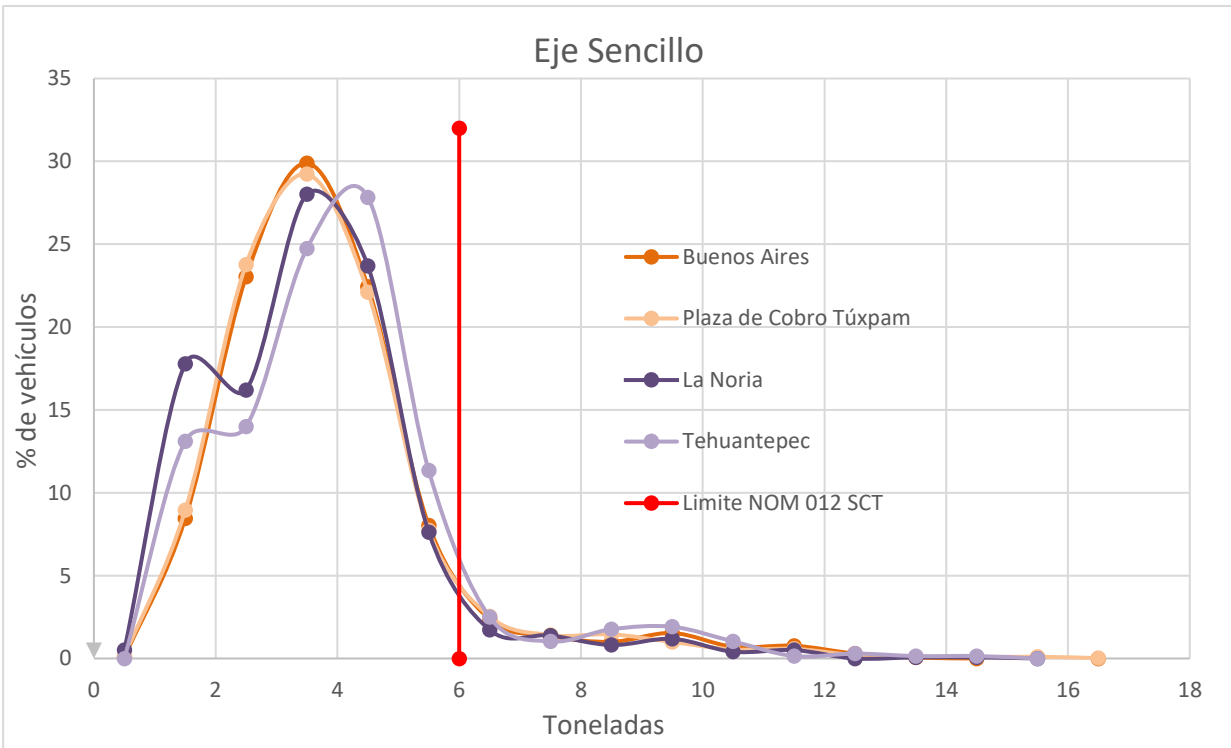


Figura 2.7. Escenario de sobrecarga para el eje sencillo de los cuatro tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2.6, se observa numéricamente el resultado que muestra la gráfica, de esta manera se puede ver con mayor claridad el porcentaje que corresponde a cada tramo.

Tabla 2.6. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje sencillo de los cuatro tramos.

| <b>Tramo</b>                  | <b>Peso máximo eje sencillo. NOM-012-SCT.</b> | <b>% de sobrecarga</b> |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|
| <b>Buenos Aires. Libre.</b>   | 6                                             | 8.09                   |
| <b>Plaza de Cobro Túxpam.</b> | 6                                             | 8.07                   |
| <b>La Noria. Libre.</b>       | 6                                             | 6.16                   |
| <b>Tehuantepec. Cuota.</b>    | 6                                             | <b>8.98</b>            |

Fuente: Elaboración propia.

### 2.5.2 Escenario para eje dual.

En este segundo escenario, se observa el eje dual de los cuatro tramos; por lo tanto, se puede visualizar en la Figura 2.8 el porcentaje de pesos promedio obtenidos para este tipo de eje. En esta ocasión, la estación Buenos Aires, ubicada en la carretera libre Túxpam – Tampico, es la que registra un porcentaje mayor de sobrecarga en el eje del que establece la NOM-012-SCT-2-2017, el eje no debe sobrepasar las 11 toneladas, al igual que la anterior las carreteras presentan un pequeño porcentaje de sobrecarga, en la tabla resumen se observan los correspondientes a cada tramo.

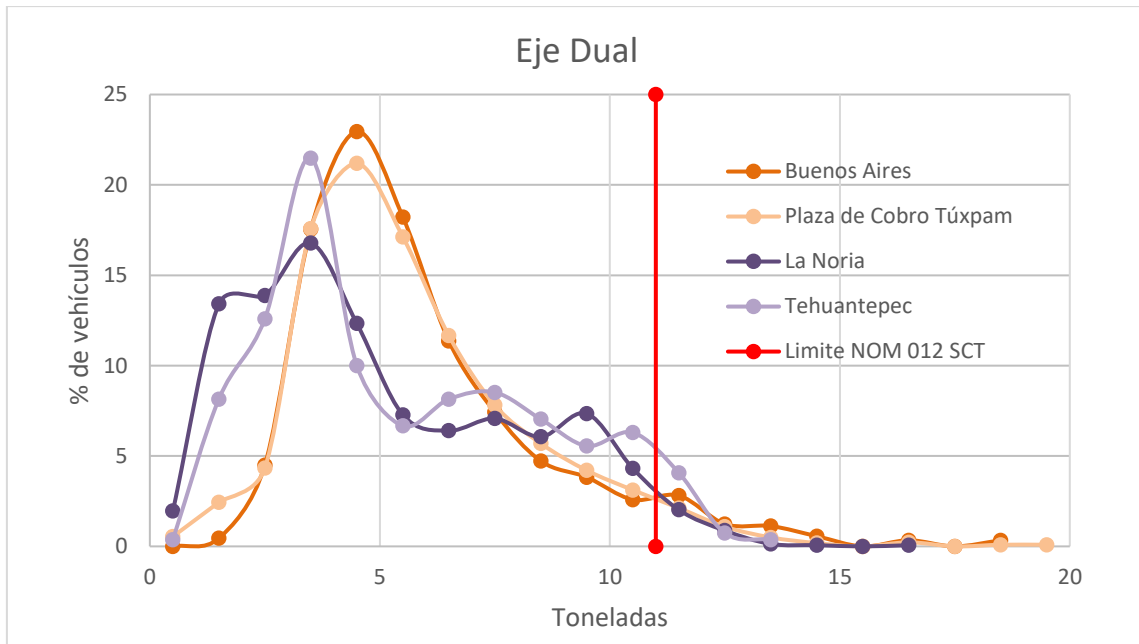


Figura 2.8. Escenario de sobrecarga para el eje dual de los cuatro tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2.7, se observa numéricamente el resultado que nos muestra la gráfica, así podemos ver con mayor claridad el porcentaje que corresponde a cada tramo, en este caso varía la carretera con respecto a la anterior.

Tabla 2.7. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje dual de los cuatro tramos

| <b>Tramo</b>                  | <b>Peso máximo eje dual. NOM-012-SCT</b> | <b>% de sobrecarga</b> |
|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------|
| <b>Buenos Aires. Libre.</b>   | 11                                       | <b>6.41</b>            |
| <b>Plaza de Cobro Túxpam.</b> | 11                                       | 4.29                   |
| <b>La Noria. Libre.</b>       | 11                                       | 3.16                   |
| <b>Tehuantepec. Cuota.</b>    | 11                                       | 5.18                   |

Fuente: Elaboración propia

### 2.5.3 Escenario para eje tándem.

Para este siguiente escenario, es el turno del eje tándem de los cuatro tramos; por lo tanto, se puede observar en la Figura 2.9 el porcentaje de pesos obtenidos para este tipo de eje. En esta ocasión, la estación Tehuantepec, ubicada en la carretera de cuota Salina Cruz - La Ventosa, es la que registra un porcentaje mayor de sobrecarga en el eje del que establece la NOM-012-SCT-2-2017, el eje tándem no debe sobrepasar las 19 toneladas, de igual manera las carreteras presentan un porcentaje considerable de sobrecarga, en la tabla resumen se observan los correspondientes a cada tramo.

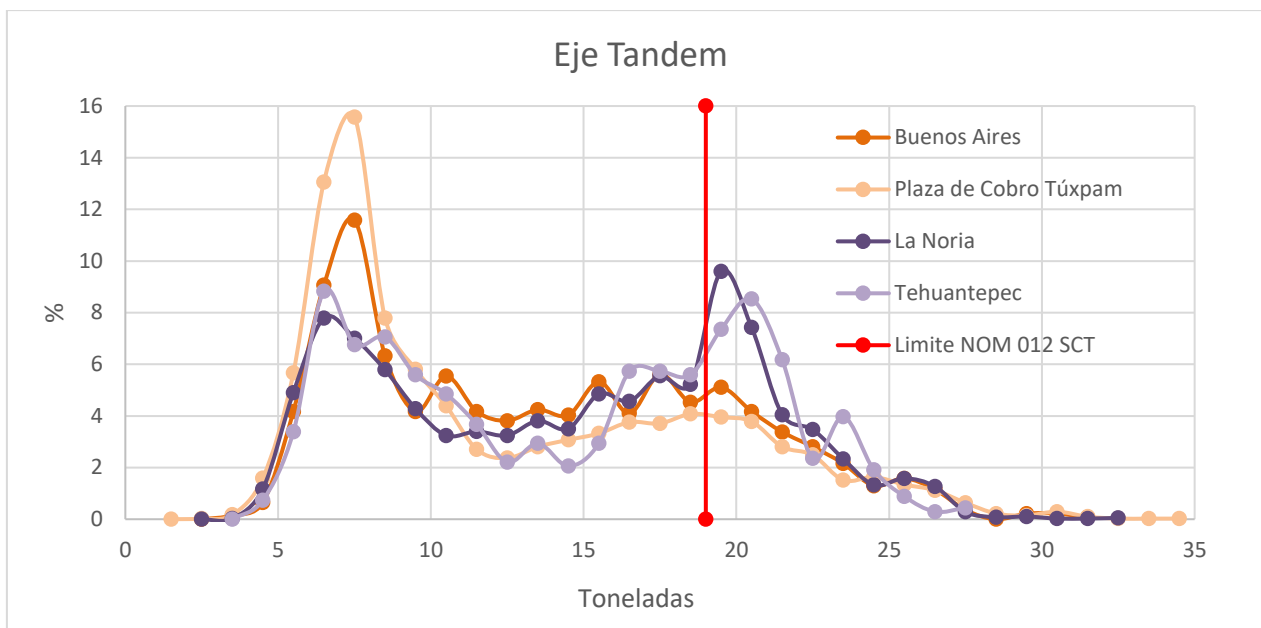


Figura 2.9. Escenario de sobrecarga para el eje tándem de los tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2.8, se ilustra numéricamente el resultado de la gráfica, así se observa con mayor claridad el porcentaje que corresponde a cada tramo, para este eje la carretera que muestra un mayor porcentaje vuelve a ser en la estación Tehuantepec.

Tabla 2.8. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje tándem de los cuatro tramos

| Tramo                  | Peso máximo eje tándem. NOM-012-SCT | % de sobrecarga |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Buenos Aires. Libre.   | 19                                  | 22.51           |
| Plaza de Cobro Tuxpam. | 19                                  | 20.11           |
| La Noria. Libre.       | 19                                  | 31.63           |
| Tehuantepec. Cuota.    | 19                                  | <b>31.91</b>    |

Fuente: Elaboración propia

#### 2.5.4 Escenario para eje tridem.

Para este último escenario, se analiza el eje tridem de los cuatro tramos; de igual forma, se puede observar en la Figura 2.10 el porcentaje de pesos obtenidos para este eje. La estación Tehuantepec, ubicada en la carretera de cuota Salina Cruz - La Ventosa, vuelve a registrar un porcentaje mayor de sobrecarga en el eje que establece la NOM-012-SCT-2017, el eje tridem no debe sobrepasar las 26.5 toneladas, de manera similar a los escenarios anteriores, las carreteras presentan un porcentaje considerable de sobrecarga mayor porcentaje que en el eje tándem, en la tabla resumen se observan los correspondientes a cada tramo donde es de llamar la atención el valor de la carretera Tehuantepec.

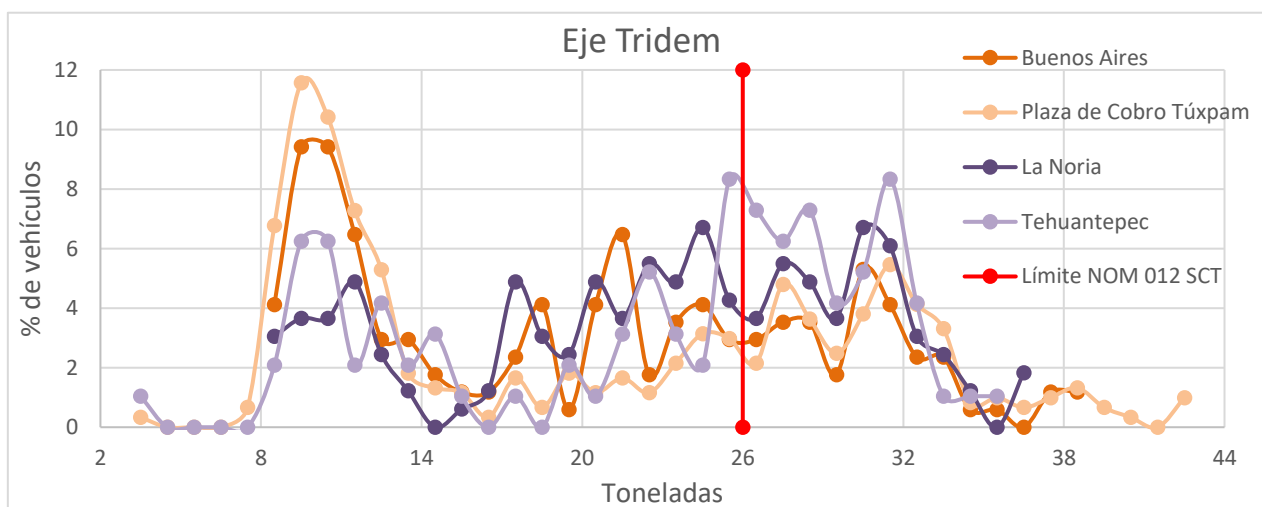


Figura 2.10. Escenario de sobrecarga para el eje tridem de los tramos seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2.9 se observa numéricamente el resultado que muestra la gráfica, la estación ubicada en la carretera de cuota Salina Cruz – La Ventosa presenta un porcentaje alto que es de llamar la atención.

Tabla 2.9. Tabla del porcentaje de sobrecarga para el eje tridem de los cuatro tramos.

| <b>Tramo</b>                      | <b>Peso máximo eje tridem. NOM-012-SCT</b> | <b>% de sobrecarga</b> |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
| <b>Buenos Aires. Libre.</b>       | 26.5                                       | 30.58                  |
| <b>Plaza de Cobro<br/>Túxpam.</b> | 26.5                                       | 36.69                  |
| <b>La Noria. Libre.</b>           | 26.5                                       | 39.02                  |
| <b>Tehuantepec. Cuota.</b>        | 26.5                                       | <b>45.83</b>           |

Fuente: Elaboración propia.

Después de observar de manera gráfica el nivel de sobrecarga que tienen los cuatro tramos, podemos concluir que la Estación “ Tehuantepec ”, ubicada en la Carretera de cuota Salina Cruz - La Ventosa en el tramo: Rincón Moreno – X. C. (Oaxaca – Tehuantepec) km 22+600, presenta el mayor nivel de sobrecarga por eje, con un porcentaje menor de 50% de los ejes que circulan sobre esta carretera de cuota tienen sobrecarga, un dato para resaltar y hacer hincapié en estas situaciones. En los pares de carreteras que se eligieron (libre y cuota) para los ejes sencillo, dual y tandem en la carretera libre de Túxpam se presenta el mayor porcentaje de sobrecarga, solamente en la carretera de cuota el eje tridem tiene mayor porcentaje, por conclusión de las evidencias anteriores, la carretera libre presenta mayor sobrecarga, esta afirmación es válida únicamente para el primer par de carretera elegido de la zona de Túxpam. Para el segundo par, las conclusiones son diferentes, en todos los ejes la sobrecarga de presentó en la carretera de cuota de la zona de Salina Cruz. En la siguiente Tabla 2.10, se puede observar este porcentaje de manera global en los tramos seleccionados.

Tabla 2.10. Tabla resumen del porcentaje de sobrecarga para los tramos seleccionados.

| <b>Tramo</b>                      | <b>% de<br/>sobrecarga<br/>Eje sencillo</b> | <b>% de<br/>sobrecarga<br/>Eje Dual</b> | <b>% de<br/>sobrecarga<br/>Eje Tándem</b> | <b>% de<br/>sobrecarga<br/>Eje Tridem</b> |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Buenos Aires. Libre.</b>       | 8.09 %                                      | <b>6.41 %</b>                           | 22.51 %                                   | 30.58 %                                   |
| <b>Plaza de Cobro<br/>Túxpam.</b> | 8.07 %                                      | 4.29 %                                  | 20.11 %                                   | 36.69 %                                   |
| <b>La Noria. Libre.</b>           | 6.16 %                                      | 3.16 %                                  | 31.63 %                                   | 39.02 %                                   |
| <b>Tehuantepec. Cuota.</b>        | <b>8.98 %</b>                               | 5.18 %                                  | <b>31.91 %</b>                            | <b>45.83 %</b>                            |

Fuente: Elaboración propia.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Mapa conceptual de la metodología.**

Como parte de la metodología de esta investigación, se pondrá en práctica los pasos que se muestran en la Figura 3.1 y la descripción de lo que se realiza en cada uno de ellos que llevarán la guía en la investigación de este tema. Primero se eligen los factores que dañan al pavimento, que serán las variables por considerar dentro del análisis de sobrecarga en carreteras, luego se seleccionan los organismos, concesionarias u operadores de carreteras donde encontraremos la información sobre la situación del peaje y de qué manera está conformado; al mismo tiempo se investiga dentro del contexto internacional las acciones que toman los demás países en el mundo respecto a la relación peaje – sobrecarga. La información que se logre recopilar con las concesionarias y organismos encargados de la administración en las carreteras de cuota será de gran utilidad para visualizar los resultados a donde nos llevará la investigación, una opción es: hacer una propuesta para considerar el involucrar el peso de los camiones en el peaje; y otra es analizar si hay consideraciones en el actual cobro de peaje y verificar si pueden existir mejoras en este proceso. A continuación, se muestra el mapa conceptual de la metodología utilizada.

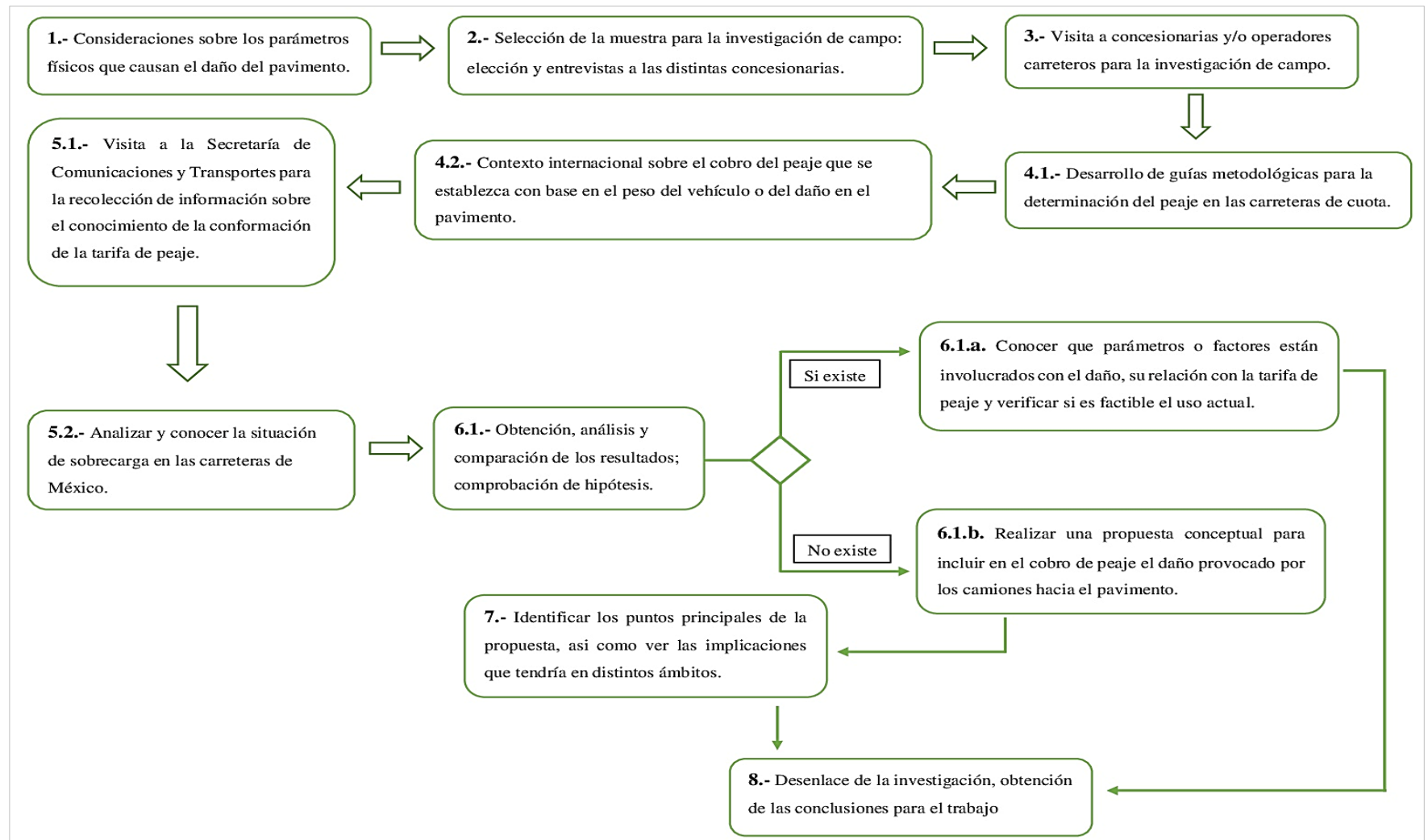


Figura 3.1. Metodología utilizada para el trabajo de investigación. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Descripción de pasos metodológicos.

La metodología por seguir en la investigación consistirá esencialmente en los siguientes ocho pasos que se desglosan enseguida.

Paso 1.- En este primer paso, se identifican los parámetros que se analizarán para la determinación del peaje en las casetas de cobro; son aquellos que causen el daño al pavimento únicamente. En la interacción vehículo-pavimento, se pueden encontrar diversos factores que influyen con el daño, pero son aquellos que terminan jugando el papel más importante, por ejemplo: peso bruto del vehículo, peso por eje, temperatura de la carretera, llantas del vehículo, condiciones de la carretera, la velocidad del vehículo entre otros.

Paso 2.- En este segundo paso, se tendrá que realizar el trabajo de campo como entrevistas con el personal de distintas concesionarias de carreteras en México, con motivo de que son los principales activos en el desarrollo carretero del país. La selección de las concesionarias se hará en la zona céntrica del país, por motivos de recursos no se abre la cobertura hacia el restante del país y se enfoca solamente esta región.

Paso 3.- Una vez elegidas cuales concesionarias se incluyen dentro de la zona de estudio y cuales darán respuesta a la solicitud de visita, se aplicará el cuestionario o guía metodológica con el motivo de conocer su metodología para la elaboración de las cuotas de peaje y aquello que tenga relación con las tarifas de peaje. Dicho esto, se visitarán las concesionarias que éstas respondan a la solicitud, se espera que la respuesta sea positiva de aquellas que entren en la zona de estudio para tener información más completa.

Paso 4.- Aquí se comienza a formular un cuestionario o guía metodológica para conocer toda la información acerca de la conformación de la tarifa de peaje, que tipos de estructuración tarifaria se aplican en carreteras, entre otras preguntas relacionadas con la situación del peaje en México; con este paso se logra saber cuáles concesionarias ceden ante la información que se solicita y cuales se niegan a contestar a las preguntas. Se analiza la metodología que utilizan estos operadores de carreteras para la determinación de sus cuotas de peaje, identificar en que se basa, que parámetros o factores intervienen, las medidas o los criterios que consideran para fijar la tarifa de peaje que se le cobra al usuario, y con esto, saber si algún factor de daño al pavimento está

presente dentro del cálculo. Al mismo tiempo, es importante investigar si existen países en los cuales sus peajes se basen en el peso del vehículo o en el factor de daño hacia la infraestructura, esto para conocer qué acciones implementan en países donde tienen en cuenta esta problemática en las carreteras.

Paso 5.- Debido a la información obtenida en el paso anterior, se establecerá tener contacto con la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), directamente con la Dirección General de Desarrollo Carretero, con personal que se encargue de la operación de las carreteras del país que ayude a proporcionar información para la investigación. Se considera a la SCT porque es el máximo organismo de transporte que aprueba todos los proyectos carreteros en México y que mantiene a cargo de la planeación y operatividad de toda la red carretera. Al mismo tiempo, durante este paso, se investigará la situación de sobrecarga en las carreteras de México, porque será el parteaguas para analizar la gravedad de este problema en la red carretera, averiguar lo mayor posible sobre el exceso de carga con datos disponibles.

Paso 6.- Esta parte de la investigación es clave, porque se abren dos posibilidades para llegar a los resultados esperados; se conocerán los métodos para conformar una tarifa de peaje y a partir de aquí, se decide si se realiza la propuesta o se analizan los métodos actuales y sus fortalezas y debilidades. Si la respuesta fue positiva, es momento de conocer las metodologías actuales y verificar su viabilidad a la hora de aplicarla en campo así como la relación con el daño en el pavimento o si es necesario, modificar, quitar o agregar algún parámetro para obtención de mejores resultados en los métodos. En su defecto, el caso negativo sería proponer la inclusión del daño en la conformación de una tarifa de peaje en las carreteras de cuota mediante una propuesta que permitiera cobrar ese daño al pavimento por los camiones de carga excedidos en peso, apoyado sobre otros métodos existentes e instrumentos que ayuden a determinar una tarifa justa para aquellos camiones sobrecargados.

Paso 7.- Este paso depende si se llegara a hacer la propuesta de una tarifa de peaje que sea con base en el peso del camión; en caso de llegar a este paso se considerarán los pros y contras que puede tener en un principio la propuesta, analizar los ámbitos legales, administrativos y tecnológicos-operativos o aquellos donde la propuesta tenga implicaciones, dar a conocer las

ventajas de la propuesta para dar paso a la aplicación de la misma, así como el evaluar y considerar los fundamentos de esta propuesta.

Paso 8.- En este último paso, se obtendrán los resultados de los factores analizados en las metodologías que se investigaron respecto a los concesionarios de carreteras; así como conocer si existen factores que estén inmiscuidos en la conformación tarifaria y si no hay, proponer una política para basar la tarifa de peaje conforme al daño en el pavimento ocasionado por los camiones de carga. Ponderar si los parámetros manejados son adecuados como para incorporarlos a una tarifa de peaje. Ahora se dará lugar a la comprobación de la hipótesis y las conclusiones que se determinan así como las recomendaciones obtenidas durante la investigación.

### 3.3 Formato de la guía metodológica.

A continuación, se muestra el cuestionario de las preguntas que se elaboraron para utilizarlas durante las entrevistas a las concesionarias u operadores de carreteras, así como al personal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la obtención de la información acerca de las metodologías para la conformación de una tarifa de peaje, conocer todos desde la raíz hasta la aplicación de la tarifa.

Tabla 3.1. Cuestionario generalizado para las concesionarias y operadores de carreteras.

| PREGUNTA                                                                      | IDEAL | AUTOPISTAS<br>DE<br>MICHOACÁN | SECRETARIA DE<br>COMUNICACIONES Y<br>TRANSPORTES |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| ¿Cómo se fija una cuota de peaje?                                             | X     | X                             | X                                                |
| ¿Se utilizan tarifas promedio máximas para determinar una cuota de peaje?     | X     | X                             | X                                                |
| ¿Qué consideraciones se toman si las tarifas promedio máximas no se utilizan? | X     | X                             | X                                                |
| ¿Qué metodologías se usan al elaborar una tarifa de peaje?                    |       | X                             | X                                                |
| ¿Se rigen mediante algún modelo de concesión?                                 | X     | X                             | X                                                |
| Dentro de la conformación de la tarifa de peaje, ¿involucran el factor daño?  | X     |                               | X                                                |
| ¿Qué medidas se toman en este rubro para sopesar el daño al pavimento?        |       |                               | X                                                |
| ¿Son un modelo de negocio las autopistas concesionadas?                       | X     | X                             | X                                                |
| ¿Se podría involucrar el daño a los pavimentos en la tarifa de peaje?         | X     | X                             | X                                                |

Fuente: Elaboración propia.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Concluida la parte del trabajo de campo relacionada con las entrevistas a las concesionarias que abrieron las puertas para lograr obtener la información solicitada por parte del personal de la empresa Impulsora del Desarrollo y el Empleo en América Latina (IDEAL) y también de la concesionaria de Autopistas Michoacán; dentro del mismo marco, se visitó a la Dirección de General de Desarrollo Carretero de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a partir de este punto y mediante la sección de preguntas se obtuvo la documentación necesaria con respecto al cobro de tarifas de las carreteras de cuota en México. Cada una de las concesionarias durante el trabajo de campo complemento la información de la otra parte sobre la conformación de las cuotas de peaje y recopilando lo que a continuación se presenta. Se comienza por el tema de estructuración tarifaria en la red carretera, después extendiendo el tema hacia las tarifas máximas y las tarifas promedio máximas que se presentan en México.

### 4.1 Elementos de una tarifa de peaje.

En este apartado, se describen los elementos que integran una tarifa de peaje en las carreteras de cuota en México de acuerdo con la información recabada en el trabajo de campo con las concesionarias. Este proceso incluye una serie de metodologías que abarcan diversos aspectos tanto económicos como sociales desde su raíz; en su conjunto forman estudios de demanda necesarios para lograr establecer un nivel de ingresos máximos en la carretera de cuota. De esta manera entonces, se describen las generalidades de la conformación de una tarifa de peaje en México.

#### 4.1.1 *Flujos vehiculares.*

Para comenzar, se puede hacer mención del tema de los cálculos de flujos vehiculares, hay dos métodos de asignación de tránsito que se abordan: primero, el método de asignación de tránsito AASHTO y segundo, el método de redes. De manera general, el método AASHTO se basa en la observación estadística del comportamiento de los conductores cuando pueden elegir entre dos

itinerarios y se conoce de manera objetiva la relación de tiempos de recorrido entre ellos, éste forma la variable más representativa del método, debido que es una función de la distancia por recorrer  $t = f(d)$ , Torres y Pérez (2002). El procedimiento utilizado en estos estudios para obtener los tiempos de recorrido vehicular en campo para determinar las velocidades de operación es el método de lectura de placas y el método de vehículo flotante. Dentro de este método, interviene el cálculo del factor de utilización, de forma general éste toma en cuenta los tiempos de recorrido en la ruta a la que se pretende asignar un volumen de tránsito, la cual para efectos del estudio recibe el nombre de ruta alterna (cuando la red en estudio ya existe) o bien ruta con proyecto (cuando la ruta en estudio no existe y se pretende incorporar a la red que se trata de analizar). Los tiempos de recorrido deben obtenerse en campo y en gabinete, durante la etapa de gabinete los tiempos de recorrido se logran mediante el Manual de Capacidad Vial.

El otro método de asignación de tráfico utilizado es el de redes regionales, tiene una relación estrecha con un parámetro físico anteriormente ya mencionado, la rugosidad del camino. La rugosidad de la superficie de rodamiento determinará la eficiencia vehicular tanto operativa como económica. Dentro de este método se incluyen los costos más importantes y representativos que influyen en los usuarios, como el costo de operación vehicular, el costo del tiempo de recorrido y el peaje cuando se trate de carreteras de cuota.

#### *4.1.2 Encuestas Origen – Destino y de Preferencia declarada.*

El siguiente estudio son las encuestas origen – destino, se enfocan al conocimiento de los orígenes y destinos principales de los usuarios actuales de las vías existentes y potenciales de los nuevos proyectos, identificando los flujos de corto y largo itinerario. Dentro del estudio, se observan las principales características del usuario (por ejemplo, motivo de viaje, nivel de ingresos, frecuencias de viaje, entre otros atributos de importancia); de una vista general, se evalúa la movilidad de los usuarios. Estas encuestas deben realizarse en el área de influencia del estudio previamente definida, procurando entrevistar todos los tipos de usuarios susceptibles de ser afectados por la infraestructura y también efectuarse durante días considerados representativos (típicamente martes a jueves). Es necesario entonces el desarrollar matrices de viaje y dentro de la

muestra de encuestas se creará una matriz representativa del tráfico que circula sobre la red vial en un día promedio. En los aforos realizados se recopilan los tipos de vehículos que transitan clasificándolos de la siguiente manera:

- Automóviles
- Autobuses foráneos de 2 o 3 ejes
- Camiones unitarios de 2,3 ó 4 ejes,
- Camiones articulados I, son camiones de 5 o 6 ejes
- Camiones articulados II, son camiones de 7 ejes o más.

Existen formularios de encuestas base proporcionadas de origen - destino habituales utilizados por la Dirección General de Desarrollo Carretero (DGDC), y según sean las características del proyecto se incluyen nuevos elementos a consideración de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y de la empresa supervisora para diseñar el formato definitivo para el trabajo de campo. De igual forma, también hay que definir el tamaño de muestra de encuestas de O-D, los puntos de encuesta durante el tramo deben estar activos las 24 horas del día por tres días seguidos, por ejemplo, de jueves, viernes y sábado; además, la muestra se divide en cinco categorías de vehículos (automóviles, autobuses y tres tipos de camiones). En los anexos del A6 a A9 se ejemplifican formatos utilizados en la autopista Monterrey – Nuevo Laredo de encuestas de origen – destino y de preferencia declarada para cada tipo de vehículo según las características a evaluar, respectivamente.

Las encuestas de preferencia declarada son un conjunto de metodologías que se basan en juicios declarados por individuos acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas en las que se ven involucrados y que deben ser lo más aproximadas a la realidad. Existen distintas técnicas de preferencias declaradas: análisis conjunto, medición funcional y análisis de compromisos; las técnicas de preferencias reveladas permiten obtener estimaciones de demanda a partir de las elecciones realizadas por los individuos en el mercado real, así es que las principales fuentes de datos utilizados en estas técnicas son las encuestas de origen y destino de viajes (Ortúzar, 2000).

#### *4.1.3 Análisis de sensibilidad tarifaria y pronóstico de aforos e ingresos.*

El análisis de sensibilidad tiene por objetivo conocer la sensibilidad o elasticidad de la demanda de cualquier autopista con respecto a la tarifa de peaje aplicada por el uso de esta. Este análisis realizado consiste en evaluar la demanda captada del proyecto para distintos niveles de tarifa. El análisis puede iniciarse evaluando la demanda de la autopista en un escenario en el cual no se cobre tarifa de peaje; así se analizan diversos escenarios tarifarios para conocer el ingreso que se obtendría por el cobro de tal tarifa y se realiza para cada tipo de vehículo. Sin embargo, es importante mencionar que en el caso de los vehículos pesados la sensibilidad de estos es baja. Caso contrario se presenta en los vehículos ligeros donde a medida que la tarifa de peaje incrementa, el número de vehículos diarios asignados al tramo en estudio disminuye. Este es un comportamiento esperado en los proyectos nuevos y valida el correcto proceso de calibración del modelo de transporte. En los Anexos A9 al A14 se muestran gráficas de sensibilidad tarifaria que se obtuvieron por medio de la investigación, con respecto a la Autopista Tuxpan - Ozuluama y sirven como ejemplo en los análisis de este tipo que se presentan en la carretera. Por ejemplo, en el anexo 9 se obtiene que el análisis de sensibilidad de la demanda de automóviles arroja como resultado una tarifa de \$1.48 pesos que maximizaría los ingresos por kilómetro sin IVA y por lo tanto un total de \$155.40 para los 105 kilómetros que tiene el trayecto. En el siguiente anexo 11 y 12, se muestran las gráficas para los camiones unitarios, la sensibilidad arroja como resultado una tarifa que maximizaría los ingresos de \$3.27 pesos por kilómetro sin IVA y por lo tanto un total de \$343.40 pesos para el tramo. Para finalizar, los anexos 13 y 14 hacen alusión a los camiones articulados, como resultado una tarifa que maximizaría los ingresos de \$4.90 pesos por kilómetro sin IVA con un total de \$514.50 pesos para todo el trayecto. De esta manera, el análisis de sensibilidad tarifaria permite observar la manera en cómo se comportarían los distintos usuarios que utilizarán la carretera, y así identificar cual escenario sería el ideal para maximizar el ingreso al tramo sin dejar de tener un mayor número de usuarios posibles.

## 4.2 Estructuración tarifaria.

En este apartado, la información plasmada como parte de los resultados con respecto a las estructuras de las tarifas de peaje se logra gracias a la entrevista proporcionada en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en la Dirección General de Desarrollo Carretero con el Director de Optimización de la Red de Autopistas, Lic. Raúl Huerta García; de igual manera en esta misma Dirección General de Desarrollo Carretero, se tuvo contacto con el Director de Planeación Operativa, Ing. Fernando Leandro Hernández; ambos servidores públicos proporcionaron la información que enseguida se presenta.

### 4.2.1 Tarifas máximas.

Comenzando por decir, las carreteras de cuota en México tienen un modelo de estructuración tarifaria o también llamados grupos tarifarios; inicialmente las carreteras nacieron bajo el formato presentado en la Tabla 4.1, donde cada tipo de vehículo pagaba cantidades particulares.

Tabla 4.1. Estructura de cobro histórica de las primeras autopistas de México.

|          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>A</b> | <b>B2</b> | <b>B3</b> | <b>B4</b> | <b>C2</b> | <b>C3</b> | <b>C4</b> | <b>C5</b> | <b>C6</b> | <b>C7</b> | <b>C8</b> | <b>C9</b> |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

**Fuente:** Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT (2018).

En esta y las demás estructuras de cobro que se presentan más adelante, el automóvil es el vehículo estándar en el cual se basa el cobro; dicho anteriormente, la lógica que presenta esta estructura de la Tabla 4.1 es que un autobús tipo B2 pagaría dos veces la cantidad que le correspondería pagar al automóvil y un camión tipo C5 le tocaría pagar cinco veces lo que paga el auto, así sucesivamente hasta llegar al camión con 9 ejes, es decir, es una relación de pago proporcional al número de ejes con el que cuenta cada vehículo. Los vehículos que tienen los mismos ejes se consideran iguales, por ejemplo, los tipos B2 y C2 se consideran iguales entre sí, los tipos B3 y C3 también, y de la misma manera los tipos B4 y C4. Tácitamente hay un reconocimiento que conforme mayor número de ejes mayor daño al pavimento iba a proporcionar ese gran vehículo,

aunque no necesariamente ocurre esto. Esta fue la razón por la cual cada configuración tenía diferentes precios.

Después de que se utilizó esta estructura de cobro histórica en las carreteras de cuota en México, se emigró hacia las estructuras tarifarias actuales mostradas en la Tabla 4.2, estas estructuras como están conformadas, de manera similar reflejan un cierto reconocimiento del tamaño del vehículo que está circulando sobre las autopistas.

De acuerdo con la información obtenida en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el daño en el pavimento no es un concepto que se vea explícito en la conformación de una tarifa, es decir no está reflejado; aunque por medio de estas estructuras tarifarias se observa una intención de manifestar a través de la misma y la conformación de los grupos vehiculares un cierto impacto sobre la carretera, es decir, una cuestión combinada entre un factor económico y un factor de daño, no obstante, no están diferenciados estos dos factores en la tarifa. En la siguiente Tabla 4.2 se muestran los grupos vehiculares conformados actualmente en las autopistas mexicanas para las cuotas de peaje. Los grupos de automóviles particulares y los autobuses en general pagan la misma cuota, mientras que existe una ligera variación en los grupos que contemplan los camiones a partir de los 2 ejes. Hoy en día, en las carreteras de México conviven estos tipos de estructuración tarifaria que, mediante la agrupación de los tipos de vehículos, se puede distinguir una intención de manifestar el daño causado por el vehículo que circula sobre la autopista, aunque no de manera tacita, va encaminado más hacia una cuestión de dimensiones y del espacio ocupado por el vehículo; con esto se concluye que no existe una diferencia sustancial en estos dos grupos tarifarios. El único contraste existente es que, la estructuración tipo I tiene una relación de cobro que va desde 1 hasta 5 o 5.5 veces el automóvil, esta estructura es la mayoritaria en las autopistas de caminos y puentes federales de ingresos que ya son pocas. La estructuración tipo II generalmente tiene una relación de 1 hasta 3.5 a 4 o en ocasiones de hasta 5.5 veces el automóvil con respecto al camión C9 (nueve ejes).

Tabla 4.2. Estructura tarifaria actual empleada en las carreteras de cuota en México.

|                                          |          |          |                 |              |                    |
|------------------------------------------|----------|----------|-----------------|--------------|--------------------|
| <b>Estructuración tarifaria. Tipo I</b>  | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C2 C3</b>    | <b>C4 C5</b> | <b>C6 C7 C8 C9</b> |
| <b>Estructuración tarifaria. Tipo II</b> | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C2 C3 C4</b> | <b>C5 C6</b> | <b>C7 C8 C9</b>    |

**Fuente:** Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT (2018).

La tarifa de peaje que se cobra por vehículo estándar/kilómetro engloba los aspectos de la conservación, el mantenimiento, los gastos de administración, los gastos de operación y gastos de recuperación de capital, es decir, con esto el factor daño esta, de alguna manera, incluido en los aspectos de conservación y mantenimiento, pero explícitamente no está visible en la tarifa. El cobro de peaje con base al peso del vehículo atraviesa por un asunto meramente económico más que técnico. Se observa esto porque económicamente los vehículos más grandes son más eficientes que los vehículos con menos ejes (2,3 y 4 ejes).

De ahí que, el origen de las tarifas de las carreteras en México se inicia con la licitación de un proyecto nuevo de autopista, donde se hacen estudios de demanda con proyección de aforos e ingresos así como de sensibilidad tarifaria; estos estudios lo realizan empresas especializadas donde el objetivo es hacer un reconocimiento de la red aledaña en donde se construirá la carretera; entre los estudios que se pueden mencionar son los cálculos de flujos vehiculares por el método de redes y AASHTO que tienen por objetivo calcular cuántos vehículos circularían por la autopista de cuota y cuántos por la vía libre, también se hacen encuestas de origen/destino y de preferencia declarada, además se analiza la disponibilidad de pago del usuario. A través de estos estudios se concluye que el usuario estaría dispuesto a pagar una cantidad específica por kilómetro recorrido denominada por las empresas como una tarifa de mercado.

Como resultado de este procedimiento, una vez que se tiene la tarifa unitaria por vehículo estándar (automóvil) se comienza por conformar las demás categorías por medio del agrupamiento vehicular que se establece en la Tabla 4.2, donde se puede llegar a cobrar hasta 4 o 5 veces al camión más pesado con respecto al automóvil, según se establezca en el título de concesión que firman las partes interesadas: la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y la concesionaria elegida para

la operación de la carretera. Observando esta parte de los resultados, vemos que el efecto del daño dentro de la tarifa está oculto por un elemento que lo supera: el factor económico. Entonces, al momento de elegir la estructura tarifaria que rige la autopista, se puede dilucidar un débil reconocimiento para este factor daño, pero que no termina por ser predominante.

Sucede que, dentro de la gráfica de la sensibilidad tarifaria para el usuario, se muestra la tarifa de mercado para la obtención del ingreso máximo que tendrá la carretera de cuota según los aforos vehiculares registrados en los estudios previos; no obstante, la concesionaria tiene la capacidad de aumentar la tarifa base para el vehículo estándar por kilómetro recorrido, esta acción sucede debido a que la concesionaria observa que con esa cuota no logrará obtener el capital invertido en la carretera; al momento que esto ocurre, se ilustra en la gráfica de sensibilidad tarifaria que el tránsito vehicular se verá disminuido por el aumento de la tarifa por kilómetro recorrido al mismo tiempo que los ingresos también se verían afectados. En efecto, cuando ocurre este proceso la tarifa de mercado automáticamente se convierte en una llamada tarifa financiera. Se le llama así, porque estratégicamente las concesionarias se mueven dentro de la gráfica de sensibilidad tarifaria y evalúan el punto donde ellos podrán recuperar su capital invertido con esa tarifa base.

Ahora bien, la estructura tarifaria elegida para la autopista forma parte del daño en el pavimento, pero no de una manera puntual ni explícita, debido a que los elementos económicos – financieros sobrepasan los aspectos técnicos por la simple razón de que las concesiones son un negocio, es una cuestión de economía, por consiguiente, esta estructura no tiene una relación física – técnica con el peaje.

La tarifa inicial que se cobra en las carreteras de cuota es fijada por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes una vez que se le otorga el título de concesión del tramo carretero a la concesionaria en cuestión, esta tarifa viene determinada desde que se genera el proyecto de concesión de la carretera, incluso durante la licitación del proyecto. La tarifa de cobro de peaje no tiene ninguna relación con el daño al pavimento, lo cual está errado desde un punto de vista de conservación de la carretera, ese costo por daño no se ve reflejado en sus ganancias como operador carretero. Existe una variante con la estructuración tarifaria, la llama tarifa promedio máxima la cual se explica a continuación.

#### 4.2.2 Tarifas Promedio Máximas.

La tarifa promedio máxima es una variante de las estructuras tarifarias antes vistas, el principio es el mismo pero una diferencia es que se basa en la ecuación (1), pero sin dejar de seguir una lógica económica porque las tarifas se pueden manejar de acuerdo con el volumen de tránsito, en otras palabras, se “juega” con la sensibilidad de mercado de la carretera. Entonces, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, a través de la Dirección General de Desarrollo Carretero, determina la tarifa promedio máxima que puede aplicarse en la vía, y a su vez el concesionario establece la tarifa específica que cobrará a cada tipo de vehículo tomando en cuenta las características de cada vía.

Esta tarifa promedio observada se expresa mediante la siguiente fórmula, a continuación, se explica cada concepto involucrado en la expresión 1.

$$\sum \text{ING}_i / \sum_{i=1}^N (\text{VE}_i * \text{LONG}_i) \leq \text{TPM} \dots\dots\dots (1)$$

**ING<sub>i</sub>** = Ingreso sin IVA generado en el tramo i generado en el año calendario del análisis.

**VE<sub>i</sub>** = Vehículos estándar totales registrados en el tramo i, calculados multiplicando el número total de vehículos de cada tipo por su factor de equivalencia correspondiente.

**LONG<sub>i</sub>** = Longitud en kilómetros del tramo i.

**TPM** = Tarifa Promedio Máxima.

**N** = Número de tramos.

La tarifa promedio máxima se formula en pesos por vehículo estándar/km y se obtiene mediante un procedimiento de cálculo que incorpora el aforo total previsto para la vía de comunicación y su composición vehicular, integrando un análisis de rentabilidad y de una recuperación de las inversiones realizadas en el proyecto por las empresas involucradas. Es decir, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes establece el nivel inicial de la tarifa promedio máxima sin considerar el impuesto al valor agregado (IVA) y a precios de una fecha determinada por medio del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). Los vehículos estándar/kilometro

se calculan con base en las características físicas de cada tipo de vehículo; en la Tabla 4.3 se muestran las equivalencias de los vehículos correspondientes. Las equivalencias en vehículos estándar que se encuentran a la derecha de la Tabla 4.3, son los rangos que oscilan para determinar las equivalencias del vehículo estándar, estos son los rangos más comunes que se presentan.

Tabla 4.3. Tabla de equivalencias en vehículos estándar para las tarifas promedio máximas.

| Clave | Descripción del tipo de vehículo.                                                              | Rango de equivalencias en vehículos estándar. |      |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------|
|       |                                                                                                |                                               |      |
| A     | Automóvil, combi y cualquier otro vehículo con hasta 10 asientos para transporte de pasajeros. | 1.00                                          | 1.00 |
| B     | Autobús de 2 y 3 ejes para transporte de pasajeros.                                            | 2.00                                          | 2.50 |
| CU    | Camión de carga unitario de 2, 3 y 4 ejes.                                                     | 2.00                                          | 3.00 |
| CA1   | Tractocamión con semirremolque de 5 y 6 ejes.                                                  | 3.00                                          | 3.50 |
| CA2   | Tractocamión con semirremolque de más de 6 ejes                                                | 4.0                                           | 5.50 |

Fuente: Dirección General de Desarrollo Carretero, SCT. (2018).

Las tarifas específicas se fijan en pesos cerrados una vez considerando el IVA a pagar. Este tipo de tarifa aplicable no puede ser mayor que la tarifa específica aplicada a otro tipo de vehículo con un mayor número de ejes. La tarifa promedio observada durante el proyecto nunca podrá exceder a la tarifa promedio máxima una vez fijada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; la tarifa promedio observada resulta de dividir los ingresos totales del proyecto, entre la longitud total de la carretera y el número de vehículos estándar registrados en el tramo, determinado del tránsito esperado que tendrá la carretera.

La tarifa promedio máxima se ajusta anualmente mediante la aplicación del Índice Nacional de Precios al Consumidor, para reflejar el impacto de la inflación en el año. La concesionaria determina niveles tarifarios por horarios, volúmenes, pesos o descuentos y con esto, permite calcular la mezcla que maximice los ingresos en la carretera.

Observando estos resultados, se concluye que la tarifa máxima (TM) y la tarifa promedio máxima (TPM) son los únicos modelos que se utilizan para la conformación de una tarifa de peaje en las carreteras de México, se actualizan con la inflación del país, siempre y cuando la tarifa promedio máxima cumpla con la condición de que la tarifa promedio observada, el factor que resulte de aplicar la formula (1) debe ser igual o menor a la tarifa promedio máxima.

Es importante mencionar que durante la investigación se presentaron limitaciones de las concesionarias, de manera inicial se pensó en el organismo descentralizado CAPUFE que debía ser entrevistada, esto con motivo de que son las que tienen cerca del 40% de la red concesionada de autopistas, desafortunadamente la respuesta fue nula de su parte. En cambio, tanto la concesionaria IDEAL y Autopistas Michoacán fueron muy accesibles al momento de establecer un contacto y durante la sesión de preguntas todas aquellas fueron contestadas sin problema, incluso a partir del trabajo de campo específicamente en la concesionaria Autopistas Michoacán se logró agilizar el proceso por medio de los contactos sugeridos por parte de la Dirección General de Desarrollo de Carreteras en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Ahora bien, IDEAL permitió tener acceso a información de proyectos donde ellos participaron, dejando entre ver los métodos utilizados para conformar la tarifa en los tramos en cuestión con el objetivo de conocer en datos crudos todo lo que involucra la elaboración de una tarifa de peaje, de esta manera se puede decir que IDEAL fue quien proporcionó mayores datos como tal e información en papel; mientras que Autopistas Michoacán fue muy puntual y rígida con las respuestas que otorgo al momento de la visita a las instalaciones, no quisieron meterse más allá del tema y únicamente se limitaron a contestar lo que se les pregunto de manera corta y sencilla.

#### 4.3 Propuesta para el peaje basado en el peso

Conforme a toda la información de ámbito internacional y nacional que se ha estado tratando en la investigación, ahora toca el turno de hacer una propuesta en cuanto a algún tipo de esquema o estructura tarifaria hacia los camiones de carga para el caso particular de México, es decir, implementar una tarifa que sea justa o trate de reflejar de una manera cercana a la realidad el daño provocado por este modo de transporte y que manifieste el uso que se hace de la infraestructura,

tanto hacia el pavimento como los puentes que estén sobre esta vía de comunicación. Comenzaremos por verificar que leyes, normas, métodos o cualquier otro tipo de sustento hay detrás de esta propuesta inicial para poder aterrizarla de modo que pueda ser adecuada para México. Como un paso inicial necesario, se debe contar con una infraestructura adecuada a las necesidades que demande la carretera y la flota vehicular, esto es, tener un buen estado del pavimento con especificaciones adecuadas (ancho de carril, acotamientos, elementos para seguridad vial, etc.); dentro del rubro de contar con la infraestructura adecuada y para lograr el objetivo inicial, se complementa la implementación de dispositivos de pesaje dinámico, los cuales ya se conoce la funcionalidad y la aportación que pueden dar, por lo tanto, es por aquí en donde empezaremos esta propuesta y sustentarla desde varios ámbitos. Es considerable señalar que, en el transcurso de la investigación, en los archivos de los estudios de origen – destino recopilados por la Dirección General de Servicios Técnicos, a partir del año 2011 al 2017 se tienen registradas 99 estaciones que cuentan con información de volúmenes de tránsito, sin embargo, las estaciones se quedan cortas con el alcance que pueden dar y no solamente tener la información de volumen si no aprovechar estos sistemas de pesaje dinámico.

#### *4.3.1 Marco Legal*

Dentro del marco legal y normativo respecto a este tema, un primer paso es tener un control de pesos para los camiones de carga en las carreteras y de esta manera conservar estos caminos, para esto la implementación de sistemas de pesaje dinámico; en México existen dos normas que tratan acerca de estos dispositivos o al menos se mencionan; la primera es la NOM-012-SCT-2-2017, en los apartados 9 y 10 (vigilancia y procedimiento de evaluación de la conformidad) se hace referencia que la SCT y la Policía Federal mediante centros fijos de verificación de peso y dimensiones y en puntos automatizados de control de peso y dimensiones, mediante sistemas de pesaje electrónico y medición de dimensiones de los vehículos y configuraciones en circulación, se verifique que cumplan con el peso y dimensiones máximos autorizados por tipo de vehículo y camino que se establecen, de no ser el caso se les podrá sancionar con una multa correspondiente hacia los transportistas, añadir a esto, que los sistemas deben contar con informes de calibración y

dictámenes de verificación expedido por la Procuraduría Federal del Consumidor y laboratorios de calibración acreditados y aprobados. En el punto 10.4, que habla acerca de la verificación, se enlistan las características generales, y en algunos apartados las características específicas, de la metodología que deben seguir para que estas básculas de pesaje arrojen datos fieles para un trabajo correcto durante en las respectivas mediciones.

Cabe destacar acerca de la investigación que, México ha estado de alguna manera al pendiente de esta situación de sobrecarga de camiones, tan así es, que actualmente se tiene un anteproyecto de una norma dedicada únicamente a los instrumentos de medición y sistemas de pesaje dinámico a implementar en las carreteras, este documento se encuentra aún como un proyecto de norma, el 19 de Julio de 2017 se dio a conocer en el Diario Oficial de la Federación (DOF) con nombre: "PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-198-SCFI-2017, Instrumentos de medición - Sistemas de pesaje y dimensionamiento dinámico vehicular - Requisitos técnicos y especificaciones". Bajo el reglamento de la Ley Federal sobre metrología y normalización, básicamente esta norma trata de establecer los requisitos técnicos, componentes, características y especificaciones, así como los criterios de calibración que deben cumplir los sistemas de pesaje electrónico y medición de dimensiones de los vehículos y configuraciones vehiculares; los elementos y equipos que lo integran, así como las características del sitio de instalación, resaltar que esta norma está muy bien respaldada por normas internacionales como la OIML R 134-1:2006, COST-323 y ASTM E 1318-09, todas ellas reconocidas en el campo de los sistemas de pesaje dinámico. Hace referencia particular en el modelo de medición que se tratará de establecer bajo esta norma, pero cabe destacar que únicamente se aplicará para control de pesos y dimensiones, sin ningún efecto más allá, simplemente para detectar a aquellos vehículos que estén fuera de rango que rige la norma de pesos y dimensiones, debido a esto, se debe sacar provecho más de este tipo de aplicación. En México existen pocas empresas, aunque extranjeras, que se dedican a aplicar estos dispositivos, la empresa suiza líder mundial Kistler, cuenta con este tipo de servicios denominados "enforcement" que se dedican a controlar el peso y las dimensiones de los vehículos, pero dentro de sus productos en catálogo, cuentan con un sistema capaz de determinar el peaje conforme al peso del vehículo llamado *KiTrafic Plus*, a los usuarios se les cobra bajo el principio "más paga el que más contamina" y la tarifa que se aplica depende del peso real del vehículo y del consecuente desgaste de la vía, los concesionarios con este sistema pueden sancionar de forma inmediata las

violaciones del límite de peso y denegar el acceso a puentes o carreteras a aquellos vehículos que superen dicho límite; de ahí que, el proyecto de la norma debe considerar aplicar en un futuro este tipo de aplicaciones del determinar el peaje de acuerdo al peso del vehículo, el primer paso es la implementación de sistemas de pesaje dinámico conforme la norma e insistir en considerarlo en un futuro a corto plazo; México es un país que necesita incorporar esta tecnología para tener cuotas de peaje justas debido que la sobrecarga en camiones es inevitable.

#### *4.3.2 Marco Administrativo.*

En este punto, es importante conocer las implicaciones que tendría este tema dentro del marco de las instituciones involucradas al implementar estos dispositivos y del como seria el proceso antes y durante la aplicación. El hecho de tener una norma mexicana dedicada exclusivamente a estos dispositivos de pesaje dinámico, aunque en proyecto todavía, habla del interés por parte de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes respecto al tema, pero también en un momento dado se presentan acciones donde las partes no están de acuerdo del todo.

Por medio de la entrevista que se realizó al Ing. Jose Luis Ruíz Colotl, personal de Kistler, explicó detalles de la situación actual en México sobre estos dispositivos, la empresa tiene algunos ya instalados para diferentes propósitos: son proveedores del producto para el Grupo IPC al igual que para Grupo Indra, ambos dedicados generalmente a la identificación de pesaje y control para distintas ramas de la industria, esto más concretamente para el Grupo IPC. Dentro del Instituto Mexicano de Transporte (IMT) cuentan con un dispositivo instalado en la pista de pruebas de vehículos dedicado para estudio de la dinámica vehicular, uso meramente académico. Con la intención de comenzar a introducir estos sistemas de pesaje dinámico en carreteras, hay dos de ellos instalados, uno en la carretera de cuota que va hacia el municipio de Tequila en el estado de Jalisco y otra en la carretera Federal Puebla-Tehuacán, ambos sistemas funcionan como estación piloto donde recopilan datos, pero aún a están a prueba sin ser del todo datos fiables para ser trabajados; en la carretera México - Querétaro existe un centro de verificación de peso y dimensiones pero el sistema no está arrojando datos por ahora, Con lo anterior, se creyera que existe un intento por incorporar estos dispositivos pero al parecer las concesionarias no quieren meterse en los temas de

aplicación de sistema de pesaje dinámico por el dinero a invertir, perciben que no es necesario del todo y pueden no darse cuenta del beneficio que obtendrían en cuanto a tener una carretera segura, controlada y donde se pueden recopilar datos interesantes sobre el tránsito y que logren valorarse como primordiales para un futuro a corto, mediano y largo plazo; como primer paso el decidir experimentar con estos dispositivos es algo aun difícil para las concesionarias de carreteras.

En consecuencia, se deriva cual parte implicada será la encargada de manejar este recurso, las partes involucradas en esta situación son: la Secretaría de Economía, quien en principio sería la encargada de la aplicación de estos sistemas y que se quedaría el recurso generado de las mismas en las carreteras; la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, no vería con malos ojos sacar algún provecho de esto, ya que al final del día se aplicaría en las carreteras donde tienen la jurisdicción necesaria para exigir alguna parte del recurso generado a manera de negocio; y la Policía Federal, quien es aquella que llevaría la ejecución y control de los sistemas en campo, realizando las multas pertinentes para la sobrecarga en camiones, esto pensando que los sistemas funcionen como un control de pesos y dimensiones. Visto desde esta perspectiva administrativa, nos damos cuenta de que todas estas implicaciones generan un conflicto de intereses para las partes involucradas, porque todos quieren obtener un algún beneficio ciertamente monetario, y es aquí donde se queda estancado el proyecto de implementar estos sistemas en campo, existiendo un beneficio aún más importante que el dinero, la posibilidad de obtener datos viales que en un futuro podrán usarse para una mejor planeación de nuevos tramos carreteros, teniendo como principal punto la seguridad de los usuarios, y no progresa de forma positiva por la “la falta de acuerdos” entre los involucrados en este tema. Este esfuerzo debe ser en conjunto para llevarlo a un buen lugar, hacerlo de manera correcta para garantizar un funcionamiento acorde a los sistemas, tomando el mayor provecho y pensar más allá; como el primer paso, es colocarlos en las carreteras, aplicarlos y monitorearlos, una vez que se domine el manejo del sistema y de los datos, ahora se puede dar el siguiente movimiento, usarlos para pesaje dinámico que determine una cuota de peaje justa por el uso de la infraestructura de los vehículos, que con esto sería lo ideal y necesario para México debido al nivel de sobrecarga que presenta en carreteras.

Si bien es cierto que este conflicto de intereses es importante resolverlo lo antes posible y dar seguimiento a lo nuevo con la NOM-198-SCFI-2017, también hay que poner atención a las

esferas que se encuentran más arriba y, como parte de la propuesta es, tratar de unificar los sistemas carreteros en cuestión de las características principales de cada una de las carreteras; expreso por otra parte es, en México el peaje se establece de acuerdo a tarifas máximas y tarifas promedio máximas, para empezar debe elegirse un solo modelo de estructura tarifaria y no tener dos, las tarifas promedio máximas juegan un papel importante para generar mayor ingreso de acuerdo al volumen de tránsito, esto es que los concesionarios pueden subir la tarifa y concentrar ese ingreso donde el dinero circula en una esfera y durante el tiempo que dura la concesión, es un monto de dinero bastante considerable; y las tarifas máximas no dan este “beneficio extra”, entonces la propuesta es mantener y dejar las tarifas máximas únicamente, que son las más predominantes en las carreteras de cuota.

Todas las carreteras nuevas y ya construidas del país pasan bajo la autoridad de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, que es la que dice que características generales y particulares deben tener los caminos, bajo este concepto, el otro punto de la propuesta va encaminada hacia tratar de unificar las concesionarias en el rubro administrativo, tecnológico y económico, dicho en otras palabras, las concesionarias siguen operando estos tramos carreteros pero en el recurso generado tendría acceso tanto la SCT y la concesionaria en turno, la Secretaria únicamente para monitorear y registrar el ingreso pero sin capacidad de disponer de él, pero sí de exigir algún cambio, mejora o cualquier trabajo en caso de ser necesario hacia la carretera, esto es para que la Secretaria a pesar de haber dado una concesión no descuide la infraestructura del camino y mantenerse al pendiente de lo que acontece en el periodo que dure la concesión, con el compromiso de que cada parte tome su responsabilidad que le corresponde para el mismo bien en común.

#### *4.3.3 Marco Tecnológico - Operativo.*

En este punto, se trata la propuesta técnica de cómo implementar una política pública para cobrar peaje bajo la premisa de “más paga el que más daño hace”; ya se ha tratado el tema del marco legal que sustenta bajo normas oficiales mexicanas e internacionales con importante reconocimiento y en el ámbito administrativo, sobre el cómo las Secretarías deberían actuar para un interés en común

y avanzar con la infraestructura carretera; ahora veamos cómo puede determinarse en conjunto una tarifa de peaje con base a estos sistemas y visualizar como cobrar la tarifa conforme al peso del vehículo.

La conformación de una tarifa de peaje tiene su raíz en el sector económico – financiero, y es totalmente correcto porque, los estudios de tránsito y de origen-destino que se realizan se ven reflejados en el volumen de usuarios proyectados hacia la carretera para posteriormente hacer los estudios restantes y determinar la tarifa máxima que se aplicará; pero ahora, habrá que incluir un apartado a esa estructuración tarifaria, el daño que se causa a la infraestructura. El sistema de peaje por peso utilizado en China ha sido favorable para ambos lados, los inversionistas se han visto beneficiados por el dinero percibido y se ha utilizado para el mantenimiento y reparación de las carreteras; su método, como se explicó anteriormente, parte de los sistemas de pesaje dinámico que determinan el peso del camión y de manera instantánea observan si va sobrecargado y se le hace una penalización por violar el límite de peso, es el pago base de la tarifa de peaje más esta cantidad. Debido a que México ha realizado distintos esfuerzos para controlar y evitar la sobrecarga, ha sido imposible lograr el objetivo, incluso existía una iniciativa para prohibir los camiones de doble semirremolque (“*fulles*”) debido a que la gran mayoría de las ocasiones van sobrecargados, y el problema sigue presente. Como seguimiento de esta actividad, es prácticamente inevitable que los *fulles* dejen de circular en México, aunque el control de pesos sea responsabilidad tanto del cliente y del contratista, ambos se cubren las espaldas para obtener mayores ganancias con la mercancía transportada sin importar el daño a la infraestructura, entonces una de las acciones que quedan por hacer es el uso de estos sistemas encaminados hacia determinar el peaje con función al peso. La propuesta en este marco es la siguiente: una vez que se tengan instalados estos pesajes dinámicos hay que cobrar una penalización por la sobrecarga del camión, no necesariamente tendría que manejarse como una multa fija, si no que fuera de esta manera:

- a) Los camiones que circulen vacíos, sin ninguna carga en los remolques, se les cobre una cuota menor de la tarifa máxima establecida en la carretera en cuestión; esto porque van vacíos y no están haciendo un daño considerable, además sirven como una parte incentiva hacia el transportista que viaja sin ninguna carga y no tiene que pagar como si fuera movimiento de mercancía

- b) Los camiones que circulen cargados, pero estén en regla con lo establecido en la NOM-012-SCT-2-2017, únicamente se les cobre la tarifa máxima de acuerdo con su configuración vehicular; esto es lo justo porque van cargados, pero sin exceder ningún límite de peso.
- c) Para el caso de los camiones que van en sobrecarga se propone que se cobren multas o penalizaciones mediante porcentajes una vez que el peso se encuentre por arriba del límite. Los rangos pueden ser determinados por los niveles de sobrecarga más típicos sobre la red carretera, pueden ser de 0% -25%, 25% - 50 %, > 50%. Esto debido a que el daño por camión crece de manera exponencial. Analizando por qué dividir en rangos las penalizaciones es porque no sería justo si hay algún camión que lleva únicamente 2 toneladas de sobrecarga a uno que lleva más de 25 toneladas, el cobro no es equitativo con el daño de uno u otro. Para obtener un porcentaje que represente el nivel de sobrecarga de toda la red carretera es necesario revisar aquellas estaciones que tuvieran esos datos y afinarlos de manera clara. Por ejemplo, los niveles de sobrecarga estarían entre los rangos presentados en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Tabla de rangos de sobrecarga para ejes de camión en porcentaje y toneladas.

| Tipo de eje     | Peso por eje máximo (t) NOM-012-SCT. | Rangos de sobrecarga para estimar el peaje con base al peso del camión. (%) y (t) |                    |           |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|
|                 |                                      | 0 % - 25 %                                                                        | 25 % - 50 %        | > 50 %    |
| <i>Sencillo</i> | 6.5                                  | 6.6 t - 8.125 t                                                                   | 8.125 t – 9.75 t   | > 9.75 t  |
| <i>Dual</i>     | 11                                   | 11.1 t – 13.75 t                                                                  | 13.75 t – 16.5 t   | > 16.5 t  |
| <i>Tándem</i>   | 19                                   | 19.1 t – 23.75 t                                                                  | 23.75 t – 28.5 t   | > 28.5 t  |
| <i>Tridem</i>   | 26.5                                 | 26.6 t – 33.125 t                                                                 | 33.125 t – 39.75 t | > 39.75 t |

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, si esto se analizara por medio de los vehículos más representativos de la red carretera por peso bruto vehicular y los rangos se manejan de la misma forma, quedarían de la siguiente manera mostrada en la Tabla 4.5

Tabla 4.5. Tabla de rangos de sobrecarga para peso bruto vehicular de camión en porcentaje y toneladas.

| Tipo de camión  | Peso bruto vehicular (t) NOM-012-SCT. | Rangos de sobrecarga para estimar el peaje con base al peso del camión. (%) y (t) |                    |           |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|
|                 |                                       | 0 % - 25 %                                                                        | 25 % - 50 %        | > 50 %    |
| <i>C2</i>       | <i>19</i>                             | 19.1 t – 23.75 t                                                                  | 23.75 t – 28.5 t   | > 28.5 t  |
| <i>C3</i>       | <i>27.5</i>                           | 27.6 t – 34.375 t                                                                 | 34.375 t – 41.25 t | > 41.25 t |
| <i>T3-S2</i>    | <i>46.5</i>                           | 46.6 t – 58.125 t                                                                 | 58.125 t – 69.75 t | > 69.75 t |
| <i>T3-S3</i>    | <i>54.0</i>                           | 54.1 t – 67.5 t                                                                   | 67.5 t – 81 t      | > 81 t    |
| <i>T3-S2-R4</i> | <i>66.5</i>                           | 66.6 t – 83.125 t                                                                 | 83.125 t – 99.75 t | > 99.75 t |

Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de los supuestos anteriores, habría que analizar bajo que concepto sería mejor cobrar una multa por sobrecarga; por ejemplo, cuál de estos dos conceptos representan una parte cercana a la real del daño a la infraestructura. El peso bruto vehicular y el peso por eje van estrechamente ligados, pero en esta ocasión la mejor opción por tomar sería el PBV del camión debido a que representaría un daño más cercano a la realidad, además de otros aspectos también a considerar que contribuyen a este daño, pero este factor es el que habría que tomar para complementar esta tarifa de peaje justa para los que generan deterioro a la infraestructura. Los sistemas de pesaje dinámico determinan las cargas por eje, grupo de ejes y peso bruto vehicular, cualquier factor para poder cobrar por este deterioro a la infraestructura se encuentra al alcance con una excelente precisión.

Los resultados derivados de la propuesta recaen en diversos contextos que se han planteado (legal, administrativo y tecnológico - operativo) y con la información recopilada para conocer qué se está haciendo en los demás países alrededor del mundo con respecto a esta situación de sobrecarga en las carreteras, nos lleva a realizar esta propuesta y atacando varios ámbitos para formar una política pública acerca de las tarifas de peaje con base al peso del camión. Es en su conjunto una propuesta inicial sustentada con los datos de los sistemas de pesaje dinámico existentes y que funcionan con un nivel de confianza apropiado, además que se adecua a la situación presente en México; sin embargo, hay que analizar, de igual forma los alcances positivos y negativos que esto podría traer. En la Tabla 4.6 se observan los pros y contra que pueden surgir en el camino.

Tabla 4.6. Tabla de ventajas y desventajas de la propuesta.

| <b>Ventajas</b>                                                                                                                                                                                              | <b>Desventajas</b>                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Este método basado en otro existente (China) tiene aspectos similares a las características de la problemática en México, su implementación será positiva mirando hacia los antecedentes con los que cuenta. | Oposición del autotransporte federal debido a que serían los más afectados con este tipo de política pública al pagar más cuota de peaje. |
| Carreteras bajo un mismo sistema de peaje basado en el peso del camión y de estructuración tarifaria.                                                                                                        | Complicaciones con las concesionarias para la implementación de estos sistemas de pesaje dinámico en las carreteras.                      |
| Mayor control de pesos y dimensiones para identificar el comportamiento de los camiones.                                                                                                                     | Transportistas circularían en las carreteras libres de peaje para evitar esta penalización por sobrecarga de sus camiones.                |
| Iniciativa del Gobierno Federal por comenzar a tratar la problemática de sobrecarga con la NOM-198-SCFI-2017.                                                                                                |                                                                                                                                           |

Información de tránsito, volumen, pesos y dimensiones de los vehículos en tiempo real para futuras investigaciones o estudios acerca del crecimiento de la infraestructura y el comportamiento de los usuarios.

Pago de peaje justo para los usuarios que dañan más, por lo tanto, deben pagar por el daño causado

Fuente: Elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES.

### 5.1 Parámetros considerados y sobrecarga.

Durante la investigación, se tomaron en consideraciones distintos parámetros físicos que se ven involucrados en un deterioro del pavimento, como la temperatura, las llantas y el inflado del vehículo y la rugosidad del camino (IRI). Por ejemplo, el pavimento asfáltico a altas temperaturas se convierte en un material termosensible y con la carga de los camiones esta carretera se vería aún más afectada con las deformaciones sufridas, a diferencia de cuando ésta se encuentre en una temperatura donde el material ya no es tan fácil de deformarse. De modo similar, el parámetro de las llantas y la presión con las que circulan tienen sus implicaciones particulares; no sería una mala idea que la tarifa también estuviese relacionada con estos parámetros, por ejemplo “una tarifa móvil”, que sea mayor a la tarifa base en la carretera pero en horarios donde la temperatura del pavimento asfáltico es alta y es susceptible para que el daño se presente de una forma permanente, cuando este fuera de este horario la tarifa regrese a la cuota establecida. El tipo de llanta también es un parámetro para considerar, la NOM-012-SCT autoriza un tipo de llanta denominada llantas super sencilla X-ONE de Michellin para la sustitución del arreglo dual para tractocamiones doblemente articulados, no es lo mismo un eje dual que tiene 4 llantas comparado con este nuevo arreglo que solo tiene 2 llantas, hay más superficie de contacto de la llanta lo que representa un esfuerzo menor.

Dentro de las variables, el peso bruto vehicular y el peso por eje son los parámetros más destacados que se ven implicados dentro de la propuesta que se presenta en la investigación, de aquí partir para incluir el daño generado dentro del peaje de los camiones de carga; el tipo de llanta y el inflado. tienen una relación estrecha con el peso por eje debido al comportamiento que la llanta presente, esto por la sustitución del arreglo dual por la llanta super sencilla. y la fuerza que ejerza la carga del camión hacia el eje que recae en el pavimento dependerá también del tipo de llanta y el área de contacto entre vehículo – infraestructura.

El asunto de la sobrecarga en las carreteras en México es recurrente y el estado de las carreteras son fiel reflejo a causa del paso de los vehículos con exceso de peso, en cierto modo es inevitable no hablar del tema y del hacerse cargo de este problema es de más urgencia aún, conservar la infraestructura y la seguridad de los usuarios; la manera de hacerlo viable, es cobrar dentro de la

tarifa de peaje una cuota por sobrecarga. Las carreteras que se analizaron son solamente una pequeña muestra de lo que acontece en campo, la elección de éstas fue aleatoria, los resultados pudieron mostrar poca sobrecarga o, al contrario, pero no seleccionamos aquellas que tuvieran datos para revelar la gravedad del problema fue al azar.

## 5.2 Contexto administrativo

Vinculado a estas situaciones, la tarifa en las casetas de cobro en México que las concesionarias fijan en sus tramos viene determinada desde que se le otorga el título de concesión, esta tarifa obedece más a un modelo de negocio más que a un modelo de desarrollo carretero, las carreteras siempre son un excelente camino para el crecimiento de un sector poblacional que tendrá comunicación con otro sector, pero desafortunadamente esto se ve como un modelo de negocio donde el usuario queda un poco de lado tomando como prioridad otro tipo de interés. La tarifa que se le cobra a los usuarios durante el periodo de concesión de 30 años o de hasta a veces 60 años de la autopista, está íntimamente ligada a acrecentar el poder adquisitivo de las empresas que construyen las carreteras; la tarifa, es la clave de este modelo de negocio, pero no sirve del todo para regular y mejorar el servicio al usuario, siempre será una tarifa fija y no se mueve para nada, a reserva que los concesionarios no tengan el ingreso esperado y solo así, aumentará el cobro de peaje. Únicamente la tarifa puede ser modificada con el Índice Nacional de Precios al Consumidor, regularmente esto ocurre de manera anual.

## 5.3 Generalidades de la propuesta

Las conclusiones derivadas sobre el tema indican que las políticas de donde se basan las concesiones en México, en cuanto al manejo de la regulación de tarifas, son las adecuadas para ver esto como una forma exitosa de negocio, sin embargo, para verlo como una forma de brindar el servicio carretero que requiere el usuario, no es el camino para hacerlo. Las políticas deberían ver primero por los clientes potenciales (los usuarios) no por los intereses que hay de por medio en el negocio. La idea de la inclusión del factor daño en el pavimento dentro del sistema denominado “el

que daña, paga” ciertamente esta lejana a convertirse en una realidad en un futuro cercano, la manera en que se encuentra la estructuración tarifaria en México refleja una cuestión de conformación económica, tristemente el aspecto del daño está supeditado a una cuestión de índole económica totalmente y tratando de generar una conformación específica para cada tipo de vehículo según el daño ejercido al pavimento; además que los sistemas de pesaje dinámico aún están siendo incorporados en las carreteras, pero el primer paso es introducirlos para lograr el objetivo principal de establecer una tarifa justa. Con esa finalidad, el peaje basado en el peso del vehículo tardaría tiempo para aplicarse debido que aún se encuentra en una etapa prematura. Sin embargo, este tipo de investigaciones sirven como sustento para conseguir la meta de contar con una infraestructura de primer nivel con las herramientas necesarias para conservarla en el periodo de vida útil.

La situación no pasa por ser un problema tecnológico, de implementar dispositivos o cualquier parecido de esta misma índole, ocurre de que las partes que son las encargadas de aplicar estos sistemas desean obtener un beneficio por realizar la labor y es aquí donde se estancan estas acciones, por el conflicto de intereses que las partes no pueden resolver, cada una de ellas deben cumplir con la responsabilidad que les compete, atender sus correspondientes labores y comenzar a integrar estos sistemas en México de una manera que al principio funcione como aplicación de control de pesos y dimensiones (*enforcement*) para posteriormente dar el siguiente paso a un nivel más arriba con estos sistemas, cobrar la tarifa de peaje de acuerdo al peso; es cierto que aún falta camino para que se haga posible esta propuesta o por lo menos comenzar por aplicar el pesaje dinámico en la red carretera, pero con la información respalda en esta investigación acerca de lo que otros países están haciendo con respecto a este tema de sobrecarga, es bastante útil para ver donde se encuentra ubicado México y las posibilidades reales que tenemos de implementar estos dispositivos. El proceso legal y administrativo son los pasos claves y más complicados respecto a esta propuesta por los conflictos de intereses que hay de por medio a diferentes niveles, desde unificar un mismo sistema de concesión y estén de acuerdo las partes implicadas hasta la aplicación de una tarifa por daños a la infraestructura mediante rangos de sobrecargas en los camiones; el empezar a respaldarla de forma legal mediante la NOM-198-SCFI-2017 es un buen paso para lo que viene en materia de seguridad en las carreteras y para el control de pesos y dimensiones. Una vez resuelta y aprobada esta parte tan compleja, ahora es cuestión de elegir el parámetro que determinará

el peaje con base al peso del camión, entre el peso por eje y el peso bruto vehicular, este último es el indicado para establecer la tarifa por dañar la infraestructura de la carretera.

Los países europeos cuentan con importantes políticas acerca del autotransporte de carga manteniéndolos al apego de la ley de carreteras, por ejemplo, se les restringen ciertos horarios para circular, a partir de un peso específico se les hace un recargo por uso de la carretera y existen también rangos de peso bruto vehicular donde el cobro tiene relación con el peso, el autotransporte de carga lleva consigo unidades a bordo integrados con GPS que reconocen la distancia recorrida en un tiempo determinado e incluso hay dispositivos de estas unidades a bordo que miden en tiempo real la carga que se transporta en el camión; en los principales países europeos se manejan con diversas políticas públicas dependiendo de los intereses de cada gobierno pero todas encaminadas de un modo u otro a atender el problema de sobrecarga en las carreteras. Estos avances y políticas son importantes para el desarrollo carretero y han tenido muy buena respuesta en la unión europea, cabe destacar que la cultura vial es diferente a la existente en México, pero el ejemplo de cumplir con los objetivos y conservar las carreteras de este tipo de actividades es contundente y de poder aplicarla es posible.

#### 5.4 Líneas de investigación futura.

Dentro de las líneas de investigación futura podemos resaltar algunos aspectos que siguen con los puntos fuertes de este trabajo; por ejemplo, los efectos que tendría la implementación de pesadoras dinámicas para la regulación de la sobrecarga en las carreteras de México. Para empezar, la aceptación de las concesionarias para aplicar estos sistemas en sus carreteras debido a los problemas de intereses que puedan presentarse en el proceso, los organismos públicos que intervienen serán los primeros obstáculos por vencer.

Otra parte que puede continuar dentro del estudio es la situación del autotransporte federal, debido a que existe una probabilidad considerable de que estos circularían por vías libres de peaje al momento de que se les aplique una cuota extra en carreteras de peaje por sobrecarga de su vehículo, esta acción para evitar pagar esa tarifa lo que ahora intensificaría la presencia de estos vehículos en estas vías alternas y el deterioro estará más presente aún.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abdullah-Saifizul A., Yamanaka H. & Rehan-Karim M. (2011), “Empirical analysis of gross vehicle weight and free flow speed and consideration on its relation with differential speed limit”, *Accident Analysis and Prevention*, (43), 1068-107
- Al-Qadi, I.L. & Wang, H. (2011). “Prediction of tire pavement contact stresses and analysis of asphalt pavement responses: a decoupled approach”. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, (80) 289-316.
- Alasad R. & Motawa I. (2016), “Dynamic demand risk assessment for toll road projects”, *Construction Management and Economics*, (33) 799-817.
- Anhui Expressway Company Limited. Annual Report 2005 of Anhui Expressway Company Limited, Abril 24, 2006.
- Arshad A., Haron H., Rahman Z. & Abdul A.G. (2016). “Pavement Response to Variable Tyre Pressure of Heavy Vehicles”, *MATEC Web of Conferences The 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering for Sustainability*, (47) 1-6.
- ASTM E1318, “Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods”. ASTM International. West Conshohocken. PA 2002.
- Arriaga-Patiño M. C., Garnica-Anguas P. y Rico-Rodríguez A. (1998), “Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México”, Publicacion Técnica No. 108, *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Barousse-Moreno Miguel. (2017). Gerente de Desarrollo Tecnológico y Peaje. Impulsora del Desarrollo y el Empleo en América Latina, SA de CV. Querétaro, México. 25 de noviembre 2017.

- Betanzo-Quezada E. & Romero J.A. (2010) “An urban transport freight index”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, (2) 6312-6322.
- Chen C., Zhang G., Wang H., Yang J., Jin P.J., & Walton M. (2015) “Bayesian network-based formulation and analysis for toll road utilization supported by traffic information provision”, *Transportation Research Part C*, (60) 339-359.
- Clough P., Guria J., Yeabsley J. & O’Connor D. (2008). Report to Ministry of Transport. Literature review: Road use charging & cost allocation. Ministry of Transport to New Zealand.
- COST-323, Weight-In-Motion of Road Vehicles, Final Report (1993-1998), *European Cooperation in Science and Technology*. 2006. Belgium.
- Comisión Europea (2001). Libro Blanco – La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad. Oficina de publicaciones oficiales de las comunidades europeas. Luxemburgo. 128pp.
- Contreras-Valdez M. (febrero, 2012). *Los primeros cuatro tramos carreteros de cuota y la ciudad de México. Mitad del siglo XX*. Ponencia de las Primeras Jornadas de Historia Económica de la Asociación Mexicana de Historia Económica. Ciudad de México, México.
- Conway A. & Walton Michael C (2008). An Analysis and Cost-Recovery Optimization Methodology for a Fixed-Class Truck Tolling Structure, Transportation Research Board 87th Annual Meeting Compendium of Papers, Washington, DC, 2008
- Dawid R., Jozef J. & Piotr J. (2015). “Analysis of effect of overloaded vehicles on fatigue life of flexible pavements based on weigh in motion (WIM) data”, *International Journal of Pavement Engineering*, (17) 1-12.
- Dodoo N. A. & Thorpe N. (2005). “A new approach for allocating pavement damage between heavy goods vehicles for road-users charging, *Transport Policy*, (12) 419-430.
- Ejsmont J., Ronowski G., Świeczko- Żurek B. & Sommer S. (2016). “Road texture influence on tyre rolling resistance”, *Road Materials and Pavement Design*, (18) 1-18.

- FHWA (2016). Office of Innovative Program Delivery: Revenue, (2016), Road Pricing Defined. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. [http://www.fhwa.dot.gov/ipd/revenue/road\\_pricing/defined/](http://www.fhwa.dot.gov/ipd/revenue/road_pricing/defined/) Consultado 04/09/2016.
- Fiorillo G. & Ghosn M. (2014). "Procedure for statistical categorization of overweight vehicles in a WIM database", *Journal of Transportation Engineering*, (140) 1-12.
- Fiorillo G. & Ghosn M. (2016). "Minimizing Illegal Overweight Truck Frequencies through Strategically Planned Truck Inspection Operations", *Journal of Transportation Engineering*, (142) 1-12.
- Foreman K. (2016). "Crossing the bridge: The effects of time-varying tolls on curbing congestion", *Transportation Research Part A*, (92) 76-94.
- Fuentes L.G., Macea L., Vergara A., Flintsch G., Alvarez A. & Reyes O. (2012), "Evaluation of truck factors for pavement design in developing countries", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, (53), 1141-1150.
- Glavic Dranzeko., Milos Mladenovic., Luttinen Tapio., Cicevic Svetlana & Trifunovic Aleksandar. (2017), "Road to price: User perspectives on road pricing in transition country", *Transportation Research Part A*, (105), 79-94.
- Gomez J., Vasallo J. M. & Herraiz I. (2016), "Explaining light vehicle demand evolution in interurban toll roads: a dynamic panel data analysis in Spain". *Transportation*, (43) 677-703.
- Gomez J. & Vasallo J. M. (2015), "Evolution over time of heavy vehicle volume in toll roads: A dynamic panel data to identify key explanatory variables in Spain", *Transportation Research Part A*, (74) 282-297.
- Goodrum WJ. & Cebon D. (2016). "Synthesising spatially repeatable tyre forces from axle load probability distributions", *Journal Mechanical Engineering Science*, (230) 699-714.

- Guo R. & Wang F. (2016). "A Tire-Pavement Contact Model Derived from Measured Tire Characteristics", *4th Geo-China International Conference*, China, 94-103.
- Hang W., Xie Y. & He J. (2013). "Practices of Using Weigh-In-Motion Technology for Truck Weight Regulation in China", *Transport Policy*, (30) 143-152.
- Hanson Randy & Bushman Rob (2008). Increasing Role for Weight in Motion in Toll Roads and Commercial Vehicle Enforcement. 15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America's 2008 Annual Meeting, New York, November 2008.
- Hernández-Jiménez J. R. & Fabela-Gallegos M. de Jesús (2004), "Diseño y construcción de un prototipo para determinar el peso de vehículos ligeros en movimiento", Publicación técnica No. 247, *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Holguín-Veras Jose, Cetin Mecit & Xia Shuwen (2006), "A comparative analysis of US toll policy", *Transportation Research Part A*, (40) 852-871.
- Huerta-García Raúl, Director de Optimización de la Red de Autopistas, Dirección General de Desarrollo Carretero, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, CDMX, México. 6 de Abril 2018.
- Jacob B. & Feypell-de La Beaumelle V. (2010), "Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology", *International Association of Traffic and Safety Sciences Research*, (34) 9-15.
- Kakan D., Chowdhury M., Pang W., Putman B.J. & Chen L. (2014), "Estimation of Pavement and Bridge Damage Costs Caused by Overweight Trucks", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2411) 62-71.
- KISTLER (2018). Kistler. Measure. Analyze. Innovate. Tecnología de sensores. Pesaje dinámico, peaje según el peso. Kistler Instruments S de RL de CV. <https://www.kistler.com/es/aplicaciones/tecnologia-de-sensores/pesaje-dinamico/peaje-segun-peso/> Consultado 08/06/2018

- Leandro-Hernández Fernando, Director de Planeación Operativa, Dirección General de Desarrollo Carretero, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, CDMX, México. 6 de abril 2018.
- Lozano-Guzmán A., Romero-Navarrete J. A., Hernández-Jiménez J. R., Carrión-Miramontes F. y Vázquez-Vega D. (1999), “Aspectos de la dinámica de vehículos pesados y su relación con el daño a pavimentos”, Publicacion Técnica No. 119. *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Li Zheng y Hensher David A. (2010) “Toll Roads in Australia: An Overview of Characteristics and Accuracy of Demand Forecasts”, *Transport Review: A Transnational Transdisciplinary Journal*, (30) 541-569.
- Luo Z., (2005). “Flexible pavement condition model using clusterwise regression and mechanistic – empirical procedure for fatigue cracking modeling”. Ph. D. Dissertation. The University of Toledo.
- Martínez-Antonio J.J., Moreno-Martínez Ma. A., Morales-Pérez Ma. del C. Ernestina Guadalupe, Herrera-García A., Balbuena-Cruz J.A., Pérez-Sánchez J.A., Bustos-Rosales A. y Zamora-Domínguez A.R. (2017), Manual Estadístico del Sector Transporte 2017, Secretaria de Comunicaciones y Transportes. *Instituto Mexicano de Transporte*, 307 pp.
- Mirzadeh I. & Birgisson B. (2015), “Evaluation of Highway Projects under Government Support Mechanisms Based on an Option-Pricing Framework”, *Journal of Construction Engineering and Management*, (142) 1-9.
- Moliner E., Vidal R. & Franco V. (2013), “A fair Method for the calculation of the external costs of road Traffic noise according to the Eurovignette Directive”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (24) 52-61.

- Morales-Nápoles O. & Steenbergen-Raphaél D.J.M. (2014), “Analysis of axle and vehicle load properties through Bayesian Networks based on Weigh-in-Motion data”, *Reliability Engineering and System Safety*, (125) 153-164.
- Moreno-Quintero E. (2004), “El sobrepeso en el autotransporte de carga: elementos para su estudio y control”, Publicación técnica No 250, *Instituto Mexicano del Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Nichols A. P. & Cetin M. (2015). “Use of reidentified vehicles to evaluate differential calibration accuracy between Weigh-In-Motion Stations”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2527, 37-48.
- OIML R 134-1:2006, Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads, Part 1: Metrological and technical requirements-Tests, Organisation International de Métrologie Légale. 2006. Francia.
- Orozco-Orozco J. M., Téllez-Gutiérrez R., Solorio-Murillo R., Pérez-Salazar A., Sánchez-Loo Ma. A. y Torras-Ortiz S. (2004), “Sistema de Evaluación de Pavimentos Versión 2.0”, Publicación Técnica No. 245, *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Ortúzar, Juan de D. (2000). *Modelos de demanda de transporte*. Alfaomega Grupo Editor, 2da. Edición. Chile. ISBN 9788481025125.
- Owen-Jansson J. (2010). “Road Pricing and parking policy”, *Research in Transportation Economics*, (29) 346-353.
- Pais J. C., Amorim S. I. R. & Minhoto J. C. (2013), Impact of Traffic Overload on Road Pavement Performance, *Journal of Transportation Engineering*, (139) 873-879.
- Pérez-Echevarría Víctor H. (2018). Evaluación del impacto económico y ambiental producido por congestionamientos en casetas de cobro en México, mediante técnicas de micro-simulación. Tesis de Maestría Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. México.

- PIARC. (1987). Report of the Committee on Surface Characteristics. Proceedings of the XVIII World Road Congress. World Road Association. Permanent International Association of Road Congresses. Paris, France, 1987.
- Qiu S., Xiao D., Wang K.C., Wang W. & Moravec M. (2015), “Impacts of Nighttime-Only Truck Traffic Regulation on Pavement Performance”, *Journal of Infrastructure Systems*, (21), 1-9.
- Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Diario Oficial de la Federación 14 de enero de 1999 y sus reformas. Última reforma publicada 14 julio de 2014.
- Rico-Rodríguez A., Mendoza-Díaz A. y Rivera-Trujillo C. (1995), “Criterios para establecer la cuota óptima en una autopista de cuota”, Publicación Técnica No. 60, *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Romero J., Lozano A., Betanzo E. & Obregon S. (2013), “A flexible pavement damage metric for a straight truck”, *International Journal Heavy Vehicle Systems*, (20) 209-221.
- Romero J.A., Betanzo E. & Lozano A. (2006), “Conceptual design of an intelligent toll station”, *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, (13) 98-106.
- Romero-Navarrete J.A. y Lozano-Guzmán A. (1995), “La Respuesta Dinámica de un Cuarto de Carro y el Índice Internacional de Rugosidad”, Publicación Técnica No. 67, *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Rong-xia X., Jin-hui L., Jie H. & Deng-feng S. (2015). “Effect Analysis of Vehicle System Parameters on Dynamic Response of Pavement”, *Mathematical Problems in Engineering volume 2015*, 1-8.
- Roque R., Ann-Myers L. & Birgisson B. (2014). “Evaluating Measured Tire Contact Stresses to Predict Pavement Response and Performance”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1716), 73-81.

- Rouhani O. M., Geddes R., Gao O & Bel G. (2016), “Social welfare analysis of investment public–private partnership approaches for transportation projects”, *Transportation Research Part A*, (88) 86-103.
- Schmidt F., Jacob B. & Dompobst F. (2016), “Investigation of truck weights and dimensions using WIM data”, *Transportation Research Procedia*, (14) 811-819.
- SCT (2017). Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017. Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Diario Oficial de la Federación. 26 de diciembre 2017.
- SCT (2017). PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-198-SCFI-2017. Instrumentos de medición-Sistemas de pesaje y dimensionamiento dinámico vehicular-Requisitos técnicos y especificaciones. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Diario Oficial de la Federación. 19 de julio de 2017
- SCT (2017). Cuarto Informe de Labores 2016 – 2017. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Informe. D.F. México, 145 pp.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes y Banobras, 111 preguntas sobre concesiones de autopistas en México. Unidad de Autopistas de Cuota de la Subsecretaría de Infraestructura y Dirección de Desarrollo de Proyectos de Banobras, México, D.F., 2003.
- Sebaaly P.E. & Tabatabaee N. (1992), “Effect of tyre parameter on pavement damage and load equivalency factors”, *Journal of Transportation Engineering*, (118), 805-819.
- Setyawan A., Kusdiantoro I. & Syafi I. (2015), “The effect of pavement condition on vehicle speeds and motor vehicles emissions”, *Procedia Engineering*, (125) 424-430.
- Shaopu Y., Yongjie L. & Shaohua L. (2013). “An overview on vehicle dynamics”, *International Journal of Dynamics and Control*, (1) 385-395.

- Siddharthan R., Nasimifar M., Tan X. & Hajj E. (2016). “Investigation of impact of wheel wander on pavement performance”, *Road Materials and Pavement Design*, (18) 1-18.
- Soluciones en infraestructura sustentable, S.C. Avanti Engineering Group, (2013). Actualización del estudio de demanda del proyecto Tuxpan-Ozuluama. Septiembre 2013. CDMX, México. 189 pp.
- Tian Q.C. & Xiong B.H. (2009). “Fluctuations of freight price under toll-by-weight”. *World of Transportation Manager*, (8) 67-71.
- Torres-Vargas G., González-García J.A., Arroyo-Osorno J.A., Cruz-González G. y Hernández-García S. (2017), “Concesiones carreteras en México, una aproximación a su productividad económica como medida de desempeño”, Publicación Técnica No. 497, *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Torres-Vargas G. y Pérez Sánchez J.A. (2002), “Métodos de asignación de tránsito en redes regionales de carreteras: dos alternativas de solución”, Publicación Técnica No. 214, *Instituto Mexicano de Transporte*, Carretera El Colorado - Galindo Km. 12, Pedro Escobedo, Querétaro, México.
- Wu Hui & Zhang Z. (2013), “Managing Transportation Facilities in Design-Build-Finance-Operate Partnerships”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., (2345) 92-99.
- Xue W., Weaver E., Wang L. & Wang Y. (2016), “Influence of tyre inflation pressure on measured pavement strain responses and predicted distress”, *Road Materials and Pavement Design*, (17), 1-18.
- Yanqing Z., Yiqui T. & Changhong Z. (2012), “Determination of axle load spectra based on percentage of overloaded trucks for mechanistic-empirical pavement design”, *Road Materials and Pavement Design*, (13) 850-863.
- Zhiyuan L., Tingsong W., Xiaobo Q. & Yadan Y. (2014), “Urban Congestion Pricing: Practices and Future Development”, *Applied Mechanics and Materials*, (505-506) 787-793.

## 7. Anexos.

Tabla 7.1. A1. Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino en ton.

| PESOS MÁXIMOS AUTORIZADOS POR TIPO DE EJE Y CAMINO (t)                              |                                    |                          |                   |         |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------|---------|-------|-------|
| CONFIGURACIÓN DE EJES                                                               |                                    | VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN | TIPO DE CAMINO    |         |       |       |
|                                                                                     |                                    |                          | ET4 Y ET2 A4 Y A2 | B4 Y B2 | C     | D     |
|    | SENCILLO DOS LLANTAS               | C-R y T-S-R              | 6,50              | 6,00    | 5,50  | 5,00  |
|                                                                                     |                                    | C y T-S                  | 6,50              | 6,00    | 5,50  | 5,00  |
|    | SENCILLO CUATRO LLANTAS            | C-R y T-S-R              | 10,00             | 9,50    | 8,00  | 7,00  |
|                                                                                     |                                    | C y T-S                  | 11,00             | 9,50    | 8,00  | 7,00  |
|    | MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS     | C-R y T-S-R              | 11,00             | 10,50   | 9,00  | 8,00  |
|                                                                                     |                                    | C y T-S                  | 12,50             | 10,50   | 9,00  | 8,00  |
|    | MOTRIZ DOBLE O TANDEM SEIS LLANTAS | C-R y T-S-R              | 15,00             | 13,00   | 11,50 | 11,00 |
|                                                                                     |                                    | C y T-S                  | 17,50             | 13,00   | 11,50 | 11,00 |
|    | DOBLE TANDEM OCHO LLANTAS          | C-R y T-S-R              | 17,00             | 15,00   | 13,50 | 12,00 |
|                                                                                     |                                    | C y T-S                  | 19,00             | 15,00   | 13,50 | 12,00 |
|  | MOTRIZ DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS | C-R y T-S-R              | 18,00             | 17,00   | 14,50 | 13,50 |
|                                                                                     |                                    | C y T-S                  | 21,00             | 17,00   | 14,50 | 13,50 |
|  | TRIPLE TRIDEM DOCE LLANTAS         | C-R y T-S-R              | 23,50             | 22,50   | 20,00 | NA    |
|                                                                                     |                                    | C y T-S                  | 26,50             | 22,50   | 20,00 | NA    |

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2017).

Tabla 7.2. A2. Nomenclatura y características del camión unitario.

| <b>CAMIÓN UNITARIO ( C )</b> |                       |                          |                                                                                     |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NOMENCLATURA</b>          | <b>NÚMERO DE EJES</b> | <b>NÚMERO DE LLANTAS</b> | <b>VEHÍCULO</b>                                                                     |
| C2                           | 2                     | 6                        |  |
| C3                           | 3                     | 8-10                     |  |

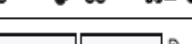
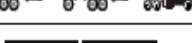
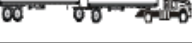
**Fuente:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2017).

Tabla 7.3. A3 Nomenclatura y características del tractocamión articulado tipo "T-S".

| <b>TRACTOCAMIÓN ARTICULADO (T-S)</b> |                       |                          |                                                                                       |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NOMENCLATURA</b>                  | <b>NÚMERO DE EJES</b> | <b>NÚMERO DE LLANTAS</b> | <b>CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO</b>                                                     |
| T2-S1                                | 3                     | 10                       |  |
| T2-S2                                | 4                     | 14                       |  |
| T2-S3                                | 5                     | 18                       |  |
| T3-S1                                | 4                     | 14                       |  |
| T3-S2                                | 5                     | 18                       |  |
| T3-S3                                | 6                     | 22                       |  |

**Fuente:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2017).

Tabla 7.4. A4. Nomenclatura del tractocamión articulado tipo "T-S-R".

| TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R) |                |                   |                                                                                       |
|---------------------------------------------|----------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| NOMENCLATURA                                | NÚMERO DE EJES | NÚMERO DE LLANTAS | CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO                                                            |
| T2-S1-R2                                    | 5              | 18                |    |
| T2-S2-R2                                    | 6              | 22                |    |
| T2-S1-R3                                    | 6              | 22                |    |
| T3-S1-R2                                    | 6              | 22                |    |
| T3-S1-R3                                    | 7              | 26                |    |
| T3-S2-R2                                    | 7              | 26                |    |
| T3-S2-R3                                    | 8              | 30                |    |
| T3-S2-R4                                    | 9              | 34                |    |
| T2-S2-S2                                    | 6              | 22                |    |
| T3-S2-S2                                    | 7              | 26                |   |
| T3-S3-S2                                    | 8              | 30                |  |

**Fuente:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2017).

Tabla 7.5. A5. Ejemplo de formato de encuesta O-D para camiones en el estudio autopista Monterrey-Nuevo Laredo

s.c.

año

mes

día

hora

ESTUDIO AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO

ENCUESTA DE ORIGEN Y DESTINO PARA CAMIONES

CASETA DE CUOTA

SABINAS

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SS- sentido de circulación

CARRETERA:

KM:

ESTACION:

DÍA DE LA SEMANA:

| NUMERO DE EJES | ORIGEN                |        |           |        | DESTINO               |   |   |   | QUE TIPO DE CARGA TRANSPORTA?                                                                                                                                                                                             | TIEMPO DE VIAJE DE ORIGEN A DESTINO (h:m)                                                                                     | DE QUIEN ES EL VEHICULO?                                                                                                       | FRECUENCIA                                                                                                   | TRIPULACION                                                                                                                                                    |                                                                                                                                         |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|----------------|-----------------------|--------|-----------|--------|-----------------------|---|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
|                | MUNICIPIO             | ESTADO | MUNICIPIO | ESTADO |                       |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | 0                     | 0      | 0         | 0      | 0                     | 0 | 0 | 0 | 1                                                                                                                                                                                                                         | 2                                                                                                                             | 3                                                                                                                              | 4                                                                                                            | 5                                                                                                                                                              | 6                                                                                                                                       | 7 | 8 | 9 | 10 | h  | m  | P | E | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 |  |
| C              |                       |        |           |        |                       |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | LOCALIDAD / MUNICIPIO |        |           |        | LOCALIDAD / MUNICIPIO |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    | hh | mm | P | E | O |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | ESTADO                |        |           |        | ESTADO                |   |   |   | NO CONTESTO<br>ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>RETRAÍDO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO | ¿CUANTO PAGO O PAGARA POR UTILIZAR LA AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CONOCE LA CARRETERA LIBRE ALTERNATIVA PARA EL VIAJE QUE ESTA REALIZANDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CUANTO TIEMPO AHORRA POR LA AUTOPISTA EN RELACION A LA CARRETERA LIBRE AL REALIZAR EL MISMO VIAJE?<br>hh mm | ¿PORQUE USA LA VIA DE CUOTA?<br><input type="radio"/> ES LA UNICA QUE CONOZCO<br><input type="radio"/> AHORRO DE TIEMPO<br><input type="radio"/> POR COMODIDAD | <input type="radio"/> POR SEGURIDAD<br><input type="radio"/> OBLIGACION DE LA EMPRESA<br><input type="radio"/> OTROS MOTIVOS (EXPLICAR) |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| C              |                       |        |           |        |                       |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | LOCALIDAD / MUNICIPIO |        |           |        | LOCALIDAD / MUNICIPIO |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    | hh | mm | P | E | O |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | ESTADO                |        |           |        | ESTADO                |   |   |   | NO CONTESTO<br>ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>RETRAÍDO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO | ¿CUANTO PAGO O PAGARA POR UTILIZAR LA AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CONOCE LA CARRETERA LIBRE ALTERNATIVA PARA EL VIAJE QUE ESTA REALIZANDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CUANTO TIEMPO AHORRA POR LA AUTOPISTA EN RELACION A LA CARRETERA LIBRE AL REALIZAR EL MISMO VIAJE?<br>hh mm | ¿PORQUE USA LA VIA DE CUOTA?<br><input type="radio"/> ES LA UNICA QUE CONOZCO<br><input type="radio"/> AHORRO DE TIEMPO<br><input type="radio"/> POR COMODIDAD | <input type="radio"/> POR SEGURIDAD<br><input type="radio"/> OBLIGACION DE LA EMPRESA<br><input type="radio"/> OTROS MOTIVOS (EXPLICAR) |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| C              |                       |        |           |        |                       |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | LOCALIDAD / MUNICIPIO |        |           |        | LOCALIDAD / MUNICIPIO |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    | hh | mm | P | E | O |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | ESTADO                |        |           |        | ESTADO                |   |   |   | NO CONTESTO<br>ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>RETRAÍDO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO | ¿CUANTO PAGO O PAGARA POR UTILIZAR LA AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CONOCE LA CARRETERA LIBRE ALTERNATIVA PARA EL VIAJE QUE ESTA REALIZANDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CUANTO TIEMPO AHORRA POR LA AUTOPISTA EN RELACION A LA CARRETERA LIBRE AL REALIZAR EL MISMO VIAJE?<br>hh mm | ¿PORQUE USA LA VIA DE CUOTA?<br><input type="radio"/> ES LA UNICA QUE CONOZCO<br><input type="radio"/> AHORRO DE TIEMPO<br><input type="radio"/> POR COMODIDAD | <input type="radio"/> POR SEGURIDAD<br><input type="radio"/> OBLIGACION DE LA EMPRESA<br><input type="radio"/> OTROS MOTIVOS (EXPLICAR) |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| C              |                       |        |           |        |                       |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | LOCALIDAD / MUNICIPIO |        |           |        | LOCALIDAD / MUNICIPIO |   |   |   |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                               |                                                                                                                                |                                                                                                              |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                         |   |   |   |    | hh | mm | P | E | O |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                | ESTADO                |        |           |        | ESTADO                |   |   |   | NO CONTESTO<br>ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>RETRAÍDO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO | ¿CUANTO PAGO O PAGARA POR UTILIZAR LA AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CONOCE LA CARRETERA LIBRE ALTERNATIVA PARA EL VIAJE QUE ESTA REALIZANDO?<br>NO <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> | ¿CUANTO TIEMPO AHORRA POR LA AUTOPISTA EN RELACION A LA CARRETERA LIBRE AL REALIZAR EL MISMO VIAJE?<br>hh mm | ¿PORQUE USA LA VIA DE CUOTA?<br><input type="radio"/> ES LA UNICA QUE CONOZCO<br><input type="radio"/> AHORRO DE TIEMPO<br><input type="radio"/> POR COMODIDAD | <input type="radio"/> POR SEGURIDAD<br><input type="radio"/> OBLIGACION DE LA EMPRESA<br><input type="radio"/> OTROS MOTIVOS (EXPLICAR) |   |   |   |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |

QUEEN PAGA LA CUOTA: P= PERSONA QUE VIAJA EN EL AUTO

E= EMPRESA

O= OTRO

FRECUENCIA: D= DIARIO

S= SEMANAL

M= MENSUAL

A= ANUAL

E= ESPORADICO (OCASIONAL)

ENCUESTADOR

Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transportes (2015).

Tabla 7.6. A6. Ejemplo de formato de preferencia declarada para camiones en el estudio autopista Monterrey-Nuevo Laredo.

|                              |     |     |     |      |                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| s.c.                         | año | mes | día | hora | <b>ESTUDIO AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO</b><br><b>ENCUESTA DE PREFERENCIA DECLARADA PARA CAMIONES</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <b>CASETA DE CUOTA</b><br><b>SABINAS</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  | <br><b>SCT</b><br><b>SECRETARÍA DE</b><br><b>COMUNICACIONES</b><br><b>Y TRANSPORTES</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| s.c.: sentido de circulación |     |     |     |      | CARRETERA: _____                                                                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | KM: _____                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ESTACION: _____                                                                         |  |  |  |  |  |  |  |  |  | DÍA DE LA SEMANA _____ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| ORIGEN | LOCALIDAD / MUNICIPIO |                                                                                                                                                                                  | TIEMPO DE VIAJE DE ORIGEN A DESTINO (hh:mm) | ¿POR QUÉ UTILIZA O UTILIZARÍA LAS VÍAS DE CUOTA?                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                           |  | QUE TIPO DE CARGA TRANSPORTA?                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  | FRECUENCIA                                                                 |  |  |                                              |  | RESPUESTA A OPCIONES                            |  |                                                                                                   | TIEMPO DE AHORRO |
|--------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------|--|--|----------------------------------------------|--|-------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|        | ESTADO                |                                                                                                                                                                                  |                                             | SON OBLIGATORIAS POR PROHIBICIONES DE PASO<br>CRITERIOS IMPUESTOS POR LA EMPRESA O PROPIETARIO DEL VEHICULO<br>IMPOSICIÓN DE LAS COMPAÑÍAS DE SEGUROS<br>MENOR TIEMPO DE VIAJE<br>MAYOR COMODIDAD Y SEGURIDAD |                                                                                                                                                                                                                           |  | ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>PETROLEO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  | D S M A E<br>DE LA PERSONA QUE VIAJA EN LA UNIDAD<br>DE LA EMPRESA<br>OTRA |  |  |                                              |  | T-1 T-2 T-3<br>SI SI SI<br>NO NO NO<br>SI SI SI |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  | 1                                               |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  | ESTADO                                          |  | ¿EN SU RECORRIDO UTILIZA VÍAS DE CUOTA?<br>MEJORES CONDICIONES DE PAVIMENTO<br>OTRA (ESPECIFICAR) |                  |
| 2      |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
| 3      |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
| ESTADO |                       | SI NO<br>¿CUÁNTO PAGÓ O PAGARÁ POR UTILIZAR LA AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO?<br>¿CONOCE LA CARRETERA LIBRE ALTERNATIVA PARA EL VIAJE QUE ESTA REALIZANDO?<br>NO SI<br>hh mm |                                             |                                                                                                                                                                                                               | NO CONTESTO<br>ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>PETROLEO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  | DE LA PERSONA QUE VIAJA EN LA UNIDAD<br>DE LA EMPRESA<br>OTRA |  |                                                                            |  |  | NUMERO DE EJES<br>TRIPULACION<br>1 2 3 ó MAS |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  | 1                                            |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  | 2                                            |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |

| ORIGEN | LOCALIDAD / MUNICIPIO |                                                                                                                                                                                  | TIEMPO DE VIAJE DE ORIGEN A DESTINO (hh:mm) | ¿POR QUÉ UTILIZA O UTILIZARÍA LAS VÍAS DE CUOTA?                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                           |  | QUE TIPO DE CARGA TRANSPORTA?                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  | FRECUENCIA                                                                 |  |  |                                              |  | RESPUESTA A OPCIONES                            |  |                                                                                                   | TIEMPO DE AHORRO |
|--------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|---------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------|--|--|----------------------------------------------|--|-------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|        | ESTADO                |                                                                                                                                                                                  |                                             | SON OBLIGATORIAS POR PROHIBICIONES DE PASO<br>CRITERIOS IMPUESTOS POR LA EMPRESA O PROPIETARIO DEL VEHICULO<br>IMPOSICIÓN DE LAS COMPAÑÍAS DE SEGUROS<br>MENOR TIEMPO DE VIAJE<br>MAYOR COMODIDAD Y SEGURIDAD |                                                                                                                                                                                                                           |  | ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>PETROLEO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  | D S M A E<br>DE LA PERSONA QUE VIAJA EN LA UNIDAD<br>DE LA EMPRESA<br>OTRA |  |  |                                              |  | T-1 T-2 T-3<br>SI SI SI<br>NO NO NO<br>SI SI SI |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  | 1                                               |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  | ESTADO                                          |  | ¿EN SU RECORRIDO UTILIZA VÍAS DE CUOTA?<br>MEJORES CONDICIONES DE PAVIMENTO<br>OTRA (ESPECIFICAR) |                  |
| 2      |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
| 3      |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  |                                              |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
| ESTADO |                       | SI NO<br>¿CUÁNTO PAGÓ O PAGARÁ POR UTILIZAR LA AUTOPISTA MONTERREY- NUEVO LAREDO?<br>¿CONOCE LA CARRETERA LIBRE ALTERNATIVA PARA EL VIAJE QUE ESTA REALIZANDO?<br>NO SI<br>hh mm |                                             |                                                                                                                                                                                                               | NO CONTESTO<br>ANIMALES Y SUS PRODUCTOS<br>PRODUCTOS FORESTALES<br>PETROLEO Y SUS DERIVADOS<br>PRODUCTOS AGRICOLAS<br>PRODUCTOS INDUSTRIALES<br>PRODUCTOS INORGANICOS<br>PRODUCTOS MINERALES<br>VARIOS PRODUCTOS<br>VACIO |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  | DE LA PERSONA QUE VIAJA EN LA UNIDAD<br>DE LA EMPRESA<br>OTRA |  |                                                                            |  |  | NUMERO DE EJES<br>TRIPULACION<br>1 2 3 ó MAS |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  | 1                                            |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |
|        |                       |                                                                                                                                                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |  |                                                               |  |                                                                            |  |  | 2                                            |  |                                                 |  |                                                                                                   |                  |

FRECUENCIA: D= DIARIO  
S= SEMANAL  
M= MENSUAL  
A= ANUAL  
E= ESPORADICO (OCASIONAL)

Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transportes (2015).

## Anexo 9.

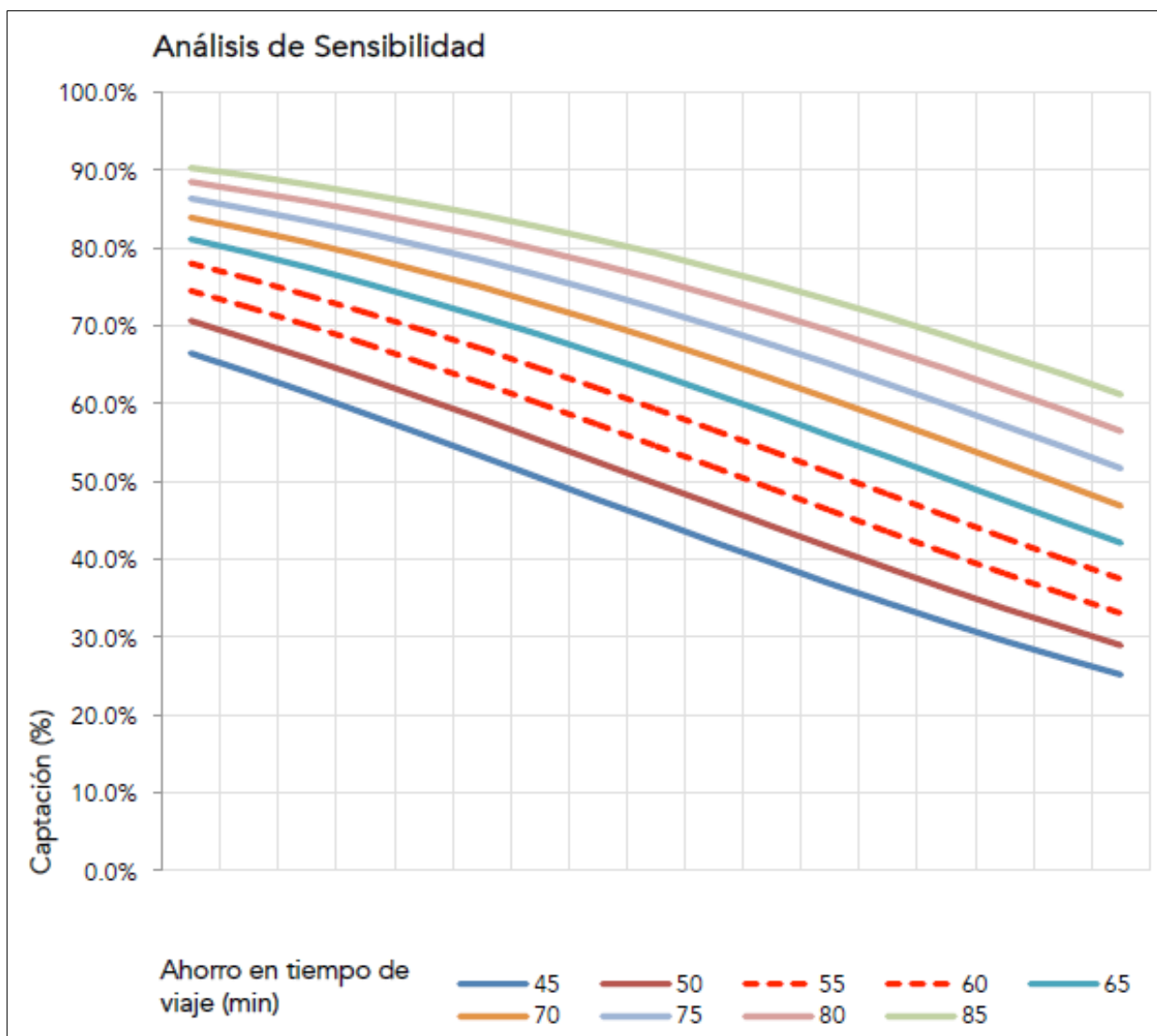


Figura 7.1. Sensibilidad de la demanda asignada al proyecto de automóviles a la tarifa. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group (2013).

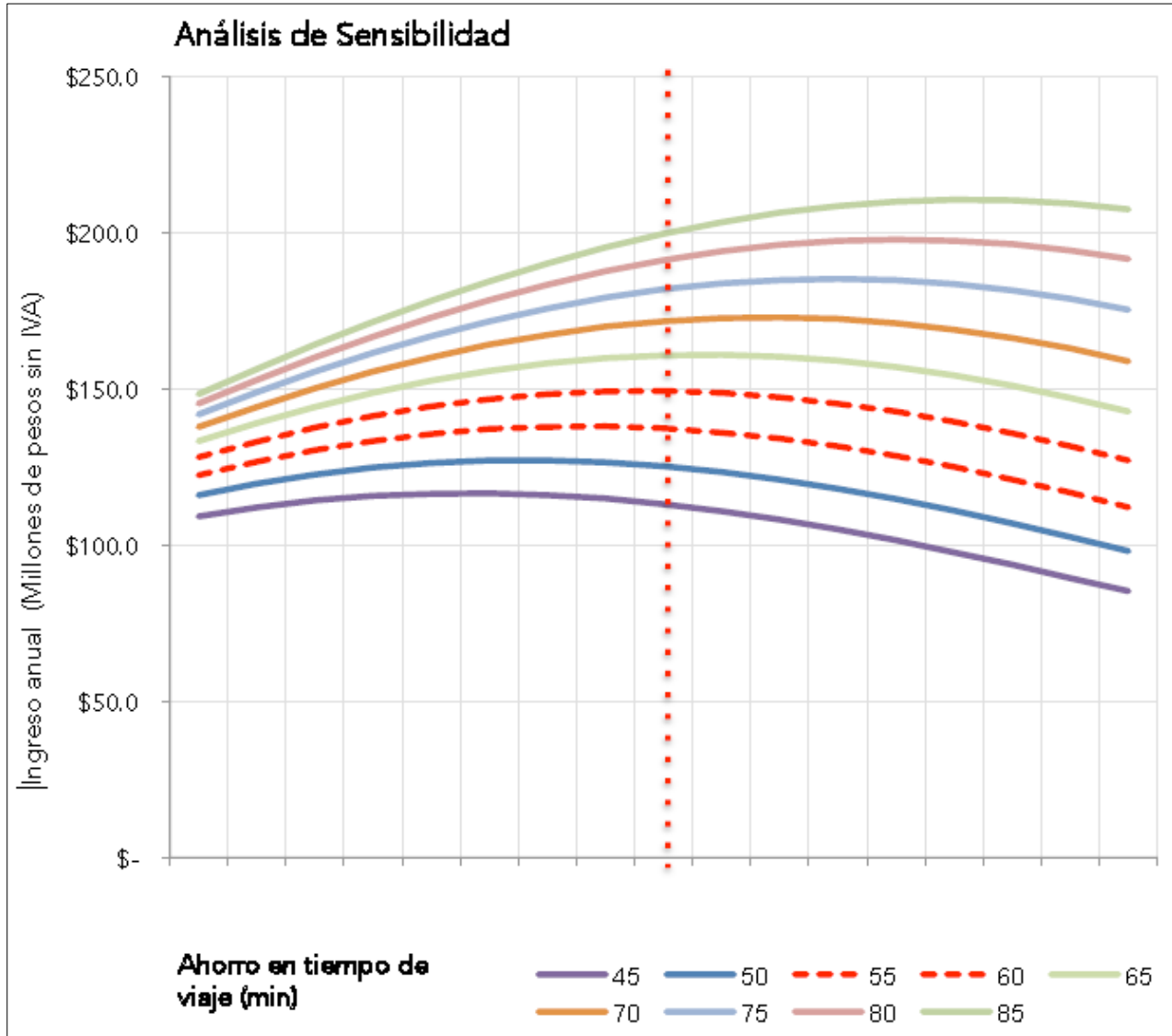


Figura 7.2. Sensibilidad de los ingresos del proyecto de automóviles a la tarifa. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group.

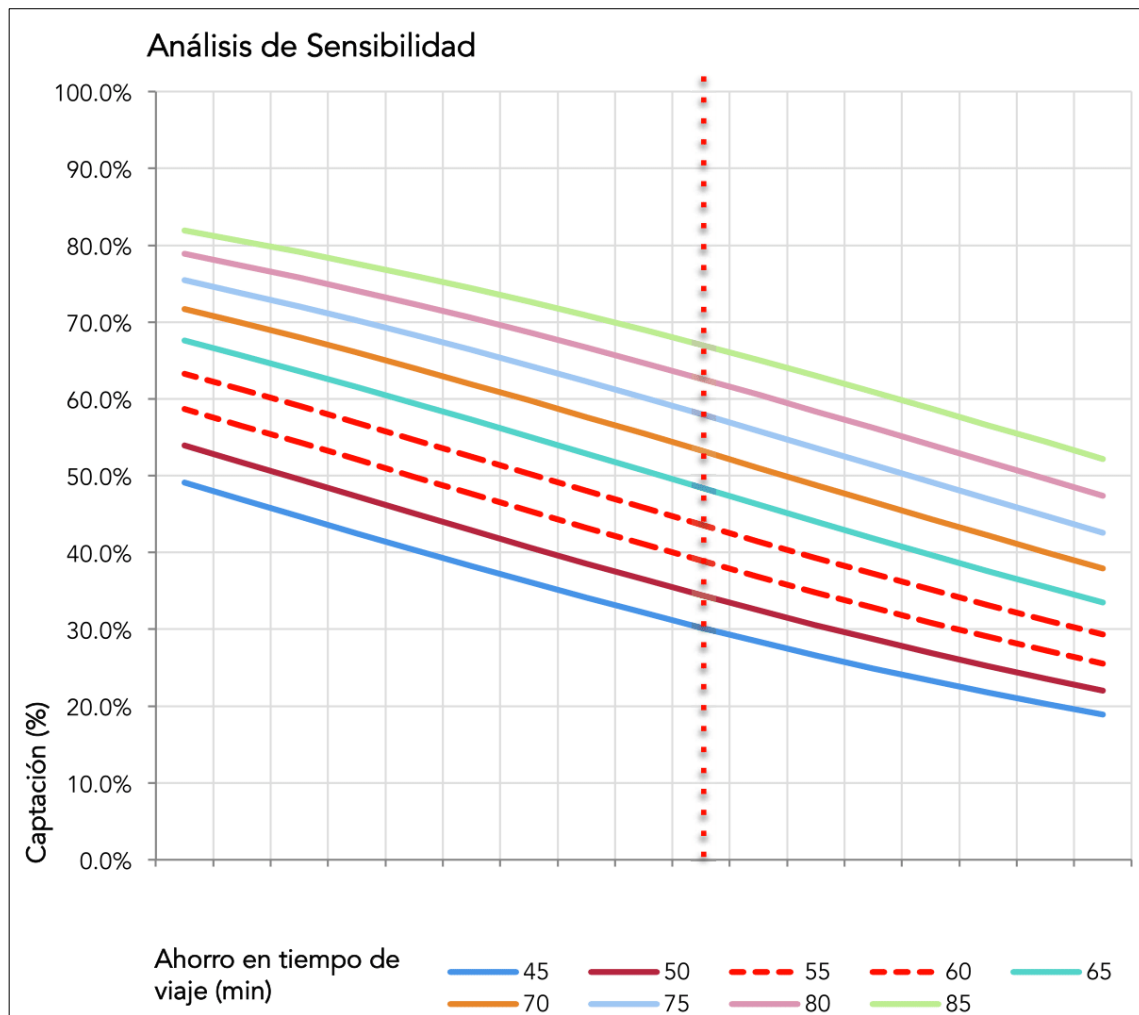


Figura 7.3. Sensibilidad de la demanda asignada al proyecto de camiones unitarios a la tarifa. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group.

Anexo 12.

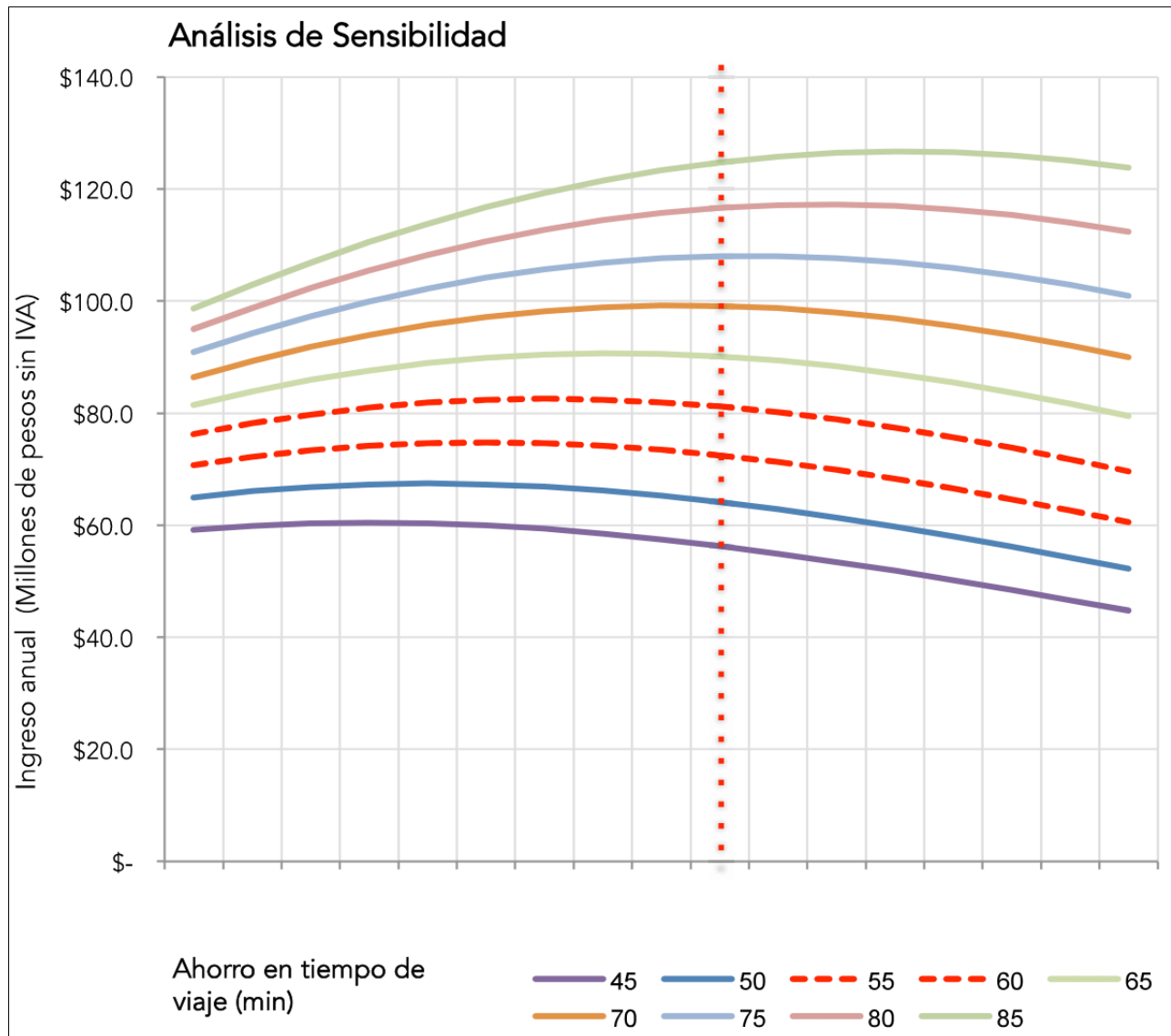


Figura 7.4. Sensibilidad de los ingresos asignada al proyecto de camiones unitarios. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group.

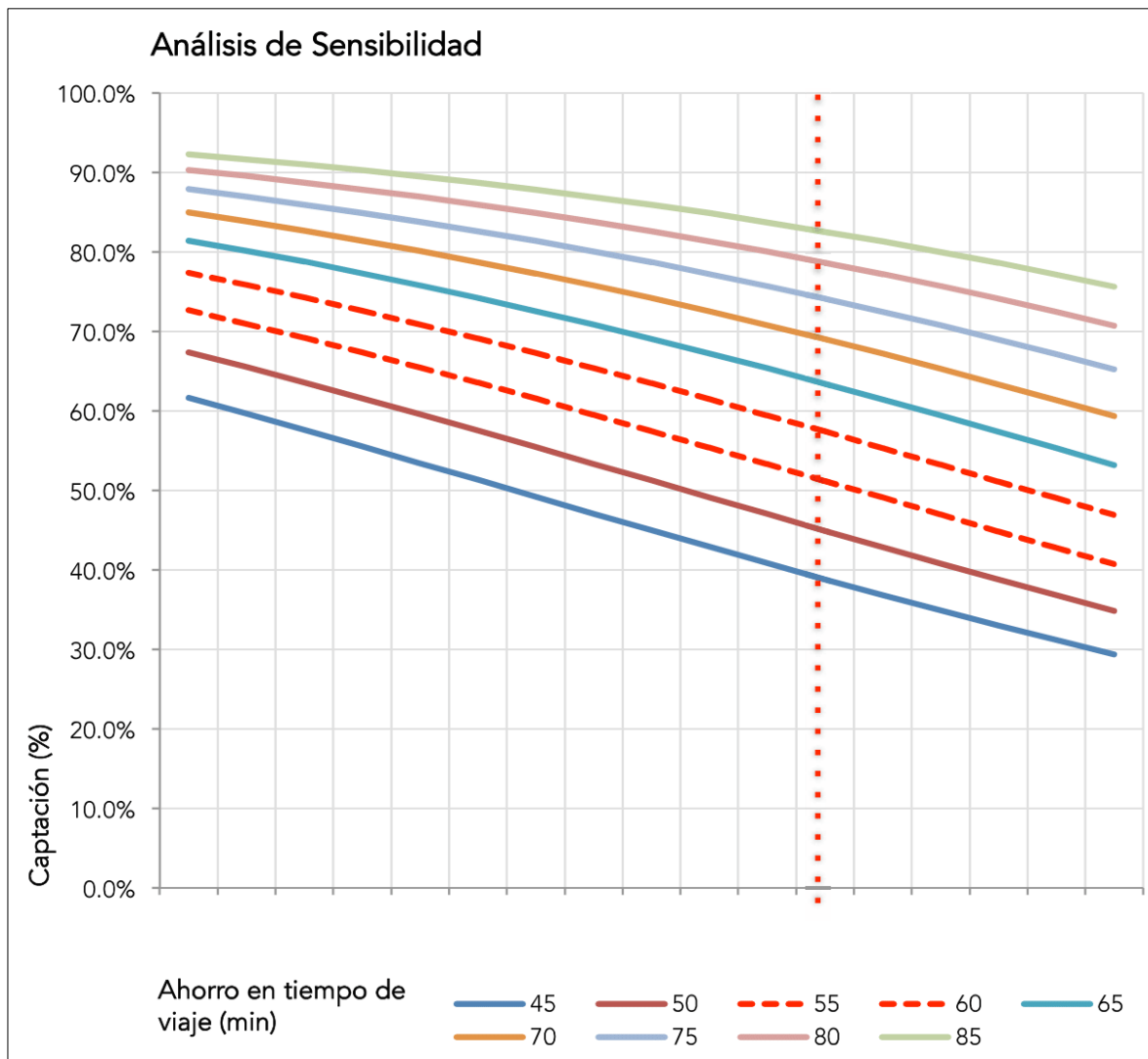


Figura 7.5. Sensibilidad de la demanda asignada al proyecto de camiones articulados a la tarifa. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group.

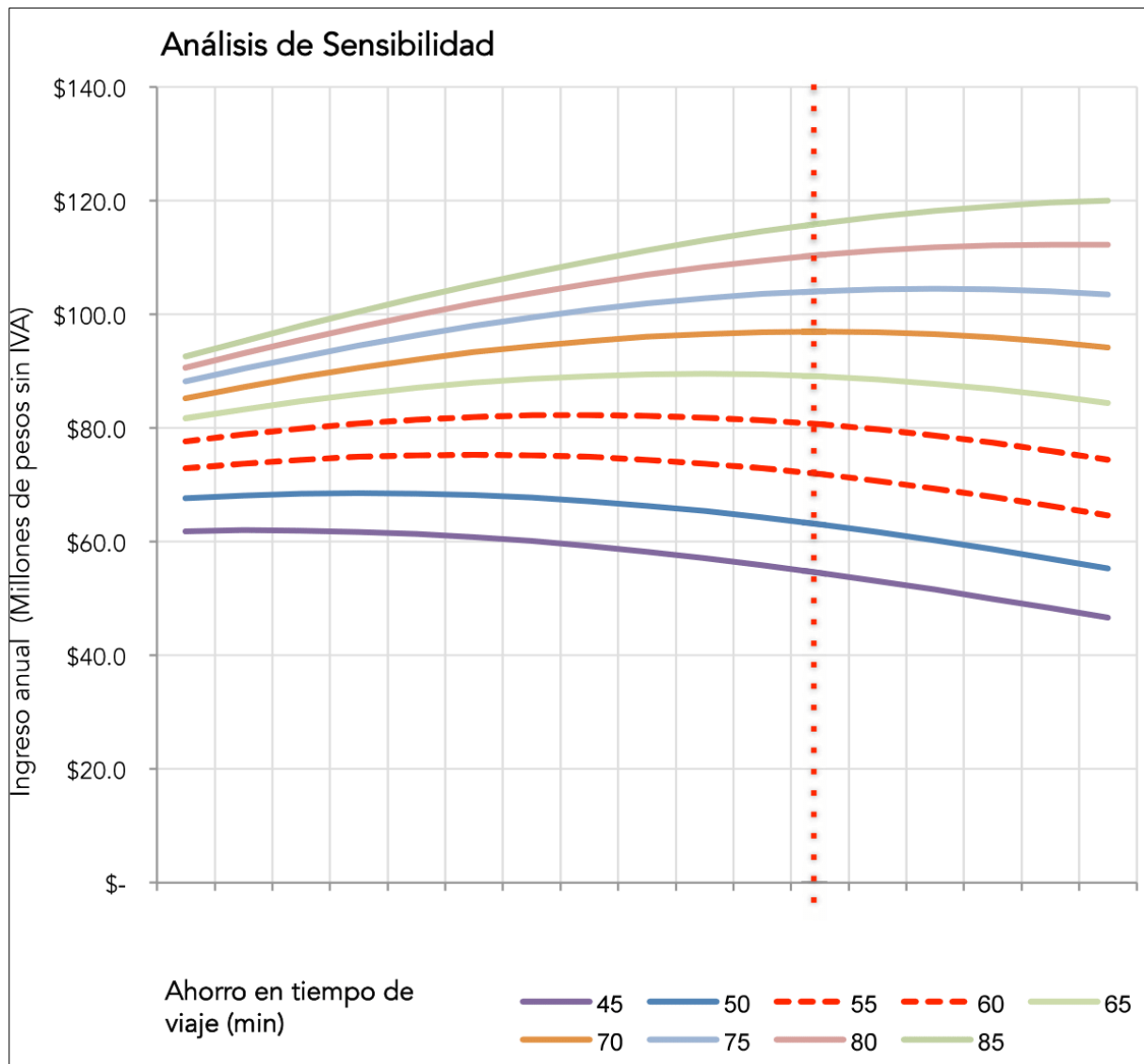


Figura 7.6. Sensibilidad de los ingresos asignada al proyecto de camiones articulados a la tarifa. Fuente: Deloitte y Avanti Engineering Group.



Figura 7.7. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Carretera Libre Tuxpam – Tampico. Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT



Figura 7.8. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Plaza de Cobro Tlaxpam. Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT.

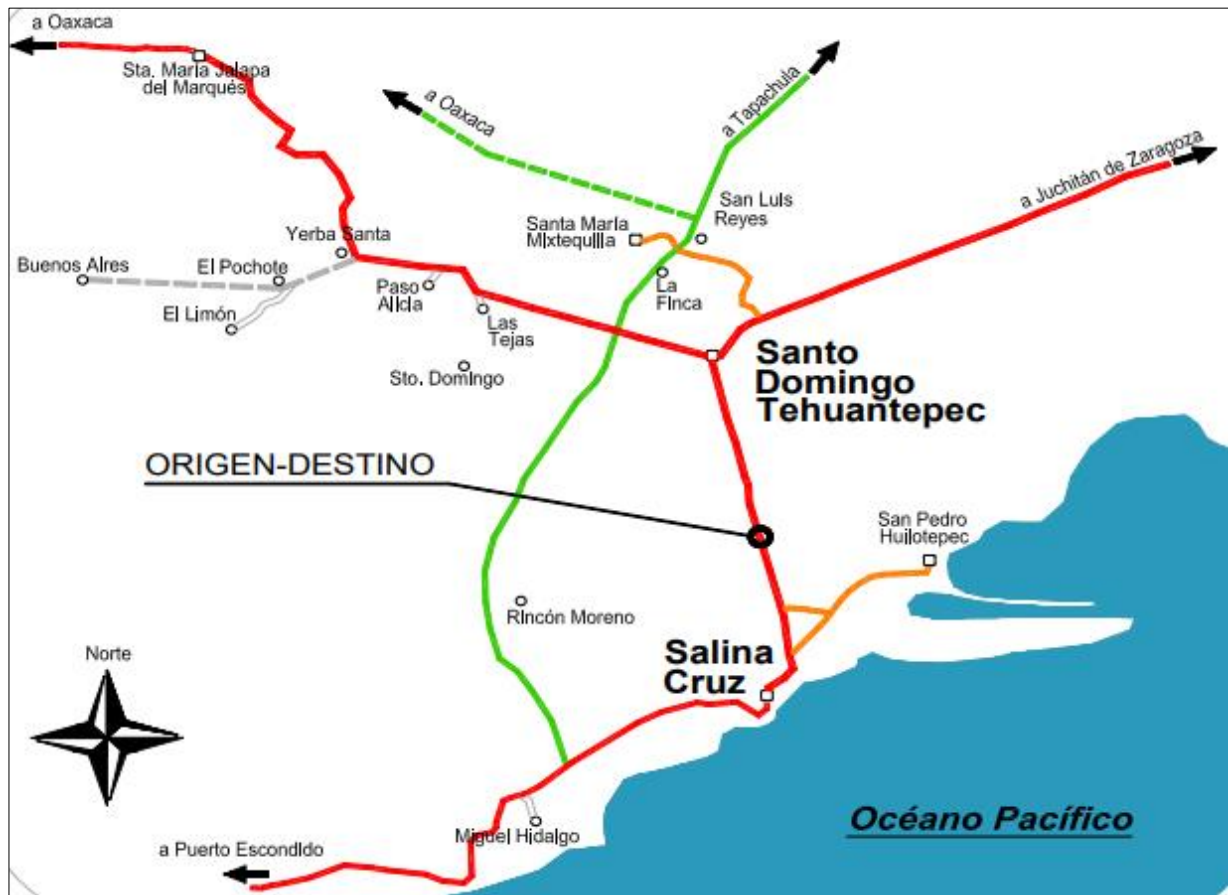


Figura 7.9. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Carretera Libre Coatzacoalcos – Salina Cruz.  
Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT.

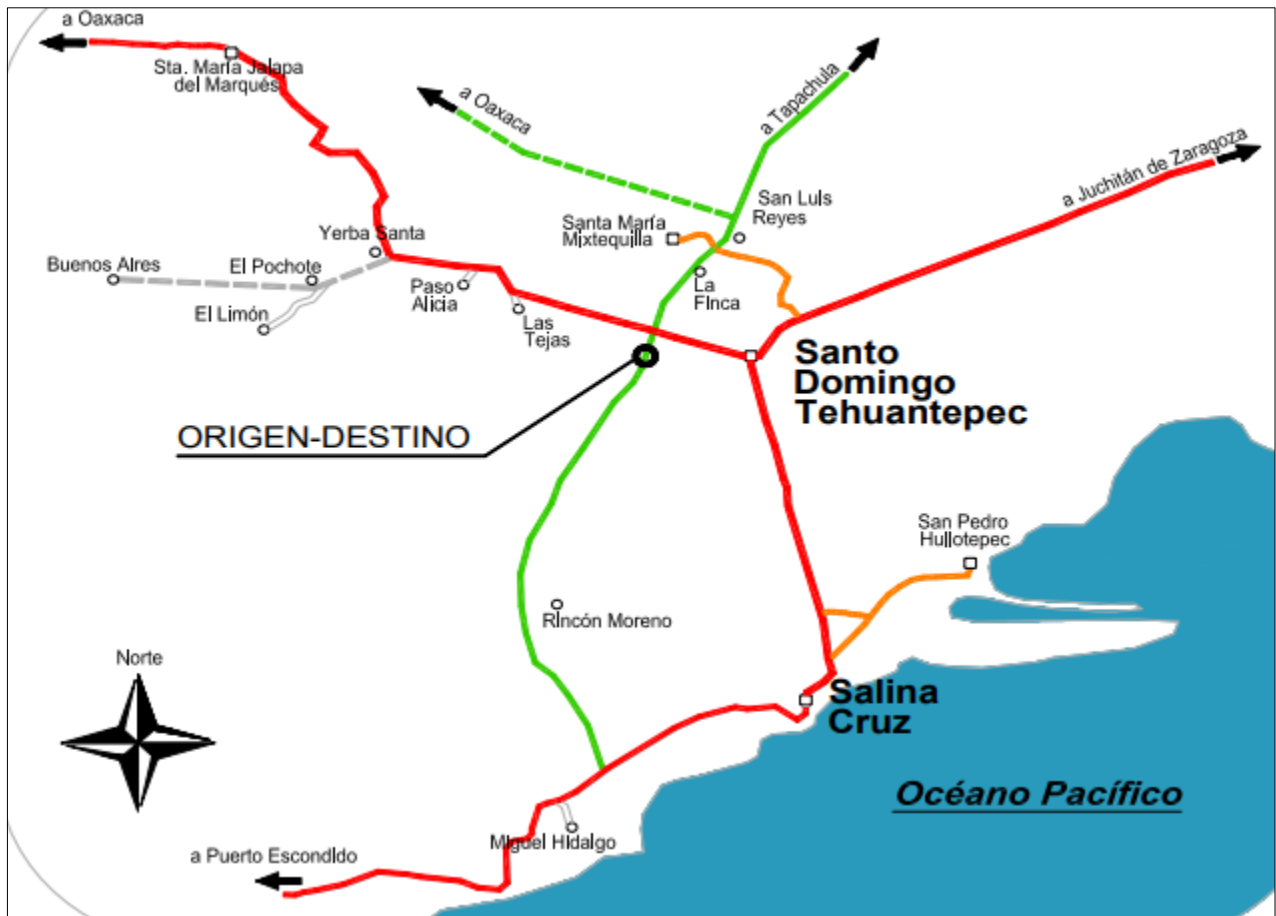


Figura 7.10. Ubicación del estudio Origen - Destino y Peso. Carretera de Cuota Salina Cruz – La Ventosa.  
Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT.