

IA68-03-2013
DETERIORO PREMATURO DE PAVIMENTOS CAUSADOS POR
CARGAS EXTRAORDINARIAS
DETERIORAMENTO PREMATURO DE PAVIMENTOS CAUSADOS
POR CARGAS ESPECIAIS

Carlos M. Chang-Albitres
Universidad de Texas en El Paso
El Paso TX, E.U.A.
cchangalbitres2@utep.edu

Edith Montes
Universidad de Texas en El Paso
El Paso TX, E.U.A.
emontes3@miners.utep.edu

Resumen

La infraestructura vial es fundamental para el desarrollo económico y social de un país, especialmente la red de carreteras. Las condiciones de la red de carreteras afectan el tiempo, la eficiencia, y el costo total del transporte. Una red de carreteras en buen estado es fundamental para el transporte de productos, servicios, y materiales para aumentar la competitividad y la calidad de inversión de un país. Los pavimentos que componen la red vial de carreteras requieren de mantenimiento y rehabilitación para preservarse en buen estado y proveer un sistema confiable para la población y los transportistas. Los tres elementos principales que afectan el desempeño de los pavimentos son: las cargas de tráfico, el medio ambiente, y la edad del pavimento. Dentro de estos factores, la magnitud y frecuencia de las cargas de tráfico tienen un impacto significativo en la vida útil del pavimento y deben controlarse tomando las medidas correctivas necesarias para evitar el deterioro prematuro. Los pavimentos que están sometidos a cargas extraordinarias requieren de intervenciones de mantenimiento mucho más frecuente y de acciones correctivas no previstas para reparar el daño causado por las cargas extraordinarias. Esta ponencia analiza diferentes clases de camiones con cargas extraordinarias con diferentes configuraciones de ejes y llantas, y evalúa el impacto de la carga en el pavimento. Además, concluye que los camiones de carga especial o extraordinaria deben limitarse en el uso y número de repeticiones sobre el pavimento debido al alto daño que causan, y recomienda establecer un control de pesos máximo a fin de verificar que no se superan los límites permisibles de acuerdo a normas.

Resumo

A infra-estrutura rodoviária é essencial para o desenvolvimento econômico e social de um país, especialmente a rede de estradas. As condições da rede de estradas afetam o tempo, eficiência e o custo total de transporte. Uma rede de estradas em boas condições é essencial para o transporte de produtos, serviços e materiais para aumentar a competitividade e a eficiência do investimento de um país. Pavimentos que compõem a rede de estradas requerem manutenção e reabilitação para preservá-los em boas condições e fornecer um sistema confiável para a população e as transportadoras. Os três elementos principais que afetam o desempenho do pavimento são: cargas de eixo, o ambiente e a idade do pavimento. Entre esses fatores, a magnitude e a frequência de tráfego de cargas têm um impacto significativo na vida útil do pavimento e as medidas corretivas para evitar a deterioração prematura devem ser planejadas baseadas neste tráfego. Pavimentos sujeitos a cargas acima do limite legal exigem intervenções mais frequentes ações de manutenção e corretivas não previstas para reparar danos causadas por estas cargas. Este artigo analisa os diferentes tipos de caminhões com cargas acima do limite legal com diferentes configurações de eixos e pneus e avalia o impacto destas cargas no pavimento. Além disso, conclui que os caminhões carregando estas cargas devem ser limitados no seu uso e o número de repetições por causa alto dano que causam e é recomendável estabelecer um controle de peso máximo para verificar que não excedam os limites permitidos de acordo com as normas.

INTRODUCCION

La infraestructura vial es fundamental para el desarrollo económico y social de un país, especialmente la red de carreteras. Las condiciones de la red de carreteras afectan el tiempo, la eficiencia, y el costo total del transporte (WisDOT, 2006). Una red de carreteras en buen estado es fundamental para el transporte de productos, servicios, y materiales que aumentan la competitividad y la calidad de inversión de un país. Los pavimentos que componen la red vial de carreteras requieren de mantenimiento y rehabilitación para preservarse en buen estado y proveer un sistema confiable para la población y los transportistas. Los tres elementos principales que afectan el desempeño de los pavimentos son: las cargas de tráfico, el medio ambiente, y la edad del pavimento. Dentro de estos factores, la magnitud y frecuencia de las cargas de tráfico tienen un impacto significativo en la vida útil del pavimento y deben controlarse tomando las medidas correctivas necesarias para evitar el deterioro prematuro.

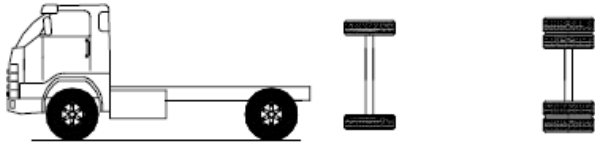
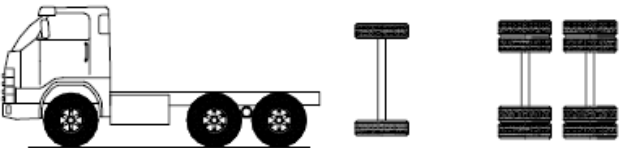
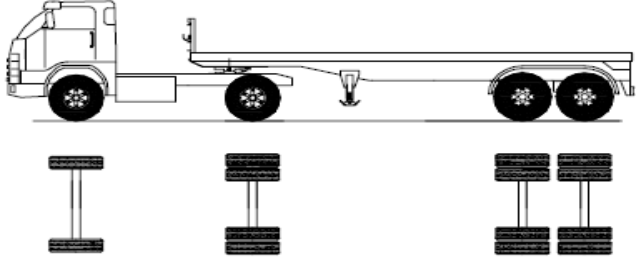
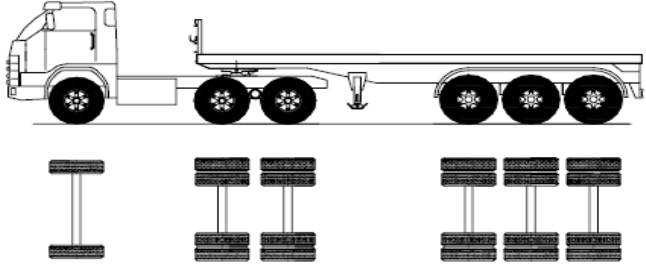
Los pavimentos que están sometidos a cargas extraordinarias requieren de intervenciones de mantenimiento mucho más frecuente y de acciones correctivas no previstas para reparar el daño causado por las cargas extraordinarias. Existen diferentes clases de camiones, cada camión usa diferentes números de ejes y llantas siendo el impacto de la carga en el pavimento dependiente de la configuración del camión y de los pesos por eje. La intensidad y el número de repeticiones de las cargas de tráfico afectan la estructura del pavimento y reducen su vida útil.

NORMATIVIDAD RELACIONADA A CARGAS EXTRAORDINARIAS

El Decreto Supremo N 058-2003-MTC promulgado el 12 de Octubre de 2003 aprueba el Reglamento Nacional de Vehículos en el Perú. En este Reglamento se describen los vehículos con los pesos y medidas máximas permitidas a circular por la red vial del Perú. Los camiones estándar están compuestos por combinaciones de ejes simples, ejes Tandem (2 ejes), y ejes Tridem (3 ejes), cada uno de los ejes puede tener neumáticos simples o duales. La Tabla 1 ilustra algunas de las más comunes configuraciones de ejes en camiones (El Peruano, 2003).

El camión estándar típico es el C2 con un peso bruto máximo total de 18 t. y el T3-S3 de 48 t que es el peso máximo de los vehículos autorizados a circular.

Tabla 1: Configuración y descripción de vehículos con diferentes tipos de ejes (Troncoso, 2011)

Tipo	Descripción General	Configuración Esquemática del Vehículo
C2	Camión con un eje simple de rueda simple (7 t) y un eje simple de rueda doble (11 t). Peso bruto máximo = 18 t	
C3	Camión de un eje simple de rueda simple (7 t) y un eje tandem (18 t). Peso bruto máximo = 25 t	
T2S2	Tracto-Camión con semi-remolque con un eje simple de rueda sencilla (7 t.), un eje simple de rueda doble (11 t) y un eje tandem (18 t). Peso bruto máximo = 36 t	
T3S3	Tracto-Camión con semi-remolque con un eje simple de rueda simple (7 t), un eje tandem (18 t) y un eje tridem (25 t) Peso bruto máximo = 50 t	

En el Perú, la Resolución Directoral N0 2226-2008-MTC/20 del 23 de Setiembre del 2008 presenta la Directiva N0 008-2008-MTC/20 que regula el procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones especiales para vehículos que transportan mercadería especial y/o para

vehículos especiales. En esta Directiva se indica que aquellos vehículos que superen las cuarenta y ocho toneladas (48 ton.) de peso bruto vehicular requieren de autorización especial (El Peruano, 2008).

DETERIORO PREMATURO CAUSADO POR CARGAS EXTRAORDINARIAS

Los pavimentos tienen distintos tipos de falla, entre las principales están las fallas por fatiga (Fotografía 1) y por deformación permanente (ahuellamiento, Fotografía 2). Estas fallas dependen de los tipos de carga y de las configuraciones de ejes y llantas de los camiones y de su efecto en la estructura del pavimento. La fatiga es un daño progresivo causado por las repeticiones de carga a que está sometido durante su vida en servicio mientras que el ahuellamiento puede producirse por exceso en la magnitud de carga. Las cargas extraordinarias o especiales dañan la estructura del pavimento, acelerando el deterioro, reduciendo la vida útil.

Fotografía 1: Fisuras masivas km 37+690, La Oroya- Dv. Cerro de Pasco



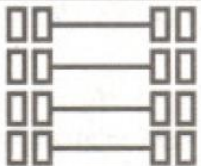
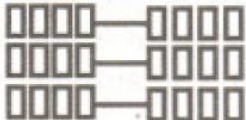


A medida que las cargas por eje son incrementadas, la estructura del pavimento reduce su vida útil. El daño al pavimento causado por las cargas extraordinarias o especiales aumenta rápidamente con el aumento de carga por eje. Los efectos de las cargas por ejes y configuración de llantas sobre diferentes tipos de pavimentos fueron analizados por el AASHTO en pruebas realizadas en carreteras de Ottawa. Estas pruebas crearon las unidades de daño, las cuales representan un método sencillo para medir el daño en el pavimento basado en la relación entre la carga por eje y el correspondiente daño causado en el pavimento. Una unidad de daño es equivalente a una repetición de un eje cargando 9

toneladas. Los resultados de estas pruebas muestran que un camión con tres ejes simples con un peso total de 23 t. causa 2.1 unidades de daño mientras que un camión de tres ejes simples con un peso total de 29 t. causa 6.1 unidades de daño. Esto indica que mientras la carga solo aumentó 26%, las unidades de daño aumentaron el 200% (WisDOT, 2006). Ejes no convencionales, cuyos pesos máximos están normados en la Directiva N0 008-2008-MTC/20, son mostrados en la Figura 3.

La Directiva también indica que para requerimientos superiores a los mostrados en la Figura 1 se debe considerar un eje rodado cuádruple especial y su capacidad aumentará en 12 t. por eje adicional. Cabe señalar que los Estados Unidos, la normatividad señala un peso máximo de 20,000 libras (9.72 t) para un eje simple, y de 34,000 libras (15.42 t) para un eje tándem, cargas superiores requieren de análisis y permisos especiales y están sujetas a una tarifa especial de peaje, o una penalidad si es que circulan sin la debida autorización.

Figura 1: Pesos máximos permitidos por eje en vehículos especiales (El Peruano, 2003)

EJES NO CONVENCIONALES		
EJES	TIPO	Máximo
	EDRC (eje doble rodado cuádruple)	15,000
	EDRC (eje doble rodado cuádruple)	28,000
	ECRD (eje cuádruple rodado doble)	32,000
	ETRC (eje triple rodado cuádruple)	36,000

Debido a las diferentes configuraciones de ejes, AASHTO utiliza Ejes Equivalentes (EE) para determinar el número de repeticiones de carga equivalente que el pavimento puede soportar. Un EE equivale al efecto de deterioro causado por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 t. de peso y con neumáticos con presión de 80 lb/pulg² (Barriga-Dall'Orto, 2011). La Tabla 2 muestra la relación de cargas por eje usadas para calcular los EE por camión.

Tabla 2: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) (Barriga-Dall'Orto, 2011)

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 tn})
-------------	---

Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1}=[P/6.6]^4$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2}=[P/8.2]^4$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1}=[P/14.8]^4$
Ejes Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2}=[P/15.1]^4$
Ejes Tridem (2 ejes de ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1}=[P/21.7]^4$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2}=[P/22.9]^4$
P= peso real por eje en toneladas	

Cabe señalar que las ecuaciones mostradas en la Tabla 2 son empíricas y aproximadas. Un análisis riguroso implicaría el cálculo de esfuerzos y deformaciones y el uso de métodos mecánicos para la evaluación del daño. Sin embargo, metodologías simplificadas como la presentada en este artículo hacen tomar conciencia de la necesidad de evaluar los daños causados en el pavimento por cargas extraordinarias y tomar conciencia de la necesidad de implementar una política integral de control de pesos.

Si comparamos los camiones de configuración especial con un camión estándar, observamos que los camiones de configuración especial sobrepasan el número de ejes y cargas establecidas para los camiones estándar. Estos vehículos son usados para el transporte de cargas especiales o extraordinarias, es decir, cargas más pesadas de lo normal. En este análisis usaremos un camión estándar para comparar el daño que causan los camiones de cargas extraordinarias en comparación a estos. Las características de estos camiones se detallan a continuación.

- El camión estándar elegido es el tipo C2 el cual consiste en un camión con un eje simple (7 t.) de rueda simple y un eje simple de ruedas dobles (11 t.).
- El camión de configuración especial (CCE1) que consta de 1 eje simple de ruedas simples (7 t.), 1 eje tridem (24.4 t.), y 8 ejes simples de ruedas cuádruples en dos grupos (13.4 t x 8 = 107.2 t.). Este camión de carga especial o extraordinaria fue diseñado para transportar una carga de 60.6 toneladas. Debe observarse que en esta configuración de carga especial el eje rodado cuádruple especial de 13.54 t. superan el límite de 12 t. por eje adicional indicado en la norma peruana. La Figura 2 muestra la configuración de ejes del camión tipo CCE1.

Figura 2: Configuración esquemática del vehículo CCE1



- El camión de configuración especial (CCE2) posee 1 eje simple de ruedas simples (7 t.), 1 eje tridem (24.4 t.), y 10 ejes simples de ruedas cuádruples (12 t. x 10 = 120 t.). Este camión de carga especial o extraordinaria fue diseñado para transportar una

carga de 83 toneladas. La Figura 3 muestra la configuración de los ejes del camión tipo CCE2.

Figura 3: Configuración esquemática del vehículo CCE2



- d. El camión de configuración especial (CCE3) consta de 1 eje simple de ruedas simples (7 t.), 1 eje tridem (29.9 t.), y 10 ejes de ruedas cuádruples en dos grupos (14.64 t. x10 = 146.4 t.). Este camión de carga especial o extraordinaria fue diseñado para transportar una carga de 105 toneladas. La Figura 4 muestra la configuración de ejes del camión tipo CCE3.

Figura 4: Configuración esquemática del vehículo CCE3



Usando las formulas de la Tabla 2, los ejes equivalentes por camión fueron calculados. Las configuraciones de 4 o más ejes fueron analizados como ejes Tandem por cada par de ejes que contenían. Por ejemplo, el camión CCE3 fue analizado con un eje Tridem, dos ejes Tandem (sección media) y tres ejes Tandem (sección final). Los resultados son aproximados y sirven para mostrar las diferencias de ejes equivalentes por tipo de camión. El camión C2 consta con 4.504 ejes equivalentes, el camión CCE1 tiene 59.604 ejes equivalentes, el camión CCE2 tiene 48.418 ejes equivalentes, y el camión CCE3 tiene 105.775 ejes equivalentes. Lo cual indica que el daño producido por el camión CCE1 es equivalente a 13.2 repeticiones de un camión tipo C2. Asimismo, si un camión de carga especial CCE2 pasara por un tramo de carretera causaría el mismo daño que 10.75 repeticiones de un camión de tipo C2. El camión CCE3 causa el mayor daño en el pavimento ya que una repetición de este camión equivale a 23.48 repeticiones de un camión tipo C2.

Es interesante notar que el camión CCE2 tiene un valor de ejes equivalentes menor al del camión CCE1 debido a que el CCE2 tiene dos ejes simples de rueda doble más que el camión CCE1, lo cual hace que se distribuya mejor la carga reduciendo el número total de ejes equivalentes. Asimismo, el camión CCE3 tiene el mismo número de ejes que el camión CCE2, sin embargo el número de ejes equivalentes es más del doble que el del CCE2 debido a la configuración de los ejes y el aumento en el peso de la carga.

Cada repetición de los camiones de carga especial reduce la vida útil de la carretera en forma significativa debido a que las cargas especiales tiene un nivel alto de ejes equivalentes, tomando en cuenta que los pavimentos están diseñados a soportar cargas estándar. La relación del incremento del nivel de daño a causa de la carga no es lineal, más bien tiene una relación exponencial a la cuarta o sexta potencia (Freewebs, 2012). Debido a esta relación, un pequeño aumento en la carga por eje causa un daño mucho mayor en el pavimento, causando una reducción significativa en su vida útil.

CONCLUSIONES

Los camiones de carga especial o extraordinaria deben limitarse en el uso y frecuencia sobre el pavimento debido al alto número de ejes equivalentes que representan, lo cual acelera el deterioro del pavimento en forma exponencial. Así por ejemplo, el daño de un camión especial CCE1 es equivalente a 13.2 repeticiones de un camión tipo C2, y el daño de un camión CCE2 es equivalente a 10.75 repeticiones del camión de tipo C2; y el CCE3 hasta 23.48 repeticiones del camión de tipo C2.

Las carreteras son un patrimonio invaluable a proteger y las cargas extraordinarias que circulan por los pavimentos deben controlarse. El daño causado por las cargas extraordinarias demanda actividades de mantenimiento correctivo y de rehabilitación no contempladas cuando los vehículos que circulan por el pavimento están constituidos por cargas estándar normales.

Puesto que el daño es causado por la magnitud y frecuencia de los ejes actuantes en el pavimento, el control de pesos máximo debe realizarse por eje a fin de verificar que no se superen los límites permisibles por eje de acuerdo a normas. La distribución de las cargas y composición de los ejes también influye en el nivel de daño causado en el pavimento, para un mismo peso, causa menor daño el vehículo que tiene más ejes.

Referencias Bibliográficas

Barriga-Dall'Orto. "Servicio de Consultoría Elaboración de la Sección de Suelos y Pavimentos del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos". Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Perú, 2011

El Peruano. "Reglamento Nacional de Vehículos". Decreto Supremo 058-2003-MTC. Lima, Perú, 2003

El Peruano. "Normas y Procedimientos para el Otorgamiento de Autorizaciones Especiales para Vehículos que Transportan Mercancía Especial y/o para Vehículos Especiales". Resolución Directoral No 2226-2008-MTC/20. Lima, Perú, 2008

Freewebs. Chapter 3 Factors Affecting Pavement Performance. Disponible en: <<http://www.freewebs.com/sairrazaq/pavement%20performance.pdf>>. Fecha de Consulta: Noviembre 2, 2012

Troncoso, J.R. "Evaluación del Espectro de Carga y Coeficientes de Daño en el Corredor de la Avenida Boyacá, Bogotá D.C.". Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, 2011

Wisconsin Department of Transportation (WisDOT). "How Vehicle Loads Affect Pavement Performance". Wisconsin Transportation Bulletin No. 2. Wisconsin, 2006