

DAÑO CAUSADO A LOS PAVIMENTOS POR LA
CIRCULACION DE VEHICULOS SOBRECARGADOS
Y MEDIDAS PARA EVITARLO

CRISTHIAN ORB MILLAN
DIRECCION DE VIALIDAD
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

RESUMEN

En este trabajo se describe brevemente el daño causado a los pavimentos, debido a la circulación de vehículos con ejes sobrecargados y se reseñan medidas para evitar la circulación de éstos vehículos.

A partir de las fórmulas AASHTO se obtienen los ejes equivalentes para ejes simples y dobles para un pavimento de hormigón de 20 cms. de espesor considerado representativo de la red vial y se determina el exceso de ejes equivalentes (daño) producido por la circulación de ejes con pesos superiores a los establecidos.

Se definen dos tipos de medidas para evitar la circulación de vehículos sobrecargados, uno educativo que incluye la difusión de la legislación existente y la publicidad necesaria y otro consistente en la aplicación práctica de ésta legislación, prohibiendo que los vehículos mal estibados o sobrecargados continúen en circulación mientras no hayan adecuado sus pesos a los límites establecidos y sean sancionados por su infracción.

Se analizan diferentes alternativas para sancionar las infracciones cometidas, ya sea en función del daño causado por eje o por el vehículo en su totalidad.

Por último, en función de la experiencia recogida se efectúan algunas recomendaciones útiles a usuarios y organismos de control.

1.- Efectos de la sobrecarga en los pavimentos

El fijar límites de peso a los vehículos comerciales es algo necesario considerando factores económicos y de seguridad.

La disminución de vida útil que sufre la red vial y que lleva a la destrucción de la infraestructura, producto del sobre peso con que circulan los vehículos, hace necesario limitar las cargas; por otra parte las obras de arte y puentes también se ven afectadas por el gran tonelaje de los vehículos en circulación ya que son sometidas a solicitudes cercanas al umbral de fatigamiento y éste puede aún ser sobre pasado debido a desuniformidades en los materiales o a defectos de construcción.

Por estas razones se ha efectuado en el país el control de los pesos de los vehículos, dotándoselo de los medios legales pertinentes junto con los elementos técnicos adecuados para llevar a la práctica este control.

1.1.- Diseño de pavimentos

Para diseñar los pavimentos es necesario conocer el volumen de tránsito que solicitará la estructura del pavimento. El tránsito que circula por la carretera está formado por vehículos livianos, buses, camiones de dos ejes y camiones de más de dos ejes.

Para obtener la distribución de los vehículos en circulación se lleva a cabo un censo clasificado por tipo de vehículo junto a un control de peso, las 24 horas diarias, al menos durante tres días. Se pesan todos los vehículos comerciales aunque circulen vacíos o con poca carga.

Se obtiene entonces el total de vehículos distribuidos por tipo, los vacíos, los cargados y los pesos de los ejes en los diferentes tramos de carga.

Los pesos que se encuentran en esta estratigrafía requieren ser expresados en términos de un denominador común, por lo que se usan factores de equivalencia que permiten transformar los pesos de los diferentes estratos a un solo eje equivalente.

Para obtener los ejes equivalentes por tipo de vehículo y de estrato se amplifica cada uno de los valores por la proyección del crecimiento y se obtiene posteriormente el total de los ejes equivalentes por estrato como la suma de los diferentes períodos y del mismo modo los ejes equivalentes totales que solicitarán el pavimento durante la vida de diseño.

1.2.- Daño causado por la sobrecarga

El daño producido a la infraestructura vial por efectos del sobre peso de los ejes de los vehículos es creciente con el peso, pero en forma mucho mayor.

Para poder medir el daño ocasionado por la pasada de un eje con un peso cualquiera es necesario compararlo con el daño producido por la pasada de un eje de 18 Kips (8.1 t.) sobre un pavimento con la misma estructura. Para esto se usa el factor de reducción a ejes equivalentes, que según la norma AASHTO para pavimentos de hormigón es:

$$F = \frac{(W + L)^{4.62}}{8.089 \times 10^5 L^{3.28}} \quad X \quad \frac{(4.5 - p)}{3} \quad \text{con } 18 - W$$

donde $\infty_{18} = \frac{1}{1 + \frac{4.31 \times 10^{12}}{(H + 2.54)^{8.46}}} \quad \infty_W = \frac{1}{1 + \frac{9656 (W + L)^{5.2}}{(H + 2.54)^{8.46}} L^{3.52}}$

- F = factor de reducción a ejes equivalentes.
H = espesor del pavimento en centímetros
W = peso del eje en kips
p = índice de serviciabilidad
L = número de ejes (1 para ejes simples; 2 para ejes dobles)

De acuerdo a lo anterior, para un pavimento de hormigón de 20 cms. de espesor, que puede considerarse representativo de la red vial nacional y para un p final = 2.0 se obtienen las siguientes tablas de reducción a ejes equivalentes para ejes simples y dobles.

TABLA N°1.2.1

Ejes equivalentes para un eje simple de ruedas dobles

Límite : 11.0 t.

Peso del eje (toneladas)	Ejes equivalentes	Sobrecarga c/r al lím.	Exceso de ejes equivalentes
8.0	0.92	- 3.0	- 2.62
8.5	1.19	- 2.5	- 2.35
9.0	1.51	- 2.0	- 2.03
9.5	1.91	- 1.5	- 1.63
10.0	2.37	- 1.0	- 1.17
10.5	2.91	- 0.5	- 0.63
11.0	3.54	0.0	0.0
11.5	4.27	0.5	0.73
12.0	5.11	1.0	1.57
12.5	6.08	1.5	2.54
13.0	7.18	2.0	3.64
13.5	8.42	2.5	4.88
14.0	9.48	3.0	6.30
14.5	11.44	3.5	7.90
15.0	13.24	4.0	9.70
15.5	15.26	4.5	11.72
16.0	17.51	5.0	13.97
16.5	20.03	5.5	16.49

TABLA N°1.2.2

Ejes equivalentes para un eje doble de ruedas dobles

Límite : 18.0 t.

Peso del eje (toneladas)	Ejes equivalentes	Sobrecargas c/r al lím.	Exceso de ejes equivalentes
13.0	0.94	- 5.0	- 2.73
14.0	1.28	- 4.0	- 2.39
15.0	1.71	- 3.0	- 1.96
16.0	2.24	- 2.0	- 1.43
17.0	2.89	- 1.0	- 0.78
18.0	3.67	0.0	0.0
19.0	4.60	1.0	0.93
20.0	5.70	2.0	2.03
21.0	7.00	3.0	3.33
22.0	8.52	4.0	4.85
23.0	10.29	5.0	5.70
24.0	12.35	6.0	8.68
25.0	14.72	7.0	11.05
26.0	17.44	8.0	13.77
27.0	20.55	9.0	16.88

El criterio usado para determinar los límites de peso de cada tipo de eje fue que en ellos se causara un daño similar. Esto se ve claramente en los valores correspondientes en los ejes simples y dobles, en los cuales la diferencia en ejes equivalentes en el límite es muy pequeña: 0.13 E.E.

La sobrecarga en cada uno de los tipos de ejes produce un daño distinto según sea éste, simple o doble, situación que se observa en el Grafico N° 1.2.1 donde se ve, a partir del límite, para cada incremento de carga el aumento de ejes equivalentes.

El daño producido para incrementos iguales de carga es mucho mayor en los ejes simples, donde un aumento de una tonelada sobre el límite produce un aumento de los ejes equivalentes de 44.3 % contra un mayor peso de sólo 9.1 %.

Por esta razón, debe evitarse en forma estricta la circulación de vehículos cuyos ejes presentan pesos superiores a los establecidos, ya que se produce un daño no justificable en la red vial.

2.- Medidas para evitar la circulación de vehículos con sobrecarga

Para evitar la circulación de vehículos con sobrecarga deben considerarse dos aspectos: uno educativo con el fin de dar a conocer la legislación existente y permitir a los propietarios de vehículos y a los conductores conocer la capacidad real de carga de sus vehículos en función de las distribuciones de peso por eje y otro aspecto que desincentive esta circulación de vehículos con sobrecarga y la sancione dado el daño causado.

2.1.- Educación de usuarios de la carretera

El primer paso en una etapa educativa es dar a conocer las normas de peso vigentes en la forma más amplia y extensa posible. Debe difundirse a través de la prensa, mediante cartas a los organismos de transportistas, donde se explique el daño causado por el sobrepeso y a través de cualquier otro medio de difusión..

Esto debe ir acompañado de explicaciones prácticas en terreno, en aquellos lugares donde existan controles de peso, señalando claramente al conductor cuales son los pesos de sus ejes, si circula mal estibado o sobrecargado y cual es la capacidad real de carga de su camión.

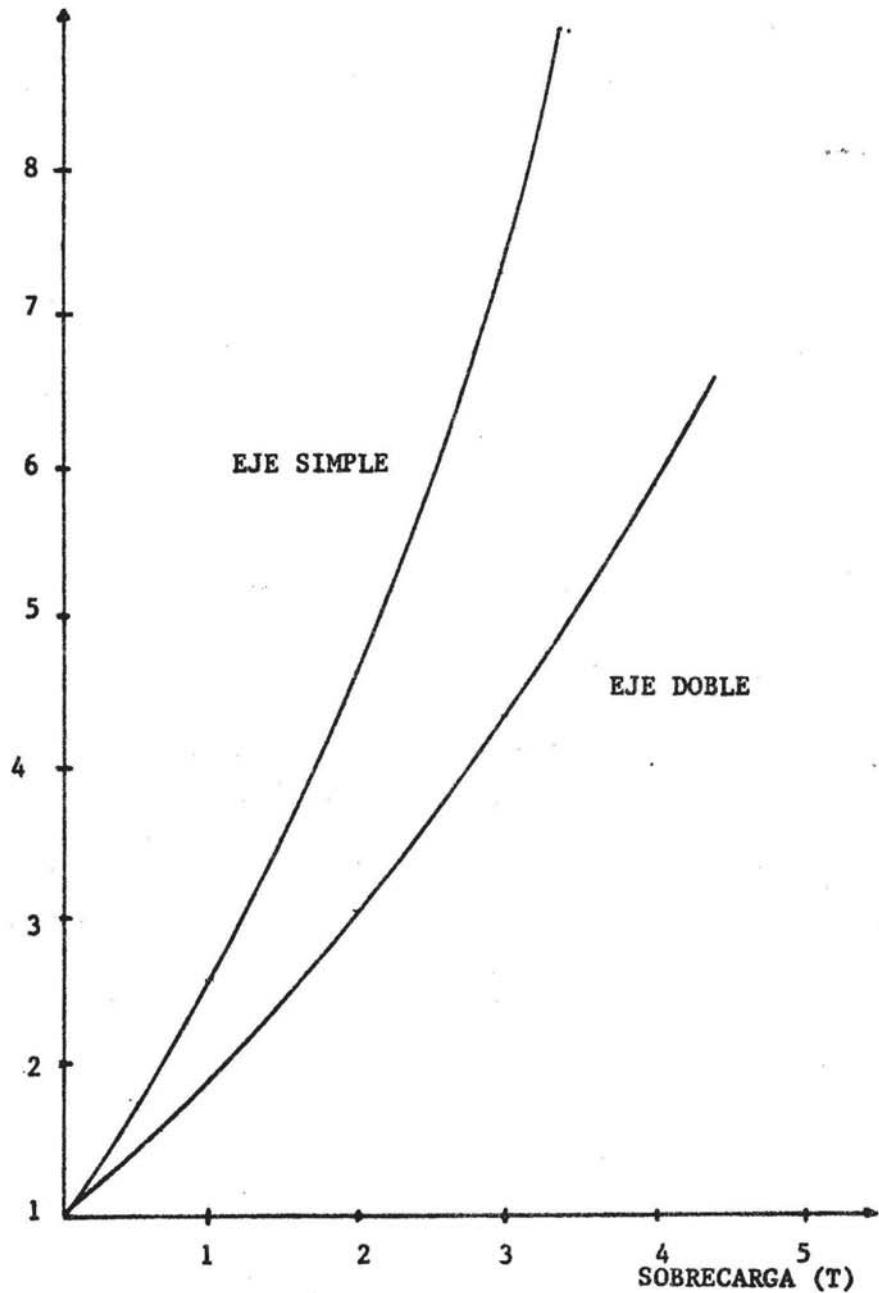
Cada vez que se instale un control de peso en algún nuevo lugar es menester difundir su instalación y sus objetivos por los medios locales.

Solamente, después de haber desarrollado un período educativo es recomendable aplicar sanciones a los infractores a las normas de peso, ya que éstos siempre alegan el desconocimiento de la Ley, lo que puede ser efectivo pero en algún número reducido de casos, si ha existido educación previa.

GRAFICO 1.2.1.

EXCESO DE EJES EQUIVALENTES
POR SOBRECARGA

EJES EQUIVALENTES
DE EXCESO



2.2.- Sanciones a los infractores

Para sancionar la circulación de vehículos con sobrecarga debe procederse de dos maneras:

- i) no permitir que el vehículo continúe circulando mientras no estibe su carga en forma correcta o descargue el exceso transportado.
- ii) aplicar una multa por el daño causado a la red vial y que sea tal que desincentive el transporte de exceso de carga.

El objeto de la multa es sancionar la circulación de vehículos con sobre carga y para regularizar esta sanción en las distintas regiones o comunas es conveniente fijar una Escala de Multas, única para todo el país, para la cual existen diferentes alternativas.

2.2.1.- Asignación de ejes equivalentes por vehículo

Una primera alternativa es asignar a cada tipo de vehículo una cantidad de ejes equivalentes que dependerá de los ejes que posea y sancionar el exceso sobre el límite.

Es así como los camiones con dos grupos de ejes podrían circular hasta con 7.1 EE, los de tres grupos con 10.6 EE y los de cuatro con 14.2 EE.

Se cursaría una infracción sólo en el caso que el vehículo al ser controlado circulase con una cantidad de ejes equivalentes superior al límite, independiente de la distribución de cargas entre ejes, es decir con sobrecarga en uno o más ejes medida en ejes equivalentes, no compensada por el déficit en otros ejes.

Este sistema es de difícil aplicación, ya que debería existir una serie de tablas, una para cada tipo de eje, con los pesos y sus correspondientes ejes equivalentes. Estas tablas partirían con valores bajos y se incrementarían en tramos de 0.1 t. hasta un 50 % sobre el límite de peso.

Cada vez que se detectara un eje con sobrecarga habría que buscar sus correspondientes ejes equivalentes y verificar si el déficit de ejes equivalentes en otros ejes compensa este exceso. Se producirían largas discusiones en aquellos casos en los cuales la diferencia entre un eje y otro fuese la misma en toneladas, sobre y bajo el límite, lo que implica valores diferentes de ejes equivalentes; más grave aún si la diferencia fuese entre un eje doble con sobrecarga y uno simple sin sobrecarga.

Una alternativa para estas tablas es contar en las plazas automáticas de pesaje con procesadores que calculen en forma inmediata los ejes equivalentes totales del vehículo, comparen con el límite y determinen si es posible la estiba correcta.

También habría que explicar nuevos conceptos a los conductores, a quienes les sería difícil entender que determinada sobrecarga no puede ser siempre traspasada de un eje a otro donde existe una carga bajo el límite.

En la realidad se otorgan tolerancias a los límites de peso y si la sobrecarga está comprendida en estas tolerancias, no se cursa la infracción, por lo que esta alternativa se ve parcialmente llevada a la práctica.

Los puntos señalados anteriormente hacen aconsejable no aplicar este sistema de sanciones. En todo caso, si se desease aplicar multas, estas deberían estar compuestas por una multa base, por el hecho de circular con sobrecarga y de una parte variable, proporcional a los ejes equivalentes de exceso.

$$M = B + C \times EEE$$

M = multa

B = valor base

C = cobro por eje equivalente

EEE = ejes equivalentes de exceso totales.

Por otra parte, debería estudiarse en mayor detalle las influencias de una legislación de este tipo en las estratigrafías que se usan para el diseño de nuevos pavimentos.

2.2.2.- Sanciones por sobrecarga en ejes.

Una segunda alternativa es aplicar sanciones por la sobrecarga de cada eje en forma independiente.

Se estudió la distribución de ejes controlados en la Plaza de Pesaje Lampa, durante 1982, obteniéndose el cuadro de la página siguiente:

CUADRO N° 2.2.2.1.

Distribución por tipos de ejes

Eje	Ruedas	Controlados	%	Sobrecargados	%
Simple	Simples	44167	33.12	574	12.35
Simple	Dobles	59314	44.48	3127	67.29
Doble	Simples	986	0.74	9	0.19
Doble	Dobles y simples	4136	3.10	169	3.64
Doble	Dobles	20287	15.21	720	15.49
Triple	Dobles y Simples	2284	1.71	25	0.54
Triple	Dobles	2184	1.64	23	0.50
<hr/>					
Total:		133358	100.00	4641	100.00

Se observa de este cuadro que el eje más común es el eje simple de ruedas dobles (44,5 %) y que también es el que se presenta con mayor frecuencia entre los ejes sobrecargados (67,3 %), por lo que se basará la escala de multas en este eje.

Al igual que en la alternativa anterior se considerará una multa base por el hecho de circular con sobrecarga y una parte variable, para cada eje que trasgreda los límites, en función del daño causado (ejes equivalentes de exceso). Estos ejes equivalentes de exceso han sido transformados a toneladas de sobrecarga, para hacer más entendible el sistema a los usuarios y se discretizará en tramos de 0.5 t. por efectos de la precisión de los equipos y de las tolerancias. La multa tendría entonces la siguiente forma:

$$M = B + \sum(EEE \times C)$$

M = multa

B = valor base

EEE = ejes equivalentes de exceso por cada eje

C = cobro por eje equivalente

La multa debería ser mayor que la posible ganancia obtenida por el transporte de carga en exceso, debiendo considerarse los costos reales de transporte para ser fijada; para independizarnos de ésto se adoptarán Unidades de Multa U.M., sin un valor determinado.

Considerando un valor de 0.5 U.M. por cada eje equivalente de exceso, se obtienen para cada tramo de sobrecarga los valores indicados en la Tabla N° 2.2.2.1.

2.2.3.- Sanciones por el total de la sobrecarga

Una tercera alternativa es aplicar sanciones por el total de las sobrecargas detectadas. En este caso no es posible sancionar exactamente en función del daño causado, pero puede establecerse una escala creciente a medida que aumenta el total de sobrecarga, siguiendo alguna relación matemática a definir u otra que se considera aplicable fácilmente.

En este caso la multa base puede incorporarse a la parte variable para simplicidad del sistema.

Como en la práctica las sobrecargas se presentan decrecientes en número a medida del aumento de su valor se presenta la siguiente tabla, que considera tramos convenientes para la suma de las sobrecargas.

TABLA N° 2.2.3.1.

Multas por exceso de peso

Exceso de peso (Toneladas)	Multa (U.M.)
hasta 1.000	1.00
1.001 a 2.000	1.01 a 2.00
2.001 a 3.000	2.01 a 3.50
3.001 a 5.000	3.51 a 7.00
más de 5.000	7.01 a 15.00

TABLA N° 2.2.2.1.

Multas por exceso de peso por cada eje

Exceso de peso (toneladas)		Multa por cada eje U.M.
0.001	- 0.500	0.4
0.501	- 1.000	0.8
1.001	- 1.500	1.3
1.501	- 2.000	1.8
2.001	- 2.500	2.4
2.501	- 3.000	3.2
3.001	- 3.500	4.0
3.501	- 4.000	4.9
4.001	- 4.500	5.9
4.501	- 5.000	7.0
5.001	- 5.500	8.2
5.501	- 6.000	9.6
6.001	- 6.500	11.2
6.501	- 7.000	12.9
7.001	- 7.500	14.8
7.501	- 8.000	16.9
8.001	- 8.500	19.1
8.501	- 9.000	21.7
9.001	- 9.500	24.4
9.501	- 10.000	27.4

3.- Recomendaciones.

Para desarrollar el control de peso en forma óptima y obtener buenos resultados, se requiere haber dado cumplimiento a la etapa educativa y contar con equipos adecuados para el control.

3.1.- Recomendaciones a los transportistas

Es fundamental que los transportistas conozcan exactamente la tara de sus vehículos y la capacidad real de carga en función de la distribución de peso por eje. Aunque parezca increíble esta tara era desconocida por muchos conductores al iniciarse el control de peso hace algunos años atrás.

Las cargas a transportar deben ser conocidas y los vehículos deberían ser controlados antes de ingresar a la red vial.

Es conveniente que las empresas que originan cargas cuenten con equipos de pesaje no sólo para peso total sino también para controlar peso por eje.

Las organizaciones de transportistas deberían también establecer centros de verificación de sus cargas.

3.2.- Aspectos inherentes al control.

Es muy importante contar con equipos confiables y que sean verificados en forma regular.

El personal fiscalizador debe ser idóneo, con presentación adecuada, brindar un trato deferente y cortés a los transportistas y atender sus consultas en forma oportuna.

Por último se debe establecer un sistema de sanciones a los infractores compatible con la realidad económica de los transportistas y de aplicación agil, permitiendo así el pago efectivo de las multas.