

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

LM-PI-UP-06-2013

ASESORÍA TÉCNICA

REVISIÓN DEL PESO DE LOS VEHICULOS INCLUIDOS EN LA PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DEL ACUERDO CENTROAMERICANO DE CIRCULACIÓN POR CARRETERA Y EN EL DECRETO 31363-MOPT Y SU EFECTO EN PUENTES DE COSTA RICA

Preparado por:

Unidad de Puentes



San José, Costa Rica

14 de octubre de 2013



Documento generado con base en el Art. 6 de la Ley 8114 y lo señalado Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LanammeUCR

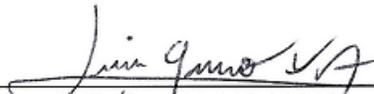


PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Página intencionalmente dejada en blanco



1. Informe: LM-PI-UP-06-2013		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: REVISIÓN DEL PESO DE LOS VEHICULOS INCLUIDOS EN LA PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DEL ACUERDO CENTROAMERICANO DE CIRCULACIÓN POR CARRETERA Y EN EL DECRETO 31363-MOPT Y SU EFECTO EN PUENTES DE COSTA RICA		4. Fecha del informe 14 de octubre de 2013
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna.		
7. Resumen Los ingenieros Carlos Miranda Chavarría, jefe de Pesos y Dimensiones de CONAVI y Tomás Figueroa Malavassi, Director de Planificación Sectorial del MOPT realizaron por medio del oficio DPS-2013-529 con fecha del 18 de mayo de 2013 y recibido el 22 de agosto de 2013 la siguiente solicitud al LanammeUCR: <i>"(...)se hace inminente hacer la consulta al Lanamme, (...) un criterio para determinar si los PMA que establece el Decreto 31363 en comparación con lo propuesto en el Acuerdo Centroamericano de Circulación por Carreteras, comprometen o no la integridad, desempeño y vida útil de las estructuras de nuestras carreteras (más específicamente estructuras de pavimentos y puentes) en las principales vías de tránsito nacional e internacional , como son las rutas 1, 2, 4, 10, 18, 21, 23, 27, 32, 34, 35, 36, 141."</i> Este informe se limita a comparar las restricciones de peso vehicular establecidas en publicaciones de AASHTO relacionadas con estructuras de puentes con las restricciones de peso especificadas en la propuesta de "Actualización del Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carretera en Materia de Pesos y Dimensiones de Vehículos de Carga" [4] y en el "Decreto 31363-MOPT Reglamento de Circulación por Carretera con Base en el Peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga" [5].		
8. Palabras clave Puentes, Vehículos, Pesos, Cargas legales, HL-93	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 38
11. Informe preparado por: Ing. Luis Guillermo Vargas Alas Unidad de Puentes-LanammeUCR  Fecha: 14 / 10 / 2013		
12. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: 14 / 10 / 2013	13. Revisado por: Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD. Coordinador Unidad de Puentes  Fecha: 14 / 10 / 2013	14. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD. Coordinador General PITRA  Fecha: 14 / 10 / 2013

Página intencionalmente dejada en blanco

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	8
3. ALCANCE	9
4. CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS QUE AFECTAN UN PUENTE	9
5. RESTRICCIONES DE PESO VEHICULAR	10
6. COMPARACIÓN DE LAS RESTRICCIONES DE PESO VEHICULAR DE LA TABLA 3 CON LOS PESOS MAXIMOS PERMITIDOS PARA LOS VEHÍCULOS INCLUIDOS EN EL ACUERDO CENTROAMERICANO [4]	17
7. COMPARACIÓN DE LAS RESTRICCIONES DE PESO VEHICULAR DE LA TABLA 3 CON LOS PESOS MAXIMOS PERMITIDOS PARA LOS VEHÍCULOS INCLUIDOS EN EL DECRETO 31363-MOPT [5]	22
8. CONCLUSIONES	26
9. RECOMENDACIONES	27
REFERENCIAS	29
ANEXO A PUBLICACIÓN <i>BRIDGE FORMULA WEIGHTS</i>	31



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Página intencionalmente dejada en blanco

1. INTRODUCCIÓN

Los ingenieros Carlos Miranda Chavarría, jefe de Pesos y Dimensiones de CONAVI y Tomás Figueroa Malavassi, Director de Planificación Sectorial del MOPT realizaron por medio del oficio DPS-2013-529 con fecha del 18 de mayo de 2013 y recibido el 22 de agosto de 2013 la siguiente solicitud al LanammeUCR:

"(...)se hace inminente hacer la consulta al Lanamme, (...) un criterio para determinar si los PMA que establece el Decreto 31363 en comparación con lo propuesto en el Acuerdo Centroamericano de Circulación por Carreteras, comprometen o no la integridad, desempeño y vida útil de las estructuras de nuestras carreteras (más específicamente estructuras de pavimentos y puentes) en las principales vías de tránsito nacional e internacional, como son las rutas 1, 2, 4, 10, 18, 21, 23, 27, 32, 34, 35, 36, 141."

Para responder a esta solicitud, en lo que respecta al peso máximo admitido de vehículos sobre estructuras de puentes, es necesario considerar lo siguiente:

- a) El Ministerio de Obras Públicas y Transportes históricamente ha utilizado y especificado la normativa de AASHTO para el diseño de puentes nuevos y para la evaluación de puentes existentes, por lo cual las cargas vehiculares que circulan por el país, no deberían sobrepasar los efectos que genera sobre los puentes la carga viva de diseño HL-93 incluida en la publicación de AASHTO *LRFD Bridge Design Specifications 2012* (Especificaciones LRFD para diseño de puentes, denominada de aquí en adelante AASHTO LRFD) [2] y las cargas legales recomendadas en la publicación AASHTO titulada *The Manual for Bridge Evaluation 2011* (Manual para evaluación de puentes denominado de aquí en adelante como AASHTO MBE) [3].
- b) El Artículo 8 del Decreto 31363-MOPT *Reglamento de Circulación por Carretera con Base en el Peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga* (denominado de aquí en adelante Decreto 31363-MOPT) [5] corrobora lo dicho en el punto a) donde se estipula lo siguiente:

"Artículo 8º—Normas técnicas aplicables para los efectos de los pesos y dimensiones máximos permitidos. El cálculo de los PMA se basarán en las especificaciones para el diseño de carreteras y puentes de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO), para cargas vivas HS15-44 y HS20-44, o cualquier otra norma nacional que el MOPT estime necesaria crear para la conservación de la infraestructura vial nacional."

- c) El Ing. Carlos Miranda, Jefe de Pesos y Dimensiones del CONAVI, nos informó que no cuenta con información sobre los criterios y la documentación utilizada para establecer los tipos de vehículos, las restricciones de peso y la distancia entre ejes de los vehículos incluidos en la propuesta de "Actualización del Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carretera en Materia de Pesos y Dimensiones de Vehículos de Carga" (denominado de aquí en adelante Acuerdo Centroamericano) [4] y en el Decreto 31363-MOPT [5]. Se nos brindó información de que aparentemente estas restricciones de peso provienen de la normativa mexicana para pesos y dimensiones. Si esto es correcto, se desconoce la razón por la cual se eligió tomar como referencia esta normativa cuando en Costa Rica se ha utilizado, históricamente, la normativa AASHTO para el diseño de carreteras y puentes.

A partir de las consideraciones anteriores, se establecen varios objetivos específicos que van a permitir responder la consulta planteada. Estos objetivos se enumeran en la siguiente sección.

2. OBJETIVOS

1. Identificar las características de los vehículos que afectan el diseño de puentes vehiculares.
2. Describir las restricciones de peso vehicular indicadas en publicaciones de AASHTO o derivadas a partir de ellas.

3. Comparar las restricciones de peso vehicular incluidas en AASTHO con los pesos máximos permitidos en el Acuerdo Centroamericano [4].
4. Comparar las restricciones de peso vehicular incluidas en AASTHO con los pesos máximos permitidos en el Decreto 31363-MOPT [5].
5. Presentar recomendaciones sobre pesos de vehículos relacionadas con estructuras de puentes las cuales están conformes con las especificaciones incluidas en publicaciones de AASTHO.

3. ALCANCE

Este informe se limita a comparar las restricciones de peso vehicular establecidas en publicaciones de AASTHO, relacionadas con estructuras de puentes, con las restricciones de peso especificadas en el Acuerdo Centroamericano [4] y en el Decreto 31363-MOPT [5].

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS QUE AFECTAN UN PUENTE

Las características de un vehículo que tienen un efecto en el diseño de puentes son: Peso por eje, distancia entre ejes, peso total, longitud, ancho y altura del vehículo, según se explica en la publicación *Comprehensive Truck Size and Weight Study* (Estudio Comprensivo de los Pesos y Dimensiones de Camiones) [6].

Los puentes con tramos cortos se ven afectados por el peso por eje, la distancia entre ejes y la longitud del vehículo. Por otro lado, los puentes con tramos largos se ven afectados por el peso total, la longitud del vehículo y en menor medida por el espaciamiento entre ejes. Los esfuerzos que produce un vehículo corto en los elementos de un puente son mayores a los esfuerzos que produce un vehículo largo, con el mismo peso, debido a que la carga está más concentrada según se muestra en la figura 1.

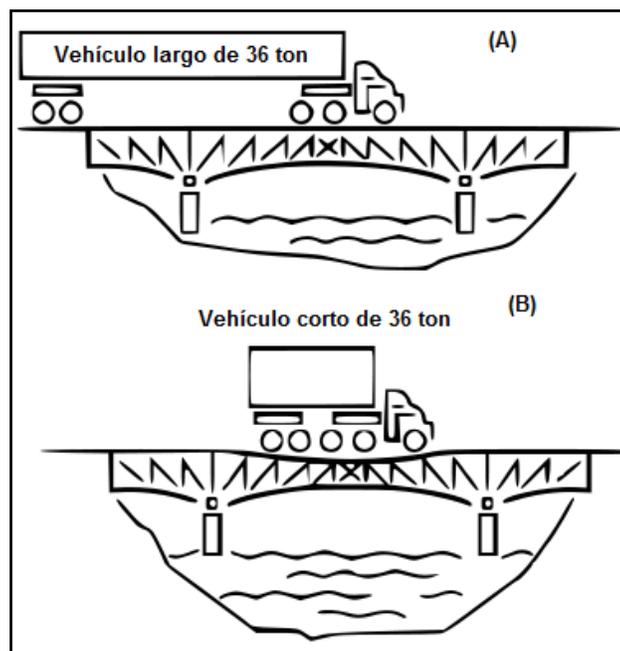


Figura 1. Efecto de la longitud de un vehículo de carga sobre un puente: (A) Vehículos largos, (B) vehículos cortos

(Fuente: FHWA, 2006, modificado por Unidad de Puentes)

5. RESTRICCIONES DE PESO VEHICULAR

La publicación de AASHTO “*Guide for Vehicle Weights and Dimensions*” (Guía para los Pesos y las Dimensiones de Vehículos, denominada de aquí en adelante AASHTO GVWD) [1] especifica las restricciones de peso y dimensiones de los vehículos que transitan en Estados Unidos. Las restricciones de peso por eje simple, eje tándem y peso total de un vehículo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Restricciones de peso establecidas en AASHTO GVWD [1]

Peso máximo permitido por eje simple:	9,0 ton (20 000 lb)
Peso máximo permitido por eje tándem:	15,3 ton (34 000 lb)
Peso total máximo de un vehículo:	Utilizar Fórmula B

Cuando se realiza la verificación del peso de un vehículo, se debe examinar, en primera instancia, que el vehículo cumpla con las restricciones de peso por eje simple y por eje tándem mostradas en la tabla 1. Seguidamente se debe evaluar el peso total del vehículo mediante el uso de la Fórmula B.

La Fórmula B o también conocida como Fórmula de Puentes, y especificada en la tabla 1, permite establecer el peso máximo permitido de un grupo de dos o más ejes consecutivos de un vehículo según se establece en la publicación de AASHTO MBE [3].

La Fórmula B está dada por la siguiente expresión:

$$W = 500 \left(\frac{LN}{N-1} + 12N + 36 \right)$$

Donde:

W (libras): Peso máximo sostenido por un grupo de dos o más ejes calculado a las 500 libras más cercanas.

L (pies): Distancia entre los ejes extremos del grupo de ejes en consideración

N: Número de ejes del grupo en consideración

El procedimiento para verificar el peso máximo permitido de un vehículo de carga mediante la Fórmula B se describe en la publicación *Bridge Fórmula Weights* de la Federal Highway Administration (FHWA) incluida en el Anexo A. Este procedimiento consiste de dos pasos:

Paso 1: Evaluar el peso máximo total permitido para el vehículo considerando el número total de ejes y la distancia entre los ejes extremos.

Paso 2: Evaluar el peso máximo de los distintos grupos de ejes del vehículo.

En la tabla 2 se reproduce la tabla No 1 incluida en la publicación AASHTO GVWD [1] la cual permite estimar de manera sencilla el peso máximo de un vehículo o de un grupo de ejes de acuerdo con la Fórmula B. El cálculo del peso máximo de un grupo de ejes depende del número de ejes y la distancia entre los ejes extremos del respectivo grupo.

Tabla 2. Peso calculado con la Fórmula B

DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS DEL GRUPO (METROS)	PESO CALCULADO CON LA FÓRMULA B (TONELADAS)					
	NÚMERO DE EJES DEL GRUPO					
	2	3	4	5	6	7
1,22	15,3					
1,52	15,3					
1,83	15,3					
2,13	15,3					
2,44	15,3	15,3				
Más de 2,44 // Menos de 2,74	17,1	18,9				
2,74	17,6	20,5				
3,05	18,0	19,6				
3,35		19,8				
3,66		20,3	22,5			
3,96		20,5	22,7			
4,27		20,9	23,2			
4,57		21,2	23,4			
4,88		21,6	23,6	26,1		
5,18		21,8	24,1	26,3		
5,49		22,3	24,3	26,6		
5,79		22,5	24,5	27,0		
6,10		23,0	25,0	27,2	29,7	
6,40		23,2	25,2	27,5	29,9	
6,71		23,6	25,4	27,7	30,2	
7,01		23,9	25,9	28,1	30,6	
7,32		24,3	26,1	28,4	30,8	33,3
7,62		24,5	26,3	28,6	31,1	33,5
7,92		25,0	26,8	28,8	31,3	33,8
8,23		25,2	27,0	29,3	31,5	34,0
8,53		25,7	27,2	29,5	32,0	34,4
8,84		25,9	27,7	29,7	32,2	34,7
9,14		26,3	27,9	29,9	32,4	34,9
9,45		26,6	28,1	30,4	32,6	35,1
9,75		27,0	28,6	30,6	32,9	35,3

(continuación)Tabla 2. Peso calculado con la Fórmula B

DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS DEL GRUPO (METROS)	PESO CALCULADO CON LA FÓRMULA B (TONELADAS)					
	NÚMERO DE EJES DEL GRUPO					
	2	3	4	5	6	7
10,06			28,8	30,8	33,3	35,6
10,36			29,0	31,1	33,5	36,0
10,67			29,5	31,5	33,8	36,2
10,97			29,7	31,7	34,0	36,5
11,28			29,9	32,0	34,2	36,7
11,58			30,4	32,2	34,7	36,9
11,89			30,6	32,4	34,9	37,1
12,19			30,8	32,9	35,1	37,6
12,50			31,3	33,1	35,3	37,8
12,80			31,5	33,3	35,6	38,0
13,11			31,7	33,8	36,0	38,3
13,41			32,2	34,0	36,2	38,5
13,72			32,4	34,2	36,5	38,7
14,02			32,6	34,4	36,7	39,2
14,33			33,1	34,9	36,9	39,4
14,63			33,3	35,1	37,4	39,6
14,94			33,5	35,3	37,6	39,8
15,24			34,0	35,6	37,8	40,1
15,54			34,2	36,0	38,0	40,3
15,85			34,4	36,2	38,3	40,7
16,15			34,9	36,5	38,7	41,0
16,46			35,1	36,7	38,9	41,2
16,76			35,3	37,1	39,2	41,4
17,07			35,8	37,4	39,4	41,6
17,37			36,0	37,6	39,6	41,9
17,68				37,8	40,1	42,3
17,98				38,3	40,3	42,5
18,29				38,5	40,5	42,8

La publicación *Comprehensive Truck Size and Weight Study* [6] provee una explicación sobre la razón de utilizar la Fórmula B para calcular el peso máximo permitido. Este documento indica que los esfuerzos en los elementos estructurales del puente producidos por el tránsito de un camión de carga que cumpla con el peso máximo derivado con la Fórmula B van a ser muy similares a los esfuerzos que produce la carga vehicular HS20-44. La verificación del peso total de un vehículo de carga con el peso máximo estimado con la Fórmula B nos asegura que los esfuerzos en los elementos del puente producidos por el vehículo de carga no van a sobrepasar los esfuerzos generados por la carga viva de diseño HL-93 incluida en la especificación de diseño AASHTO LRFD [2]. En la publicación AASHTO MBE [3], se recomienda que el peso total máximo estimado con la Fórmula B sea limitado a 36,0 toneladas (80 000 lb). En la tabla 2, esta restricción de peso máximo se muestra resaltada por medio de una línea punteada y en negrita.

Es necesario notar que las publicaciones AASHTO GVWD [1] y AASHTO MBE [3] no proveen restricciones explícitas de peso máximo para eje triple (también denominado trídem), y para eje cuádruple, los cuales sí aparecen especificadas en el Acuerdo Centroamericano [4] (eje trídem y eje cuádruple) y en el Decreto 31363-MOPT [5] (eje trídem únicamente).

A pesar de que AASHTO no especifica un peso máximo para un eje trídem, éste fue determinado a partir de la definición de eje trídem incluida en la publicación AASHTO GVWD [1] y la aplicación de la Fórmula B. La definición de eje trídem indica lo siguiente: "*combinación de tres ejes cuya distancia entre centros de ejes extremos es menor o igual que 3,66 m (12 pies)*". Con base en ésta definición y la Fórmula B se determinó que el peso máximo admitido para un eje trídem con una distancia entre ejes extremos de 3,66m es de 20,3 ton. De la tabla 2, se infiere que la distancia entre los ejes extremos de un trídem puede reducirse a 2,44 m por lo que el peso máximo admitido se vería reducido a 15,30 ton.

Adicionalmente, se puede determinar el peso máximo para un eje cuádruple a partir de la definición de eje cuádruple incluida en la publicación AASHTO GVWD [1] y la aplicación de la Fórmula B. Un eje cuádruple se define como "*combinación de cuatro ejes cuya distancia*

entre centros de ejes extremos es menor o igual que 4,88 m (12 pies)". Con base en esta definición y la Fórmula B se determinó que el peso máximo admitido para un eje cuádruple con una distancia entre ejes extremos de 4,88m es de 23,6 ton. De la tabla 2, se infiere que la distancia mínima de los ejes extremos de un cuádruple puede llegar a ser 3,66m por lo que el peso máximo admitido se vería reducido a 22,50 ton.

La tabla 3 presenta un resumen de todas las restricciones de peso que se obtuvieron de publicaciones de AASHTO y los pesos máximos obtenidos a partir de la formula B para ejes trídems y ejes cuádruples. Estas restricciones de peso son utilizadas para comparar los pesos por eje y el peso total de los vehículos incluidos en el Acuerdo Centroamericano [4] y en el Decreto 31363-MOPT [5] según se presenta en las siguientes secciones.

Tabla 3. Resumen de las restricciones de peso vehicular

TIPO DE RESTRICCIÓN	PUBLICACIÓN DE REFERENCIA	PESO MÁXIMO PERMITIDO	
Por eje simple	AASHTO GVWD [1]	9,0 ton (20 000 lb)	
por eje tándem	AASHTO GVWD [1]	15,3 ton (34 000 lb)	
Por eje trídems	Definición de AASHTO GVWD [1] y utilizando la Fórmula B:	Distancia entre los ejes extremos =2,40 m	15,3 ton (34 000 lb)
		Distancia entre los ejes extremos =3,66 m	20,3 ton (45 000 lb)
Por eje cuádruple	Definición de AASHTO GVWD [1] y utilizando la Fórmula B	Distancia entre los ejes extremos =3,66 m	22,5 ton (50 000 lb)
		Distancia entre los ejes extremos =4,88 m	23,6 ton (52 500 lb)
Peso total del vehículo	AASHTO GVWD [1] Límite de peso máximo de 36 ton (80 000 lb) según AASHTO MBE [3]	Utilizar Fórmula B Limitado a un peso máximo de 36,0 ton (80 000 lb)	
Peso total de grupos de ejes individuales	AASHTO GVWD [1]	Utilizar Fórmula B	

6. COMPARACIÓN DE LAS RESTRICCIONES DE PESO VEHICULAR DE LA TABLA 3 CON LOS PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LOS VEHÍCULOS INCLUIDOS EN EL ACUERDO CENTROAMERICANO [4]

6.1. Cumplimiento de la restricción de peso por eje simple, eje tándem y eje trídem

En la tabla 4 se comparan las restricciones de peso incluidas en la tabla 3 con los pesos máximos admitidos por cada tipo de eje según se especifica en el Acuerdo Centroamericano [4].

Tabla 4. Comparación de las restricciones de peso máximo por eje incluidos en la tabla 3 con el peso máximo permitido por eje en el Acuerdo Centroamericano

TIPO DE VEHÍCULO	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	PESO MÁXIMO POR EJE SEGÚN ACUERDO CENTROAMERICANO (TONELADAS)				CUMPLIMIENTO CON LAS RESTRICCIONES DE PESO MÁXIMO POR:			
						EJE SIMPLE = 9 TONELADAS (20 000 LIBRAS) EJE TÁNDEM = 15,3 TONELADAS (34 000 LIBRAS) EJE TRÍDEM = 20,3 TONELADAS (45 000 LIBRAS) ⁽¹⁾ EJE CUÁDRUPLE = 23,6 TONELADAS (52 500 LIBRAS) ⁽²⁾			
		GRUPOS DE EJES				GRUPOS DE EJES			
		1er	2do	3ro	4to	1er	2do	3ro	4to
C2		5	10			EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE		
C2-R2		5	10	7	7	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE
C3		5	16,5			EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE		
C3-R2		5	10 ⁽³⁾	7	7	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE
C3-R3		5	16,5	7	12	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM SÍ CUMPLE
C4		5	20			EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TRÍDEM SÍ CUMPLE		

⁽¹⁾ Se muestra el cumplimiento con la restricción de peso para eje trídem de 20,3 ton (45 000 lb) para una distancia entre ejes extremos de 3,66 m (12 pies). Si la distancia entre ejes extremos fuera de 2,40 m (8 pies) la restricción de peso para el eje trídem sería de 15,3 ton (34 000 lb).

⁽²⁾ Se muestra el cumplimiento con la restricción de peso para eje cuádruple de 23,6 ton (52 500 lb) para una distancia entre ejes extremos de 4,88 m (16 pies). Si la distancia entre ejes extremos fuera de 3,66 m (12 pies) la restricción de peso para el eje trídem sería de 22,5 ton (50 000 lb).

⁽³⁾ Pareciera ser un error en el Acuerdo Centroamericano. El segundo grupo de ejes del camión C3-R2 aparece como eje simple y debería ser un eje doble (tándem)

(continuación...) **Tabla 4. Comparación de las restricciones de peso máximo por eje incluidos en la tabla 3 con el peso máximo permitido por eje en el Acuerdo Centroamericano**

TIPO DE VEHÍCULO	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	PESO MÁXIMO POR EJE SEGÚN ACUERDO CENTROAMERICANO (TONELADAS)				CUMPLIMIENTO CON LAS RESTRICCIONES DE PESO MÁXIMO POR: EJE SIMPLE = 9 TONELADAS (20 000 LIBRAS) EJE TÁNDEM = 15,3 TONELADAS (34 000 LIBRAS) EJE TRÍDEM = 20,3 TONELADAS (45 000 LIBRAS) ⁽¹⁾ EJE CUÁDRUPLE = 23,6 TONELADAS (52 500 LIBRAS) ⁽²⁾			
		GRUPOS DE EJES				GRUPOS DE EJES			
		1er	2do	3ro	4to	1er	2do	3ro	4to
T2-S1		5	9	9		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	
T2-S2		5	9	16		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	
T2-S3		5	9	20		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TRÍDEM SÍ CUMPLE	
T3-S1		5	16	9		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	
T3-S2		5	16	16		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	
T3-S3		5	16	20		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE TRÍDEM SÍ CUMPLE	
T3-S4		5	16	24		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE CUÁDRUPLE NO CUMPLE	

⁽¹⁾ Se muestra el cumplimiento con la restricción de peso para eje tridem de 20,3 ton (45 000 lb) para una distancia entre ejes extremos de 3,66 m (12 pies). Si la distancia entre ejes extremos fuera de 2,40 m (8 pies) la restricción de peso para el eje tridem sería de 15,3 ton (34 000 lb).

⁽²⁾ Se muestra el cumplimiento con la restricción de peso para eje cuádruple de 23,6 ton (52 500 lb) para una distancia entre ejes extremos de 4,88 m (16 pies). Si la distancia entre ejes extremos fuera de 3,66 m (12 pies) la restricción de peso para el eje tridem sería de 22,5 ton (50 000 lb).

A partir de la información recopilada en la tabla 4 se concluye lo siguiente:

- El Acuerdo Centroamericano [4] especifica un peso máximo permitido para ejes simples delanteros de 5 ton y otros pesos para ejes simples traseros (7 y 10 ton). En la publicación AASHTO GVWD [1] no se hace una diferenciación en el peso máximo permitido para ejes simples.
- El peso máximo permitido para el eje simple delantero de los vehículos del Acuerdo Centroamericano [4] no excede el peso máximo permitido por AASHTO GVWD [1].

- El peso máximo permitido por el Acuerdo Centroamericano [4] para los ejes simples traseros excede en un 11% el permitido por AASHTO.
- El Acuerdo Centroamericano [4] especifica un peso máximo permitido para ejes tándem diferente entre vehículos. Por ejemplo, se especifican pesos máximos de 16, 16,5 y 12 ton. En la publicación AASHTO GVWD [1] no se hace una diferenciación en el peso máximo permitido para ejes tándem.
- El peso máximo permitido para ejes tándem del Acuerdo Centroamericano [4] excede en un 4,6% el peso máximo permitido por AASHTO GVWD [1] en la mayoría de vehículos.
- El peso máximo permitido para ejes trídems del Acuerdo Centroamericano [4] no excede la restricción de peso derivada a partir de la definición de eje trídems incluida en la publicación AASHTO GVWD [1], si la distancia entre ejes extremos es de 3,66 m. Si la distancia entre ejes extremos fuera 2,44 m, el peso máximo especificado en el Acuerdo Centroamericano [4] excedería en un 30,7% el peso permitido en AASHTO GVWD [4].
- El peso máximo permitido para ejes cuádruples del Acuerdo Centroamericano [4] excede en un 1,7% el peso máximo derivado a partir de la definición de eje cuádruple incluida en la publicación AASHTO GVWD [1], si la distancia entre ejes extremos fuera de 4,88 m. Si la distancia entre ejes extremos fuera de 3,66 m el peso máximo especificado en el Acuerdo Centroamericano [4] excedería en un 6,7% el peso permitido en AASHTO GVWD [1].

6.2. Cumplimiento del peso total establecido con la Fórmula B y limitado a un máximo de 36 toneladas.

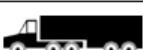
En el Acuerdo Centroamericano [4] se considera el peso total máximo de cada vehículo como la suma de los pesos máximos permitidos por ejes. Esta consideración es incorrecta ya que el peso máximo de un vehículo debe ser definido mediante la Fórmula B y no debe exceder las 36 toneladas como se establece en AASHTO MBE [3].

El proceso a seguir para verificar que el peso de un vehículo no excede el máximo permitido es:

- a. Antes de revisar el peso máximo de un vehículo es necesario verificar el cumplimiento de los pesos máximos establecidos en la tabla 3 para ejes simples, ejes tándem y ejes trídem.
- b. Seguidamente, se verifica el cumplimiento con el peso total del camión estimado con la Fórmula B limitado a un máximo de 36 toneladas.
- c. Finalmente, si el peso total del vehículo cumple con lo establecido por la Fórmula B se requiere realizar una verificación adicional del peso de varios grupos de ejes con la misma Fórmula B. El documento del Anexo A provee ejemplos de cómo verificar el cumplimiento del peso total de un camión y de varios grupos de ejes por medio de esta fórmula.

La tabla 5 muestra el peso total indicado en el Acuerdo Centroamericano [4], el cual se considera incorrecto, y el peso total máximo establecido con la Fórmula B para cada vehículo, el cual es función de la separación de ejes extremos incluida en el Acuerdo Centroamericano [4]. En dicha tabla no se incluye la verificación del peso total de varios grupos de ejes porque en el Acuerdo Centroamericano [4] no se especifica la distancia entre ejes internos. Notar que esta verificación debe realizarse.

Tabla 5. Peso total de los vehículos según el Acuerdo Centroamericano [4] y el correspondiente peso calculados con la Fórmula B limitado a un peso máximo de 36 ton.

TIPO DE VEHÍCULO	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	NUMERO DE EJES	PESO TOTAL SEGÚN ACUERDO CENTROAMERICANO [4] (TONELADAS)	DISTANCIA MÍNIMA ENTRE LOS EJES EXTREMOS SEGÚN ACUERDO CENTROAMERICANO (METROS)	PESO TOTAL SEGÚN LA FÓRMULA B Y LIMITADO A 36 TONELADAS (TONELADAS)
C2		2	15	5	20,9
C2-R2		4	29	12,38	31,1
C3		3	21,5	5	21,7
C3-R2		4	29	14,4	33,1
C3-R3		6	40,5	14,4	37,1 (Se limita a 36,0)
C4		4	25	5	23,8
T2-S1		3	23	6,67	23,6
T2-S2		4	30	10,5	29,2
T2-S3		5	34	10,5	31,3
T3-S1		4	30	10,5	29,2
T3-S2		5	37	14,4	34,9
T3-S3		6	41	14,4	37,1 (Se limita a 36,0)
T3-S4		7	45	14,4	39,4 (Se limita a 36,0)

7. COMPARACIÓN DE LAS RESTRICCIONES DE PESO VEHICULAR DE LA TABLA 3 CON LOS PESOS MAXIMOS PERMITIDOS PARA LOS VEHÍCULOS INCLUIDOS EN EL DECRETO 31363-MOPT [5]

7.1. Cumplimiento de la restricción de peso por eje simple, eje tándem y eje trídem

En la tabla 6 se comparan las restricciones de peso incluidas en la tabla 3 con los pesos máximos admitidos para cada tipo de eje según se especifican en el Decreto 31363-MOPT [5].

Tabla 6. Comparación de las restricciones de peso máximo por eje incluidos en la tabla 3 con el peso máximo permitido por eje en el Decreto 31363-MOPT[5]

TIPO VEHÍCULO	ESQUEMA DEL VEHÍCULO	PESO MÁXIMO POR EJE SEGÚN DECRETO 31363-MOPT (TONELADAS)				CUMPLIMIENTO CON LAS RESTRICCIONES DE PESO MÁXIMO POR: EJE SIMPLE = 9 TONELADAS (20 000 LIBRAS) EJE TÁNDEM = 15,3 TONELADAS (34 000 LIBRAS) EJE TRÍDEM = 20,3 TONELADAS (45 000 LIBRAS) ⁽¹⁾			
		GRUPO DE EJES				GRUPO DE EJES			
		1er	2do	3er	4to	1er	2do	3er	4to
C2+		No se indica	No se indica			No aplica	No aplica		
C2		6	10		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE			
C3		6	15		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM SÍ CUMPLE			
C3		6	16,5		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE			
C4		6	23	20	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TRÍDEM NO CUMPLE	EJE TRÍDEM SÍ CUMPLE		
C4		13	16,5		EJE TÁNDEM SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE			
C4+		6	16,5	6	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE		
C5		6	20	6	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TRÍDEM SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE		
C2-R1		6	10	10	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE		
C2-R2		6	10	10	10	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE

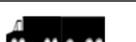
⁽¹⁾ Se muestra el cumplimiento con la restricción de peso para eje trídem de 20,3 ton (45 000 lb) para una distancia entre ejes extremos de 3,66 m (12 pies). Si la distancia entre ejes extremos fuera de 2,40 m (8 pies) la restricción de peso para el eje trídem sería de 15,3 ton (34 000 lb).

(continuación...) Tabla 6. Comparación de las restricciones de peso máximo por eje incluidos en la tabla 3 con el peso máximo permitido por eje en el Decreto 31363-MOPT[5]

TIPO VEHÍCULO	ESQUEMA	PESO MÁXIMO POR EJE SEGÚN DECRETO 31363-MOPT (TONELADAS)				CUMPLIMIENTO CON LAS RESTRICCIONES DE PESO MÁXIMO POR: EJE SIMPLE = 9 TONELADAS (20 000 LIBRAS) EJE TÁNDEM = 15,3 TONELADAS (34 000 LIBRAS) EJE TRÍDEM = 20,3 TONELADAS (45 000 LIBRAS) ⁽¹⁾			
		GRUPO DE EJES				GRUPO DE EJES			
		1er	2do	3er	4to	1er	2do	3er	4to
C3-R1		6	16,5	10		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	
C3-R2		6	16,5	10	10	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE
C3-R3		6	16,5	10	16,5	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE
C4-R1		13	16,5	10		EJE TÁNDEM SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	
C4-R1		6	23	10		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TRÍDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	
C4-R3		6	23	10	16,5	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TRÍDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE
T2-S1		6	10	10		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	
T2-S2		6	10	16,5		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	
T2-S3		6	10	23		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TRÍDEM NO CUMPLE	
T2-S1-2		6	10	10	16,5	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE
T3-S1		6	16,5	10		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	
T3-S2		6	16,5	16,5		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	
T3-S3		6	16,5	23		EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE TRÍDEM NO CUMPLE	
T3-S1-2		6	16,5	10	16,5	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE
T2-S1-S1		6	10	10	10	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE
T2-S2-S2		6	10	16,5	16,5	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE
T3-S2-S2		6	16,5	16,5	16,5	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE

⁽¹⁾ Se muestra el cumplimiento con la restricción de peso para eje trídém de 20,3 ton (45 000 lb) para una distancia entre ejes extremos de 3,66 m (12 pies). Si la distancia entre ejes extremos fuera de 2,40 m (8 pies) la restricción de peso para el eje trídém sería de 15,3 ton (34 000 lb).

(continuación...) **Tabla 6. Comparación de las restricciones de peso máximo por eje incluidos en la tabla 3 con el peso máximo permitido por eje en el Decreto 31363-MOPT[5]**

TIPO VEHÍCULO	ESQUEMA	PESO MÁXIMO POR EJE SEGÚN DECRETO 31363-MOPT (TONELADAS)				CUMPLIMIENTO CON LAS RESTRICCIONES DE PESO MÁXIMO POR: EJE SIMPLE = 9 TONELADAS (20 000 LIBRAS) EJE TÁNDEM = 15,3 TONELADAS (34 000 LIBRAS) EJE TRÍDEM = 20,3 TONELADAS (45 000 LIBRAS) ⁽¹⁾			
		GRUPO DE EJES				GRUPO DE EJES			
		1er	2do	3er	4to	1er	2do	3er	4to
C4-R2		13	16,5	10	10	EJE TÁNDEM SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE
C4-R2		6	23	10	10	EJE SIMPLE SÍ CUMPLE	EJE TRÍDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE
C4-R3		13	16,5	10	16,5	EJE TÁNDEM SÍ CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE	EJE SIMPLE NO CUMPLE	EJE TÁNDEM NO CUMPLE

⁽¹⁾ Se muestra el cumplimiento con la restricción de peso para eje trídém de 20,3 ton (45 000 lb) para una distancia entre ejes extremos de 3,66 m (12 pies). Si la distancia entre ejes extremos fuera de 2,40 m (8 pies) la restricción de peso para el eje trídém sería de 15,3 ton (34 000 lb).

A partir de la información recopilada en la tabla 6 se concluye lo siguiente:

- El Decreto 31363-MOPT [5] especifica un peso máximo permitido de 6 ton para ejes simples delanteros y 10 ton para ejes simples traseros. En la publicación AASHTO GVWD [1] no se hace una diferenciación en el peso máximo permitido para ejes simples.
- El peso máximo permitido para el eje simple delantero de los vehículos del Decreto 31363-MOPT [5] no excede el peso máximo permitido por AASHTO GVWD [1].
- El peso máximo permitido por el del Decreto 31363-MOPT [5] para los ejes simples traseros excede en un 11% el permitido por AASHTO GVWD [1].
- El Decreto 31363-MOPT [5] especifica un peso máximo permitido para ejes tándem diferente según el número de llantas que posea el eje. Por ejemplo, se especifican pesos máximos de 15 ton y 16,5 ton. En la publicación AASHTO GVWD [1] no se hace una diferenciación en el peso máximo permitido para ejes tándem.
- El peso máximo permitido para ejes tándem del Decreto 31363-MOPT [5] excede en un 7,8% el peso máximo permitido por AASHTO GVWD [1] en la mayoría de vehículos.

- El Decreto 31363-MOPT [5] especifica un peso máximo permitido para ejes trídems diferente según el número de llantas que posea el eje. Por ejemplo, se especifican pesos máximos de 20 ton y 23 ton. En la publicación AASHTO GVWD [1] no se hace una diferenciación en el peso máximo permitido para ejes tándem.
- El peso máximo permitido para ejes trídems del Decreto 31363-MOPT [5] excede en un 13,3% (en la mayoría de vehículos) la restricción de peso derivada a partir de la definición de eje trídems incluida en la publicación AASHTO GVWD [1], si la distancia entre ejes extremos es de 3,66 m. Si la distancia entre ejes extremos fuera 2,44 m, el peso máximo especificado en el Decreto 31363-MOPT [5] excedería en un 50,3% el peso permitido en AASHTO GVWD [4].

7.2. Cumplimiento del peso total establecido con la Fórmula B y limitado a un máximo de 36 toneladas.

Al igual que en el Acuerdo Centroamericano [4], el Decreto 31363-MOPT [5] considera el peso total máximo de cada vehículo como la suma de los pesos máximos permitidos por ejes. Se reitera que esta consideración no es correcta ya que el peso máximo de cada vehículo debe ser definido mediante la Fórmula B y no debe exceder las 36 toneladas que se establece en AASHTO MBE [3].

No fue posible determinar el peso total permitido con la Fórmula B para los vehículos especificados en el Decreto 31363-MOPT [5] ya que este documento no provee las distancias entre ejes internos y ejes extremos para cada vehículo.

8. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones:

- a) En la gran mayoría de los casos, el peso de eje simple, eje tándem, eje trídem y eje cuádruple especificados en el Acuerdo Centroamericano [4] y en el Decreto 31363-MOPT [5] exceden los pesos por eje indicados en AASHTO GVWD [1] o los derivados a partir de las definiciones y la distancia entre ejes extremos brindados en esta publicación (en el caso de los ejes trídem y cuádruple). Además, en la *"Matriz comparativa de pesos máximos permisibles por país"* incluida en el oficio DPS-2013-529 se observa que en la mayoría de los casos los pesos máximos por eje de los diferentes países centroamericanos también exceden los pesos por eje indicados en AASHTO GVWD [1].
- b) No se tiene conocimiento de un documento o publicación que justifique por qué en el Acuerdo Centroamericano, en el Decreto 31363-MOPT y en las legislaciones del resto de los países centroamericanos se exceden, en la mayoría de los casos, los pesos por eje indicados en AASHTO GVWD [1] o aquellos derivados de las definiciones brindadas en esta publicación.
- c) No es correcto definir el peso máximo de un camión como la suma de los pesos permitidos por eje. El peso máximo de un vehículo debe ser establecido mediante la Fórmula B y no debe exceder las 36 toneladas como se establece en AASHTO MBE.
- d) Si los vehículos cumplieran con las restricciones de peso recomendadas por AASHTO las cuales se muestran en la tabla 3, los esfuerzos generados en elementos estructurales de un puente no excederían los esfuerzos generados por la carga viva de diseño HL-93 incluida en la especificación AASHTO LRFD [2] y las cargas legales incluidas en AASHTO MBE [3].

9. RECOMENDACIONES

Al no existir un documento de referencia que justifique por qué en el Acuerdo Centroamericano, en el Decreto 31363-MOPT de Costa Rica y en el resto de legislaciones de los países centroamericanos se permiten pesos por eje mayores a los indicados en AASHTO GVWD [1], entonces la posición de la Unidad de Puentes del LanammeUCR es que los pesos de los vehículos, en lo que respecta a estructuras de puentes, deberían restringirse a los pesos indicados en las publicaciones AASHTO GVWD [1] y AASHTO MBE [3].

Se recomienda consultar a la comisión encargada de redactar el Acuerdo Centroamericano [4] si existen documentos o publicaciones que justifiquen el uso de pesos por eje mayores a los que se especifican en la publicación AASHTO GVWD [1] .

Para asegurarse que los vehículos que transiten por Costa Rica cumplen las restricciones de peso incluida en la tabla 3 se recomienda lo siguiente:

1. Modificar las definiciones de eje simple, eje tándem y eje trídem que se brindan en el Acuerdo Centroamericano [4] y en el Decreto 31363-MOPT [5] de acuerdo con lo indicado en AASHTO GVWD [1], tal como se muestra a continuación :
 - **Eje simple:** Un ensamble de dos o más ruedas cuyos centros se encuentran en un plano vertical y transversal al vehículo o que pueden estar incluidos entre dos planos verticales y transversales al vehículo ubicados a una distancia entre sí menor o igual que 1,00 m.
 - **Eje tándem:** Combinación de dos ejes cuya distancia entre centros está ubicada a más de 1,00 m y a menos de 2,40 m , los cuales están individualmente fijados, están articulados o tiene ambas condiciones de unión a un elemento común fijado al vehículo que incluye un mecanismo de conexión diseñado para ecualizar la carga entre ejes.

- **Eje trídem:** Combinación de tres ejes cuya distancia entre centros de ejes extremos es menor o igual que 3,65 m y están individualmente fijados, están articulados o tiene ambas condiciones de unión a un elemento común fijado al vehículo que incluye un mecanismo de conexión diseñado para equalizar la carga entre ejes. Según se infiere de la tabla 2 la distancia mínima entre centros de ejes extremos es de 2,40 m.
 - **Eje cuádruple:** Combinación de tres ejes cuya distancia entre centros de ejes extremos es menor o igual que 4,85 m y están individualmente fijados, están articulados o tiene ambas condiciones de unión a un elemento común fijado al vehículo que incluye un mecanismo de conexión diseñado para equalizar la carga entre ejes. Según se infiere de la tabla 2 la distancia mínima entre centros de ejes extremos es de 3,65 m.
2. Especificar restricciones de peso máximo para eje simple, eje tándem, eje trídem y eje cuádruple de acuerdo con las restricciones indicadas en AASHTO GVWD [1]. La tabla 3 muestra las restricciones de peso recomendadas.
 3. Especificar las distancias (o un rango de distancias) entre ejes de los vehículos que se desea especificar.
 4. Establecer el peso total del vehículo con la Fórmula B limitándolo a un máximo de 36 toneladas y verificar el cumplimiento del peso máximo de todos grupos de ejes consecutivos con la misma Fórmula B una vez que se cuente con las distancias entre ejes, según se explica en la publicación del Anexo A.

REFERENCIAS

- [1] AASHTO (2001). Guide for Vehicle Length and Dimensions. 4th Edition.
- [2] AASHTO (2012). LRFD Bridge Design Specifications. 6th Edition.
- [3] AASHTO (2011). The Manual for Bridge Evaluation. 2nd Edition.
- [4] Borrador de la Actualización del Acuerdo Centroamericano Sobre Circulación por Carretera en Materia de Pesos y Dimensiones de Vehículos de Carga 2013.
- [5] Decreto N° 31363-MOPT del Reglamento de Circulación por Carretera con Base en el Peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga. Publicado en el Diario Oficial la Gaceta N° 182 del 23/09/2003.
- [6] U.S. Department of Transportation (2000). Comprehensive Truck Size and Weight Study. FHWA-PL-00-029. Volume 2.

Página intencionalmente dejada en blanco



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

ANEXO A
PUBLICACIÓN
BRIDGE FORMULA WEIGHTS



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Página intencionalmente dejada en blanco

Note

This pamphlet paraphrases the provisions in 23 U.S.C. 127 and 23 CFR 658 for the sake of clarity. In case of a dispute, the statute and regulations take precedence.

Previous editions of this pamphlet, entitled *Bridge Gross Weight Formula* (April 1984) and *Bridge Formula Weights* (January 1994), remain valid. Neither the Bridge Formula nor any resulting maximum gross weight values (table entries) has been changed.

U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Office of Freight Management and Operations
Phone: 202-366-9210
Fax: 202-366-3302
Web site: <http://www.ops.fhwa.dot.gov/freight>

August 2006

FHWA-HOP-06-105

Bridge Formula Weights

August 2006



U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Bridge Formula Weights

With a few exceptions noted in this pamphlet, the Bridge Formula establishes the maximum weight any set of axles on a motor vehicle may carry on the Interstate highway system. This pamphlet describes the Bridge Formula, why it was established, and how it is used.

What Is It?

Congress enacted the Bridge Formula in 1975 to limit the weight-to-length ratio of a vehicle crossing a bridge. This is accomplished either by spreading weight over additional axles or by increasing the distance between axles.

Compliance with Bridge Formula weight limits is determined by using the following formula:

$$W = 500 \left[\frac{LN}{N-1} + 12N + 36 \right]$$

W = the overall gross weight on any group of two or more consecutive axles to the nearest 500 pounds.

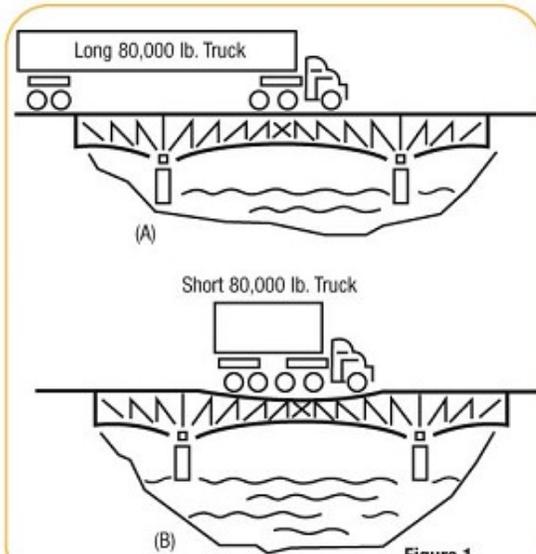
L = the distance in feet between the outer axles of any group of two or more consecutive axles.

N = the number of axles in the group under consideration.

In addition to Bridge Formula weight limits, Federal law states that single axles are limited to 20,000 pounds, and axles closer than 96 inches apart (tandem axles) are limited to 34,000 pounds. Gross vehicle weight is limited to 80,000 pounds (23 U.S.C. 127).

Is the Formula Necessary?

Bridges on the Interstate System highways are designed to support a wide variety of vehicles and their expected loads. As trucks grew heavier in the 1950s and 1960s, something had to



be done to protect bridges. The solution was to link allowable weights to the number and spacing of axles.

Axle spacing is as important as axle weight in designing bridges. In Figure 1A, the stress on bridge members as a longer truck rolls across is much less than that caused by a short vehicle as shown in Figure 1B, even though both trucks have the same total weight and individual axle weights. The weight of the longer vehicle is spread out, while the weight of the shorter vehicle is concentrated on a smaller area.

How Is the Formula Used?

The weight on various axle configurations must be checked to determine compliance with the Bridge Formula. Three definitions are needed to use the Bridge Formula correctly.

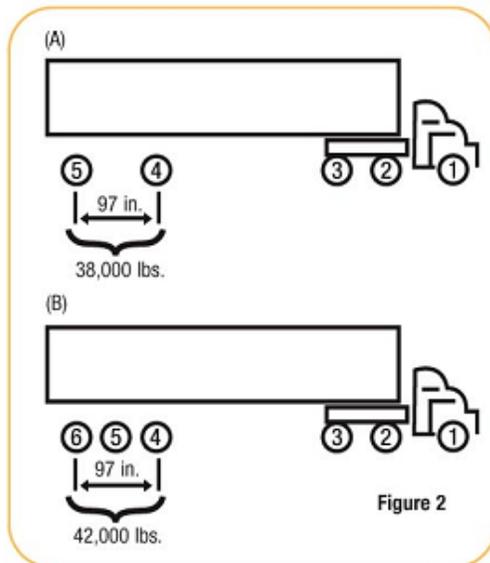
Gross Weight—the weight of a vehicle or vehicle combination and any load thereon. The Federal gross weight limit on the Interstate System is 80,000 pounds unless the Bridge Formula dictates a lower weight limit.

Single-Axle Weight—The total weight on one or more axles whose centers are spaced not more than 40 inches apart. The Federal single-axle weight limit on the Interstate System is 20,000 pounds.

Tandem-Axle Weight—The total weight on two or more consecutive axles whose centers are spaced more than 40 inches apart but not more than 96 inches apart. The Federal tandem-axle weight limit on the Interstate System is 34,000 pounds.

Interstate System weight limits in some States may be higher than the figures noted above due to "grandfather" rights. When the Interstate System axle and gross weight limits were first adopted in 1956, and amended in 1975, States were allowed to keep or "grandfather" weight limits that were higher.

Bridge Formula calculations yield a series of weights (Bridge Table, pages 5-6). It is important to note that the single-axle weight limit replaces the Bridge Formula weight limit on axles not more than 40 inches apart, and the tandem-axle weight limit replaces the Bridge Formula weight limit for axles over 40 but not more than 96 inches apart. At 97 inches apart, for example, two axles may carry 38,000 pounds (Figure 2A), and three axles may carry 42,000 pounds, as shown in Figure 2B.



Federal law states that any two or more consecutive axles may not exceed the weight computed by the Bridge Formula even though single axles, tandem axles, and gross weight are within legal limits. As a result, the axle group that includes the entire truck—sometimes called the "outer bridge" group—must comply with the Bridge Formula. However, interior combinations of axles, such as the "tractor bridge" (axles 1, 2, and 3) and "trailer bridge" (axles 2, 3, 4, and 5), must also comply with weights computed by the Bridge Formula (Figure 3).

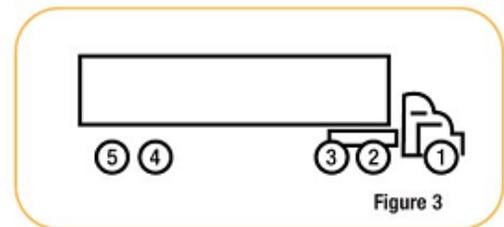
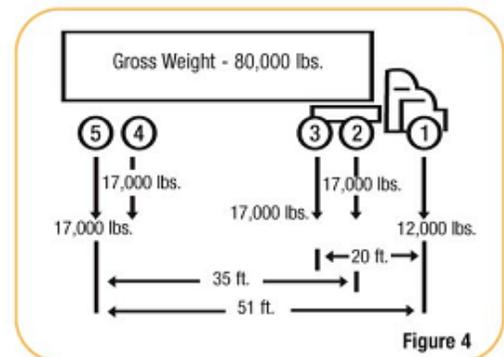


Figure 3 shows the most common vehicle checked for compliance with weight limit requirements. Although the Bridge Formula applies to each combination of two or more axles, experience shows that axle combinations 1 through 3, 1 through 5, and 2 through 5 are critical and must be checked. If these combinations are found to be satisfactory, then all of the others on this type of vehicle normally will be satisfactory.

The vehicle with weights and axle dimensions shown in Figure 4 is used to illustrate a Bridge Formula check.



Permissible Gross Loads for Vehicles in Regular Operation¹

Based on weight formula $W = 500 \left[\frac{LN}{N-1} + 12N + 36 \right]$

Distance in feet (L) between the extremes of any group of 2 or more consecutive axles

L	N=	Maximum load in pounds carried on any group of 2 or more consecutive axles ²								
		2 AXLES	3 AXLES	4 AXLES	5 AXLES	6 AXLES	7 AXLES	8 AXLES	9 AXLES	
Tandem Axle Weight (see pages 3 & 4)	4	34,000								
	5	34,000								
	6	34,000								
	7	34,000								
	8	34,000	34,000							
	More than 8/less than 9	38,000	42,000							
	9	39,000	42,500							
	10	40,000	43,500							
	11		44,000							
	12		45,000	50,000						
	13		45,500	50,500						
	14		46,500	51,500						
	15		47,000	52,000						
	16		48,000*	52,500	58,000					
	17		48,500	53,500	58,500					
	18		49,500	54,000	59,000					
	19	Example (see page 7)	50,000	54,500	60,000					
	20		51,000	55,500	60,500	66,000				
	21		51,500	56,000	61,000	66,500				
	22		52,500	56,500	61,500	67,000				
	23		53,000	57,500	62,500	68,000				
	24		54,000	58,000	63,000	68,500	74,000			
	25		54,500	58,500	63,500	69,000	74,500			
	26		55,500	59,500	64,000	69,500	75,000			
	27		56,000	60,000	65,000	70,000	75,500			
	28		57,000	60,500	65,500	71,000	76,500	82,000		
	29		57,500	61,500	66,000	71,500	77,000	82,500		
	30		58,500	62,000	66,500	72,000	77,500	83,000		
	31		59,000	62,500	67,500	72,500	78,000	83,500		
	32		60,000	63,500	68,000	73,000	78,500	84,500	90,000	
	33			64,000	68,500	74,000	79,000	85,000	90,500	
	34			64,500	69,000	74,500	80,000	85,500	91,000	
	35			65,500	70,000	75,000	80,500	86,000	91,500	
	36		Exception (see page 9)	66,000	70,500	75,500	81,000	86,500	92,000	
	37			66,500	71,000	76,000	81,500	87,000	93,000	
	38			67,500	71,500	77,000	82,000	87,500	93,500	
	39			68,000	72,000	77,500	82,500	88,500	94,000	
	40			68,500	73,000	78,000	83,500	89,000	94,500	
	41			69,500	73,500	78,500	84,000	89,500	95,000	
	42			70,000	74,000	79,000	84,500	90,000	95,500	
	43			70,500	75,000	80,000	85,000	90,500	96,000	
	44			71,500	75,500	80,500	85,500	91,000	96,500	
	45			72,000	76,000	81,000	86,000	91,500	97,500	
	46			72,500	76,500	81,500	87,000	92,500	98,000	
	47			73,500	77,500	82,000	87,500	93,000	98,500	
	48			74,000	78,000	83,000	88,000	93,500	99,000	
	49			74,500	78,500	83,500	88,500	94,000	99,500	
	50			75,500	79,000	84,000	89,000	94,500	100,000	
	51			76,000	80,000	84,500	89,500	95,000	100,500	
	52			76,500	80,500	85,000	90,500	95,500	101,000	
	53			77,500	81,000	86,000	91,000	96,500	101,500	
	54			78,000	81,500	86,500	91,500	97,000	102,000	
	55			78,500	82,500	87,000	92,000	97,500	102,500	
	56		Interstate Gross Weight Limit (see page 2)	79,500	83,000	87,500	92,500	98,000	103,000	
	57			80,000	83,500	88,000	93,000	98,500	104,000	
	58				84,000	89,000	94,000	99,000	104,500	
	59				85,000	89,500	94,500	99,500	105,000	
	60				85,500	90,000	95,000	100,500	105,500	

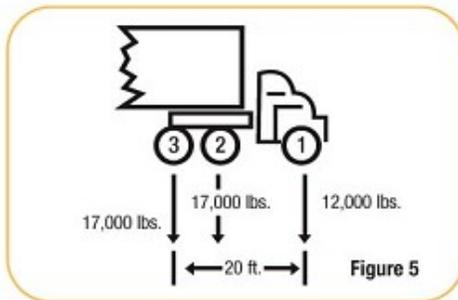
¹The values in this table reflect FHWA's policy of rounding down when calculated weights fall exactly halfway between 500-pound increments. Because the Bridge Formula is designed to protect highway infrastructure, FHWA determined that this conservative policy is consistent with the statutory mandate.

²The following loaded vehicles must not operate over H15-44 bridges; 3-S2 (5-axle tractor

semitrailer with a wheelbase of less than 38 feet), 2-S1-2 (5-axle semitrailer combination with a wheelbase of less than 45 feet), 3-3 (6-axle truck trailer combination with a wheelbase less than 45 feet), and any truck with 7 or more axles.

H15-44 bridges are designed for a specific vehicle load; H15 refers to a 15-ton 2-axle truck; 44 refers to the year AASHTO published the loading information. See AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges.

Before checking for compliance with the Bridge Formula, a vehicle's single-axle, tandem-axle, and gross weight should be checked. Here the single axle (number 1) does not exceed 20,000 pounds, tandems 2-3 and 4-5 do not exceed 34,000 pounds each, and the gross weight does not exceed 80,000 pounds. Thus, these preliminary requirements are satisfied. The first Bridge Formula combination is checked as follows:



Check axles 1 through 3 (Figure 5)

Actual weight = 12,000 + 17,000 + 17,000 = 46,000 pounds.

N = 3 axles

L = 20 feet

$$W = 500 \left[\frac{LN}{N-1} + 12N + 36 \right]$$

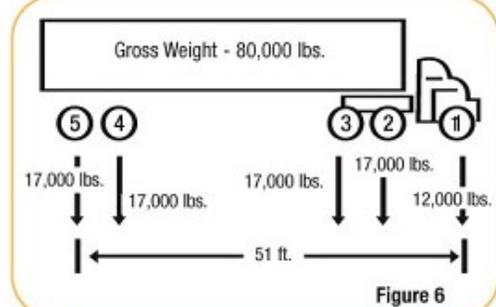
$$W = 500 \left[\frac{(20 \times 3)}{(3 - 1)} + (12 \times 3) + 36 \right] = 51,000 \text{ lbs.}$$

Maximum weight (W) = 51,000 pounds, which is more than the actual weight of 46,000 pounds. Thus, the Bridge Formula requirement is satisfied.

Example From the Bridge Table (pages 5 & 6)

The same number (51,000 pounds) could have been obtained from the Bridge Table by reading down the left side to L = 20 and across to the right where N = 3.

7

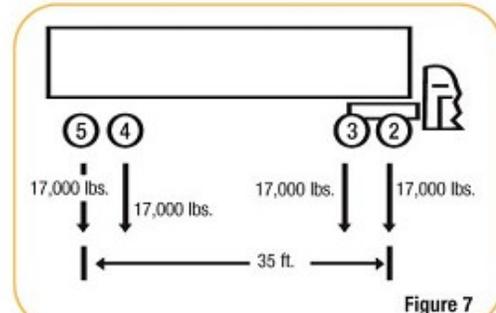


Now check axles 1 through 5 (Figure 6)

Actual weight = 12,000 + 17,000 + 17,000 + 17,000 + 17,000 = 80,000 pounds.

Maximum weight (W) = 80,000 pounds (Bridge Table for "L" of 51 feet and "N" of 5 axles).

Therefore, this axle spacing is satisfactory.



Now check axles 2 through 5 (Figure 7)

Actual weight = 17,000 + 17,000 + 17,000 + 17,000 = 68,000 pounds.

Maximum weight (W) = 65,500 pounds (Bridge Table for "L" of 35 feet and "N" of 4 axles).

This is a violation because the actual weight exceeds the weight allowed by the Bridge Formula. To correct the situation, some load must be removed from the vehicle or the axle spacing (35 feet) must be increased.

8

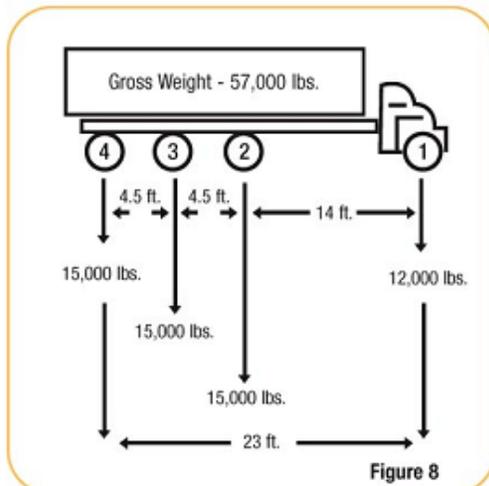
Exception to Formula and Bridge Table

In addition to the grandfather rights noted on page 3, Federal law (23 U.S.C. 127) includes one other exception to the Bridge Formula and the Bridge Table—two consecutive sets of tandem axles may carry 34,000 pounds each if the overall distance between the first and last axles of these tandems is 36 feet or more. For example, a five-axle tractor-semitrailer combination may carry 34,000 pounds both on the tractor tandem (axles 2 and 3) and the trailer tandem (axles 4 and 5), provided axles 2 and 5 are spaced at least 36 feet apart. Without this exception, the Bridge Formula would allow an actual weight of only 66,000 to 67,500 pounds on tandems spaced 36 to 38 feet apart.

Bridge Formula Application

to Single-Unit Trucks

The procedure described above could be used to check any axle combinations, but several closely spaced axles usually produce the most critical situation.



9

The truck shown in Figure 8 satisfies the single-axle weight limit (12,000 pounds are less than 20,000 pounds), the tandem-axle limit (30,000 pounds are less than 34,000 pounds) and the gross-weight limit (57,000 pounds are less than 80,000 pounds). With these restrictions satisfied, a check is done for Bridge Formula requirements, axles 1 through 4.

Actual Weight = 12,000 + 15,000 + 15,000 + 15,000 = 57,000 pounds.

Maximum weight (W) = 57,500 pounds (Bridge Table for "L" of 23 feet and "N" of 4 axles).

Since axles 1 through 4 are satisfactory, check axles 2 through 4:

Actual weight = 15,000 + 15,000 + 15,000 = 45,000 pounds.

Maximum weight (W) = 42,500 pounds (Bridge Table for "L" of 9 feet and "N" of 3 axles).

This is a violation because the actual weight exceeds the weight allowed by the Bridge Formula. The load must either be reduced, axles added, or spacing increased to comply with the Bridge Formula.

Quality Assurance Statement

The Federal Highway Administration (FHWA) provides high-quality information to serve Government, industry, and the public in a manner that promotes public understanding. Standards and policies are used to ensure and maximize the quality, objectivity, utility, and integrity of its information. FHWA periodically reviews quality issues and adjusts its programs and processes to ensure continuous quality improvement.

10