

# **Modelo de Carga Viva para la Evaluación de Capacidad de Carga y Diseño de Puentes en la Carreteras de Puerto Rico**

Lymarís Burgos Rodríguez  
Maestría en Ingeniería Civil  
Manuel E. Coll Borgo, Ph.D.  
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental  
Universidad Politécnica de Puerto Rico

---

**Resumen** — Se realizó un análisis de cómo fue determinado el factor de carga viva utilizado en el cálculo de capacidad de carga legales sugerido por el Manual de Evaluación de Puentes que puede llegar hasta un valor de 1.8 para cargas legales. Este factor de carga viva es mayor que el factor de carga viva utilizado para el diseño el cual es igual a 1.75, lo que implica que los resultados del cálculo de capacidad de carga pueden ser más conservadores que los de diseño. Luego de estudiar la derivación de este factor se demostró que un factor carga viva de 1.35 es conservador. Dado que las cargas legales incluidas en el Reglamento 8154 son mayores que las cargas establecidas por FHWA se realizó un análisis donde se determinaron tres (3) configuraciones de cargas legales representativas de límites de pesos y las configuraciones de Puerto Rico. Luego se realizó el cálculo de capacidad de carga a 44 puentes los cuales son representativos del inventario de puentes. Con este análisis se pudo concluir que el modelo de carga viva HL93 es representativo de las cargas legales de Puerto Rico, lo que implica que los camiones legales de Puerto Rico están contemplados en la carga teórica HL93.

**Palabras claves** — Modelo de carga viva, cálculo de capacidad de carga, factor de capacidad de carga viva y puente.

## **INTRODUCCIÓN**

La Oficina de Ingeniería de Puentes de la Autoridad de Carreteras y Transportación tiene la responsabilidad de realizar inspecciones periódicas a todos los puentes de Puerto Rico. De igual forma es responsable de determinar la capacidad de carga viva de cada uno de ellos de acuerdo con el NBIS

(“National Bridge Inspection Standards”). El cálculo de capacidad de carga viva debe de ser realizado tanto a estructuras nuevas, reconstruidas y rehabilitadas antes de que las mismas sean abiertas al tráfico para así garantizar tanto su seguridad como durabilidad. El factor de capacidad de carga viva (RF) por sus siglas en inglés es el razón de la capacidad de la estructura para resistir cargas vivas sobre la demanda de cargas vivas (ver ecuación 1).

$$RF = \frac{C - D}{L} \quad (1)$$

Dónde:

C = Capacidad de la estructura

D = Demanda de cargas permanentes

L = Demanda de cargas vivas

Por lo tanto si luego del análisis el factor es menor de 1.0, el puente deberá ser rotulado con restricciones de carga.

Es por esto que este proyecto busca proponer para Puerto Rico criterios para determinar la capacidad de carga viva y rotulación de los puentes de acuerdo con los estándares de diseño actuales y los límites de carga legales. Se estarán seleccionando un conjunto de cargas legales que sean consistentes con los límites de peso y configuraciones del Reglamento 8154: “Dimensiones y pesos de los vehículos de motor, arrastres y semiarrastres que transitan por las vías públicas de Puerto Rico” [1].

También se estudiara si las cargas de diseño actuales (HL93) son consistentes con nuestras cargas legales o si es necesario añadir cargas legales al diseño.

En adicción se pretende recomendar una directriz de diseño consistente con nuestras cargas

legales para así garantizar una mejor seguridad y vida útil de los puentes.

## FACTOR DE CARGA VIVA PARA EL ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CARGAS LEGALES

El análisis para diseño de puentes nuevos y los cálculos de capacidad de carga viva para puentes existentes en general tienen un enfoque muy parecido pero a la vez difieren en aspectos importantes. Generalmente el cálculo de capacidad de carga viva requiere que el ingeniero considere un rango más amplio de variables que en el diseño típico de puente. En el diseño se puede utilizar un índice de confiabilidad más conservador e imponer controles que garanticen su utilidad y durabilidad sin incurrir en mayores costos.

El modelo de cargas vivas HL93 que fue desarrollado para el diseño de puentes de carreteras según la especificación de diseño de AASHTO LRFD [2], es el más representativo de las cargas del tráfico actual. Es importante considerar que la carga HL93 (figura 1) aunque es calificada teórica y no tiene un peso asociado a la misma, está representada por una carga más pesada que las configuraciones de cargas legales consideradas por AASHTO.

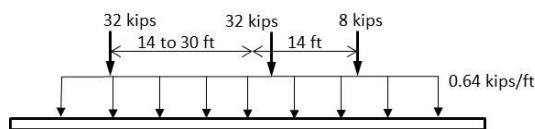


Figura 1  
Modelo de Carga Viva HL93

AASHTO LRFD utiliza un factor de amplificación de cargas vivas de 1.75. Este factor se determinó en conjunto con los factores de resistencia de los materiales y de amplificación de cargas para otros tipos de carga, para un índice de confiabilidad ( $\beta$ ) de 3.5 [3]. Este nivel de confiabilidad utilizado en diseño se conoce como nivel de *inventario* en evaluación de puentes existentes. En el análisis de cargas legales se utiliza un nivel de confiabilidad ( $\beta$ ) de 2.5. El nivel de evaluación de cargas legales según el método de

“load and resistance factor rating” (LFRF) se conoce como nivel *operacional*.

Otros factores además de  $\beta$  influyen en el cálculo de los factores de cargas vivas para análisis de cargas legales [3] los cuales se mencionan a continuación:

- Se reduce el factor de carga viva de 1.75 a 1.6 ya que Nowak afirma que 1.6 es un promedio aceptable para el diseño de puentes (nivel inventario con  $\beta = 3.5$ ) [4], pero la especificación adopta 1.75 para ser más conservador. Usando 1.6 el factor de carga viva factorizada se reduce en una proporción de 0.91 (i.e., 1.6/1.75).
- Se reduce el índice de confiabilidad equivalente a diseño de 3.5 ( $\beta = 3.5$ ) al índice de confiabilidad correspondiente al nivel operacional igual a 2.5 ( $\beta = 2.5$ ). Esta reducción en  $\beta$  corresponde a una reducción del factor de carga viva de aproximadamente 0.76 (i.e., 1.35/1.75).
- Se reduce el factor de carga viva a 0.94, considerando una exposición de cinco (5) años en lugar de setenta y cinco (75) años como se considera en diseño.
- Se correlacionan las cargas legales de AASHTO con el camión HL93, en el reporte 454 de NCHRP [3] se demuestra que si se aumenta 1.73 veces la carga legal esta se asemeja al modelo de carga viva HL93. Ya que el Manual de Evaluación de Puentes [5] requiere el uso de las cargas legales de AASHTO para poder determinar pesos máximos de camiones. Lo que no se puede con el modelo HL93 ya que este no representa un camión con peso específico.
- Comparan el factor de amplificación de carga viva propuesto para el cálculo de capacidad de carga con el factor de carga viva igual a 1.8 obtenido de las guías de especificaciones, considerando que la guía utiliza un índice de confiabilidad que corresponde a un factor para el cálculo de capacidad de carga viva de 2.3. Esto hace que los factores de carga viva sean

reducidos a una proporción de 0.92 (i.e., 1.8/1.95) [6].

- Se utiliza un factor de resistencia para LRFD igual a 1.0, el cual es el valor de la carga viva factorizada según las especificaciones de diseño del AASHTO LRFD [2] para nivel operacional.

Como se puede observar en la ecuación 2, balanceando todas las consideraciones antes expuestas podemos calcular en base a la carga factorizada de diseño ( $\gamma_{LL \text{ Diseño}} = 1.75$ ) o de *Inventario*, la carga factorizada utilizada para el cálculo de capacidad de carga viva ( $\gamma_{LL \text{ Legal}}$ ) o nivel *Operacional*. Donde  $\gamma_{LL \text{ Legal}}$  representa el factor de carga viva legal para el peor tráfico ( $ADDTT \geq 5,000$ ).

$$\gamma_{LL \text{ Legal}} \approx 1.75 \times 0.91 \times 0.76 \times 0.94 \times 1.73 \times 0.92 \approx 1.8 \quad (2)$$

El problema de este procedimiento es que se incluye la razón del HL93 a las cargas legales de AASHTO de 1.73 en el factor de cargas vivas  $\gamma_{LL \text{ Legal}}$ , con el fin de aumentar el peso nominal de las cargas legales de ASSHTO para que den resultados equivalentes al modelo HL93, pero al momento de realizar el cálculo de las cargas a ser rotuladas según el Manual de Evaluación de Puentes [5] las cargas utilizadas son los pesos nominales originales de las cargas legales de AASHTO. Esto demuestra que hay una falta de coherencia entre el código LRFD [2] de diseño y el Manual de Evaluación de Puentes [5], ya que se puede diseñar un puente para las cargas legales del estado en LRFD con un factor de carga viva de 1.75 para un nivel de inventario y a su vez evaluar la misma carga en LRFD con un factor de carga viva  $\gamma_{LL \text{ Legal}}$  de hasta 1.8 en el nivel operacional, dado a que el factor incluye un aumento de 1.73 en la carga nominal de LRFD. Esto causa resultados en la evaluación que son más conservadores que los que se obtendrían en el diseño.

Por lo tanto se recomienda en este estudio que se ignore el factor de 1.73 para las cargas legales y que se utilicen cargas legales representativas para el

caso de Puerto Rico. Esto equivale a un factor de carga viva legal ( $\gamma_{LL \text{ Legal}}$ ) de aproximadamente 1.0 (ver ecuación 3 sin factor de equivalencia entre las cargas legales de AASHTO y el HL93), para el caso de peor tráfico.

$$\gamma_{LL \text{ Legal}} \approx 1.75 \times 0.91 \times 0.76 \times 0.94 \times 0.92 \approx 1.0 \quad (3)$$

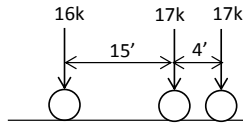
Se recomienda que para Puerto Rico se utilice un factor de carga viva más conservador, tomando el factor de carga viva para las cargas legales igual al factor de carga viva original para nivel operacional calculado con un índice de confiabilidad de 2.5 ( $\gamma_{LL \text{ Legal}} = \gamma_{LL \text{ OPR}}$ ), que da un factor de carga viva legal de 1.35, sin tomar en consideración las recomendaciones anteriormente mencionadas.

## **REGLAMENTO 8154: DIMENSIONES Y PESOS DE LOS VEHÍCULOS DE MOTOR, ARRASTRES Y SEMIARRASTRES QUE TRANSITAN POR LAS VÍAS PÚBLICAS DE PUERTO RICO**

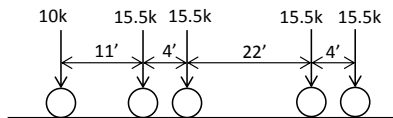
El Departamento de Transportación y Obras Públicas y la Autoridad de Carreteras y Transportación como parte de la Ley número 22 de 7 de enero de 2000 consta de un Reglamento [1] el cual pretende reducir los riesgos de accidentes y la congestión vehicular, así como los efectos adversos de las cargas excesivas en los pavimentos y puentes. Unos de los objetivos principales es reglamentar tanto las dimensiones como los pesos máximos de los vehículos pesados de motor, arrastres y semiarrastres autorizados a transitar por las vías públicas de Puerto Rico.

Cada estado, incluyendo Puerto Rico deberá certificar anualmente al Secretario de Transportación de los Estados Unidos que están haciendo cumplir los límites de cargas establecidos por el reglamento. Puerto Rico no posee un Sistema Interestatal rotulado por lo que podemos establecer nuestro propio reglamento con límites de peso diferente a los estándares federales. Es por esto que Puerto Rico tiene cargas legales mayores que las

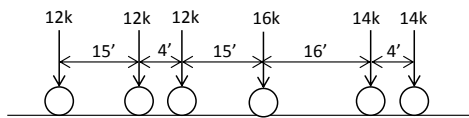
cargas establecidas por FHWA (“Federal Highway Administration”) y por tanto las cargas legales de AASHTO (figuras 2 – 4) [7] no son representativas para Puerto Rico.



**Figura 2**  
**Tipo 3 (50k)**



**Figura 3**  
**Tipo 3S2 (72k)**

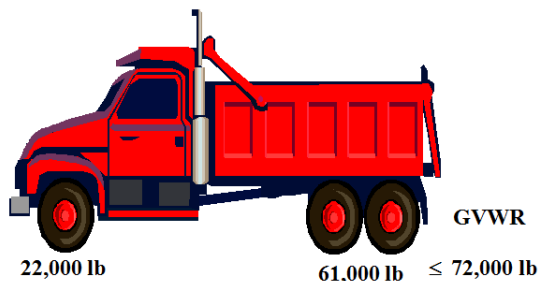


**Figura 4**  
**Tipo 3-3 (80k)**

A continuación se presentan las configuraciones de cargas legales típicas para Puerto Rico y el modelo de carga viva legal seleccionado para representarlas:

- Camión con configuración 3E

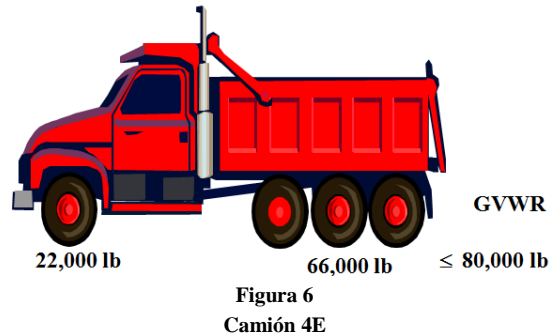
En la figura 5 [1] se muestra la configuración 3E la cual consta de un eje sencillo y uno tándem. La carga máxima permitida tanto para el eje sencillo como el tándem son 22,000 lbs y 61,000 lb respectivamente. No obstante el peso máximo total no puede exceder las 72,000 lbs.



**Figura 5**  
**Camión 3E**

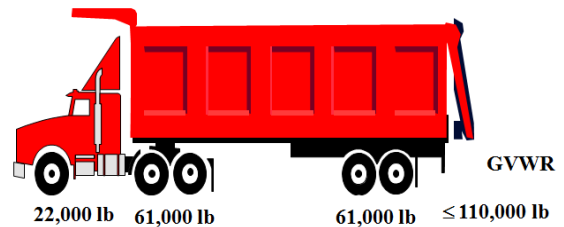
- Camión con configuración 4E

En la figura 6 [1] se muestra la configuración 4E la cual consta de un eje sencillo y uno “tridem”. La carga máxima permitida tanto para el eje sencillo como el “tridem” son 22,000 lbs y 66,000 lbs respectivamente. No obstante el peso máximo total no puede exceder las 80,000 lbs.



- Remolque + arrastre configuración 3E-S2

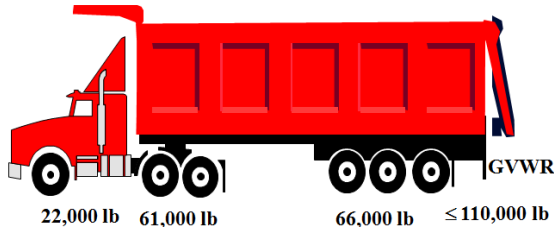
En la figura 7 [1] se muestra la configuración 3E-S2 la cual consta de un remolque con un eje sencillo y uno tándem y un arrastre con un eje tándem. La carga máxima permitida tanto para el eje sencillo como por ambos ejes tándem son 22,000 lbs y 61,000 lbs respectivamente. No obstante el peso máximo total no puede exceder las 110,000 lbs.



**Figura 7**  
**Remolque + Arrastre 3E-S2**

- Remolque + arrastre configuración 3E-S3

En la figura 8 [1] se muestra la configuración 3E-S3 la cual consta de un remolque con un eje sencillo y uno tándem y un arrastre con un eje “tridem”. La carga máxima permitida tanto para el eje sencillo, eje tándem y eje “tridem” son 22,000 lbs y 61,000 lbs y 66,000 lbs respectivamente. No obstante el peso máximo total no puede exceder las 110,000 lbs.



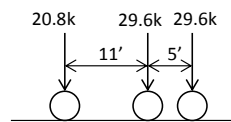
**Figura 8**  
**Remolque + Arrastre 3E-S3**

## CARGAS LEGALES REPRESENTATIVAS

Para representar las cargas permisibles en el Reglamento 8154 [1] se escogieron como cargas legales para el cálculo de capacidad de carga viva tres (3) configuraciones, las cuales son representativas de varios tipos de vehículos especiales de acarreo en los Estados Unidos [7] y son cubiertas por el camión de diseño HL93.

- NTWAC SHV-3A

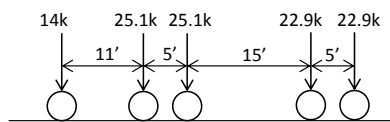
El NTWAC SHV-3A tiene un peso máximo de 80,000 lbs como se puede observar en la figura 9 [7] de este documento. Esta carga estará representando de una forma conservadora tanto el camión con configuración 3A como la 4A del Reglamento 8154 [1]. Se utilizó solo este modelo de carga para así simplificar el análisis.



**Figura 9**  
**NTWAC SHV-3A**

- NTWAC SHV-3S2

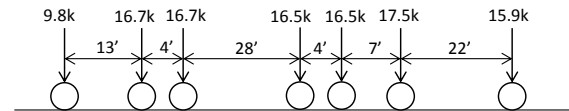
En la figura 10 [7] se muestra la carga SHV-3S2 la cual tiene un peso máximo de 110,000 lbs, esta carga estará representando la configuración remolque arrastre 3E-S2 la cual el peso máximo no puede exceder las 110,00 lbs.



**Figura 10**  
**NTWAC SHV-3S2**

- Vehículo de exclusión FM 3S2-2

En la figura 11 [7] se muestra la carga FM 3S2-2 modificada. Dicha carga fue modificada para ser llevada a un peso máximo de 110,000 lbs multiplicando la carga original por un factor de 1.04 (110/105.5). Esta carga estará representando la configuración remolque arrastre 3E-S3 la cual el peso máximo no puede exceder las 110,00 lbs.



**Figura 11**  
**Vehículo de Exclusión FM 3-S2-2 Modificado**

## ANÁLISIS DEL CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA VIVA

Se escogió una muestra representativa con distintos largos de tramos así como distintos tipos y materiales de puentes típicos del inventario de Puerto Rico, los mismos son mostrados en la Tabla 1 de este documento.

Se realizó el cálculo de capacidad de carga viva en el nivel operacional tanto para el modelo de carga viva HL93 como para las cargas legales de AASHTO representativas de las cargas legales de Puerto Rico. Este análisis se realizó para corroborar que el modelo HL93 es representativo de dichas cargas. Para realizar el cálculo de capacidad de carga viva se utilizó el programa BRASS Girder, el cual puede ser utilizado tanto para calcular el RF como para el diseño de puentes. El mismo fue desarrollado por el DOT del estado de Wyoming y es utilizado en Puerto Rico para realizar la mayoría de los cálculos de RF de los puentes en la isla.

### Comparación de las Cargas Legales Representativas de Puerto Rico con el Modelo HL93

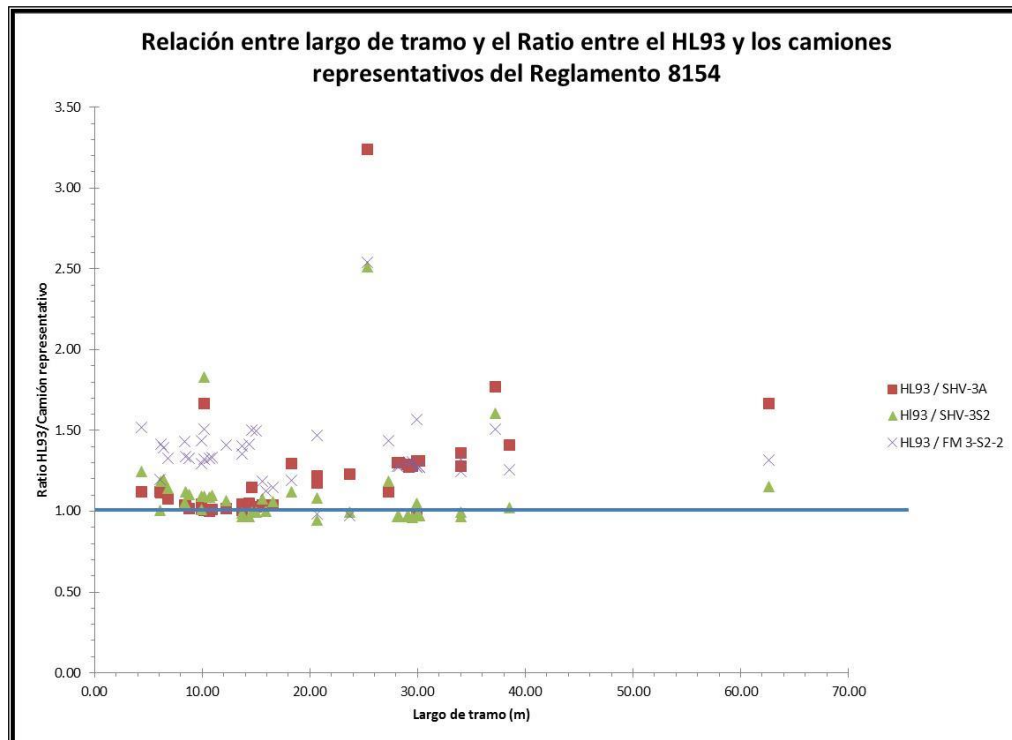
Luego de calcular los RF para cada uno de los camiones, tanto los representativos de las cargas legales de Puerto Rico así como el modelo de carga viva HL93 podemos concluir que este último es representativo de las carga legales del Reglamento 8154 [1] de Puerto Rico.

En la gráfica 1 se puede observar que la razón entre cada uno de los camiones representativos de las cargas legales de Puerto Rico y el modelo HL93 son igual o mayores a 1.0 o bien cercanos a 1.0 lo

que implica que el RF del HL93 es mayor o igual que el RF de cada uno de ellos. Esto nos demuestra que los camiones legales de Puerto Rico están contemplados en la carga teórica HL93.

**Tabla 1**  
**Cálculo de Capacidad de Carga Viva de Puentes Típicos de Puerto Rico**

Número de puente	Tipo de puente	Material	Número de tramos	Tramo máximo (m)	Tipo de carga						
					HL93	SHV-3A		SHV-3S2		FM 3-S2-2	
					Operating Rating Factor	Rating Factor	RATIO HL93/SHV-3A	Rating Factor	RATIO HL93/SHV-3S2	Rating Factor	RATIO HL93/FM 3-S2-2
1625	slab	concrete continuous	3	4.40	1.23	1.38	1.12	1.53	1.24	1.87	1.52
2482	slab	concrete	4	6.10	1.37	1.53	1.12	1.38	1.01	1.64	1.20
474	slab	concrete	1	6.20	1.71	1.91	1.12	2.03	1.19	2.42	1.42
1979	slab	concrete	1	6.40	1.39	1.57	1.13	1.66	1.19	1.94	1.40
2628	tee beam	concrete	1	6.80	2.10	2.26	1.08	2.40	1.14	2.79	1.33
2773	tee beam	concrete	3	8.40	1.30	1.35	1.04	1.37	1.06	1.86	1.43
2713	slab	concrete	1	8.50	1.77	1.83	1.03	1.98	1.12	2.37	1.34
2216	box beam or girder-simple	prestressed concrete	1	8.80	1.28	1.30	1.01	1.41	1.10	1.70	1.33
1390	slab	concrete	1	9.90	1.35	1.41	1.04	1.37	1.01	1.94	1.44
2841	stringer or girder	prestressed concrete	1	9.90	1.54	1.55	1.01	1.68	1.09	1.99	1.29
950	tee beam	concrete	2	10.20	1.28	2.13	1.67	2.34	1.83	1.93	1.51
2586	box beam or girder-simple	prestressed concrete	1	10.20	1.27	1.28	1.01	1.39	1.09	1.68	1.32
1945	box beam or girder-simple	concrete	2	10.70	1.53	1.54	1.00	1.67	1.09	2.04	1.33
2329	slab	concrete	1	10.90	1.54	1.55	1.01	1.69	1.10	2.05	1.33
1903	slab	concrete continuous	2	12.20	1.27	1.29	1.01	1.35	1.06	1.79	1.41
2472	box beam or girder-simple	concrete	2	13.70	2.14	2.15	1.01	2.12	0.99	2.90	1.36
2263	girder and floorbeam	steel	1	13.70	1.29	1.34	1.04	1.25	0.97	1.81	1.40
1883	box beam or girder-simple	concrete	2	14.40	1.78	1.87	1.05	1.73	0.97	2.53	1.42
1789	tee beam	concrete	3	14.60	1.23	1.41	1.15	1.22	0.99	1.85	1.50
1712	slab	concrete	4	15.00	1.23	1.27	1.03	1.22	0.99	1.84	1.50
1434	tee beam	concrete continuous	3	15.60	1.40	1.45	1.04	1.51	1.08	1.66	1.19
1366	tee beam	concrete continuous	3	15.90	1.24	1.29	1.04	1.24	1.00	1.40	1.12
1365	tee beam	concrete continuous	3	16.60	1.36	1.41	1.04	1.44	1.06	1.56	1.15
2913	stringer or girder	prestressed concrete	1	18.30	2.48	3.21	1.29	2.78	1.12	2.96	1.19
2490	stringer or girder	prestressed concrete	1	20.70	1.78	2.09	1.17	1.68	0.94	2.61	1.47
1415	stringer or girder	prestressed concrete	2	20.70	1.71	2.09	1.22	1.85	1.08	1.68	0.98
2888	stringer or girder	prestressed concrete	1	23.70	2.18	2.68	1.23	2.17	1.00	2.12	0.97
2701	box beam or girder-simple	prestressed concrete	1	25.30	1.60	5.18	3.24	4.02	2.51	4.07	2.54
1922	stringer or girder	steel	1	27.30	1.23	1.38	1.12	1.46	1.19	1.77	1.44
2370	stringer or girder	prestressed concrete	1	28.10	2.25	2.93	1.30	2.18	0.97	2.88	1.28
2371	stringer or girder	prestressed concrete	1	28.30	2.25	2.93	1.30	2.18	0.97	2.88	1.28
1893	stringer or girder	prestressed concrete	2	29.00	2.30	2.96	1.29	2.22	0.97	2.97	1.29
1892	stringer or girder	prestressed concrete	5	29.20	1.82	2.32	1.27	1.76	0.97	2.38	1.31
1891	stringer or girder	prestressed concrete	2	29.50	2.43	3.11	1.28	2.34	0.96	3.18	1.31
1594	box beam or girder-multiple	concrete	4	29.90	1.23	1.21	0.98	1.29	1.05	1.93	1.57
1146	stringer or girder	prestressed concrete	1	29.90	1.54	2.02	1.31	1.50	0.97	1.96	1.27
1147	stringer or girder	prestressed concrete	1	29.90	1.54	2.02	1.31	1.50	0.97	1.96	1.27
1150	stringer or girder	prestressed concrete	1	30.20	1.84	2.41	1.31	1.79	0.97	2.34	1.27
1151	stringer or girder	prestressed concrete	1	30.20	1.84	2.41	1.31	1.79	0.97	2.34	1.27
2723	stringer or girder	prestressed concrete	2	34.00	2.63	3.36	1.28	2.54	0.97	3.48	1.32
2032	stringer or girder	prestressed concrete	1	34.00	1.83	2.50	1.36	1.82	0.99	2.28	1.24
2671	stringer or girder	prestressed concrete	7	37.20	1.71	3.03	1.77	2.75	1.61	2.58	1.51
2489	stringer or girder	prestressed concrete	3	38.50	2.13	3.00	1.41	2.17	1.02	2.67	1.25
2772	stringer or girder	steel	1	62.60	2.03	3.39	1.67	2.34	1.15	2.67	1.32



Gráfica 1

Relación entre el Largo de Tramo y el Ratio entre el HL93 y los Camiones Representativos de Reglamento 8154

## CONCLUSIÓN

En base este estudio se recomienda que para el análisis de capacidad de cargas vivas legales en Puerto Rico se utilizó un factor de carga viva de 1.35 ( $\gamma_{LL \text{ Legal}} = 1.35$ ) que se demostró es conservador y no de aproximadamente 1.8 ( $\gamma_{LL \text{ Legal}} \approx 1.8$ ) como lo sugiere AAHSTO, dado a que este considera un aumento en el peso nominal de las cargas legales de AASHTO el cual no es considerado al momento de realizar el cálculo de capacidad de carga viva de los puentes y resultaría en evaluaciones más conservadoras que en los cálculos del diseño de los puentes.

Se escogieron las siguientes configuraciones de carga viva:

- NTWAC SHV-3A,
- NTWAC SHV-3S2 y
- FM 3S2-2 Modificado

Las mismas fueron utilizadas para realizar el cálculo de capacidad de carga viva de acuerdo a los límites de carga del Reglamento 8154: “Dimensiones y pesos de los vehículos de motor,

arrastres y semiarrastres que transitan por las vías públicas de Puerto Rico” y a su vez se obtuvo una razón entre cada camión representativo y el HL93 mayor o cercano a uno (1.0). Por lo tanto, podemos concluir que el modelo de carga viva HL93 es representativo de las cargas legales de Puerto Rico.

Por lo antes expuesto recomendamos que sean incluido como directriz de diseño el utilizar un factor de carga viva igual a 1.35 ( $\gamma_{LL \text{ Legal}} = 1.35$ ) en combinación con las cargas legales propuestas en este estudio para el cálculo de capacidad de carga de los puentes y utilizar como camión de diseño el modelo HL93 para el diseño de puentes nuevos en la Isla.

## REFERENCIAS

- [1] Reglamento 8154: “Dimensiones y Pesos de los Vehículos de Motor, Arrastres y Semiarrastres que Transitan por las Vías Públicas de Puerto Rico”. *Gobierno de Puerto Rico, Departamento de Transportación y Obras Públicas*, 2 de febrero de 2012.
- [2] AASHTO. LRFD Bridge Design Specification. Washington, D.C., American Association of State

- Highway and Transportation Officials. 6<sup>th</sup> Edition, Part I, Section 3, 2012.
- [3] NCHRP. "Calibration of Load Factors for LRFD Bridge Evaluation". Report 454, *Transportation Research Board*, National Research Council, Washington, D.C., 2001.
  - [4] Nowak, A. S. "Calibration of LRFD Bridge Code." *ASCE J. of Structural Engineering*, Vol. 121, No. 8, 1995.
  - [5] *AASHTO: The Manual for Bridge Evaluation*, Second Edition, 2011.
  - [6] *AASHTO Guide Specification for Strength Evaluation of Existing Steel and Concrete Bridges*, Washington, D.C., 1989.
  - [7] Transportation Research Board of National Academies, "50 Years of Interstate Structures Past, Present and Future", Number E-C104, September, 2006.