

UNA PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE RUEDA EN PUENTES VEHICULARES DE SECCIÓN COMPUESTA, SIMPLEMENTE APOYADOS

RESUMEN

Es este artículo se presenta una propuesta para el cálculo del Factor de Rueda como resultado de analizar una gran variedad de puentes de sección compuesta simplemente apoyados mediante la técnica de elementos finitos. En esta formulación propuesta, se tiene en cuenta la posición de las vigas en la superestructura, el tipo de efecto a calcular, momento flector o fuerza cortante, como también la posición de la sección donde se desea el Factor de Rueda. Adicionalmente en la parte final del documento se realiza una comparación entre los valores obtenidos a partir del código, la formulación propuesta y datos experimentales obtenidos en investigaciones anteriores.

PALABRAS CLAVES: Factor de Rueda, puentes, análisis por elementos finitos, método simplificado.

ABSTRACT

It is this article show an proposal for the calculation of the wheel load factor as result of analyzing a great variety of bridges of composite section simply supported by means of the technique of finite elements. In this proposed formulation, the position of the girders is born in mind in the superstructure, the type of effect to calculating, flexural moment or shear force, as also the position of the section where the Load Factor Wheel is wished. Additional in the final part of the document a comparison is realized between the values obtained from the code, the proposed formulation and experimental information obtained in previous investigations.

KEYWORDS: *Wheel load factor, bridges, finite element analysis, simple method.*

1. INTRODUCCIÓN

Una carga puntual móvil (carga de rueda) colocada sobre la superestructura de un puente afecta todos los elementos del sistema estructural por lo cual es necesario realizar un análisis tridimensionales para determinar los esfuerzos y las deformaciones. Sin embargo, este tipo de análisis es dispendioso y consume mucho tiempo si no se dispone de ayudas computacionales. Por lo anterior los códigos y normas de diseño permiten “simplificar” el problema reduciéndolo a un análisis bidimensional en el cual las cargas actuantes sobre el elemento estructural son afectadas por un factor de “corrección” (Factor de Rueda, FR) cuyo objetivo es tener en cuenta la condición real tridimensional.

En el diseño de puentes formados por losa de concreto reforzado apoyada en vigas longitudinales, frecuentemente el análisis estructural se reduce a un problema bidimensional en el cual sólo se consideran las fuerzas cortantes en el plano de carga y los momentos flectores causados respecto al eje perpendicular a dicho plano, despreciando el carácter tridimensional del comportamiento de la superestructura, donde se pueden encontrar otros tipos de efecto como: efectos torsionales,

HÉCTOR E. JARAMILLO

Ingeniero Mecánico, Esp. en Estructuras
Prof. Universidad Autónoma de Occidente
Dpto de Automática y Mecánica
Grupo de Investigación Ciencia e Ingeniería de Materiales
hejaramillo@cua.edu.co

GILBERTO AREIZA PALMA

Ingeniero Civil, M Sc
Profesor Universidad del Valle
gareiza@mafalda.univalle.edu.co

flexión biaxial y esfuerzos cortantes producidos en planos diferentes al de carga. Esta práctica generalizada de análisis simplificado se ha visto fortalecida por el hecho de ser permitida y en cierta forma estimulada, por los códigos de diseño desde hace varias décadas. Para citar sólo el caso, esta nuestra Norma AIS-200-95¹, donde los valores actuales del FR fueron tomados de la Norma AASHTO² de 1944.

2. FACTOR DE RUEDA

El FR se define como la relación entre el efecto interno (fuerza cortante o momento flector) en una sección de la viga producida por una carga viva móvil, obtenido de un análisis tridimensional y el valor correspondiente determinado mediante un análisis bidimensional usando un tren de cargas de rueda, correspondiente a medio (1/2) camión de diseño:

$$F.R. = \frac{\text{Momento flector real}}{\text{Momento flector calculado para una carga de medio camión}} \quad (1)$$

En el pasado se han publicado resultados de estudios analíticos realizados tendientes a calibrar el FR recomendados por la Norma AASHTO en puentes simplemente apoyados de sección compuesta como el

realizado por Tarhini (1992),³ quien propone la ecuación (2) para determinar el factor de rueda en vigas interiores. En dicha ecuación L y S son respectivamente la distancia entre apoyos y la separación entre vigas, ambos expresados en pies.

$$FR = 0.00013L^2 - 0.021L + 1.25\sqrt{S-(S+7)/10} \quad (2)$$

Entre otros trabajos publicados están el de Bishara (1993)⁴ y el de Kostem y De Castro (1977)⁵ quienes concluyeron que el FR, en puentes de vigas longitudinales de acero y tablero de concreto, es insensible a la presencia de riostras transversales. Adicionalmente, Areiza y Jaramillo (1999)⁶ publicaron los resultados de un estudio analítico de calibración del FR, realizado usando la técnica de elementos finitos y como algunas de las conclusiones de obtenidas de este trabajo fueron: (a) se presentan notables diferencias de los valores de los FR obtenidos del análisis tridimensional y los de la Norma AIS-200-95; (b) el arriostamiento no influye en los valores del FR, conclusión que concuerda con los resultados de Kostem y De Castro (1977). De otro lado se encuentra que Zokaie (1991)⁷ que introduce un nuevo FR como resultado de una parte del proyecto NCHRP 12-26⁸. Esta nueva formula tiene en cuenta parámetros como la luz entre apoyos, espacio entre vigas y propiedades de la sección transversal. En el reporte final del proyecto NCHRP 12-26 se presenta una nueva formula para el FR, para momento flector en puentes de viga metálica, la cual es mostrada en la ecuación (3):

$$g = 0.15 + (S/3)^{0.6} (S/L)^{0.2} [n(I + Ae^2)/(12Lt^3)]^{0.1} \quad (3)$$

En la ecuación (3), S, es el espacio entre vigas (3.5 pies <S<16 pies); L, Longitud entre apoyos (20 pies <L<200 pies); n, relación modular entre la viga y el material de la losa; I = momento de inercia de la viga (pulg.⁴); A, sección transversal de la viga (pulg.²); e, distancia entre el eje neutro de la viga y la superficie intermedia de la losa (pulg.); y t, el espesor de la losa de concreto (pulg.). Esta ecuación es recomendada para puentes vehiculares con al menos dos líneas de carga, con sección transversal compuesto o no compuesta, simplemente apoyado o continuo y puentes con al menos cuatro vigas.

En trabajos reportados por Mabsout (1998)⁹, (2002)¹⁰ sobre el FR en puentes de luces continuas, en el cual se realiza una comparación entre el FR hallado por un análisis por elementos finitos, con el determinado por la norma AASHTO (1996). Obtiene como conclusión, que el FR calculado como S/5.5 es conservativo respecto de los determinados mediante la técnica de elementos finitos, y que los resultados han demostrado una relación no lineal entre el espaciamiento de las vigas y el calculo del FR.

En relación al efecto de las variables en el FR, se encuentra un estudio realizado por Zokaie (1991)⁷, en el

cual se plantea que los parámetros más significativo que influye son la separación entre vigas (S), seguido de la longitud entre apoyos (L). La rigidez de la viga y el espesor de la losa de concreto son secundarios en su determinación. En esta misma dirección Burdette y Goodpasture (1988; tabla 4, p12)¹¹ reportaron en un estudio para identificar y evaluar aspectos en el comportamiento de puentes que normalmente no son considerados, que la continuidad del puente y las riostras tipo cruz son factores secundarios en la evaluación del FR.

3. MODELADO DE LA SUPERESTRUCTURA Y CONDICIONES DE CARGA

La geometría de la superestructura de un puente puede ser idealizada para su análisis de diferentes formas. Es en esta fase de idealización del modelo, es donde se pueden encontrar grandes diferencias entre un modelo y otro. Hays (1986)¹² idealizo la superestructura usando elementos Plate y elemento Beam, con el centroide de la viga y la losa de concreto coincidiendo. Imbsen y Nutt (1978)¹³ colocaron elementos rígidos conectando la losa de concreto idealizada como elemento tipo Plate y la viga como elemento Beam, con el objeto de cubrir la diferencia entre los ejes centroidales de los dos elementos. Sin embargo, Bishara (1984)¹⁴ modelo la superestructura del puente utilizando elementos tipo Plate tanto para la viga de acero como para la losa de concreto y conecto estos dos elementos usando conectores rígidos entre el patín superior de la viga y la losa. En un trabajo reportado 1992 por Kassim³ se modelo la losa de concreto con elementos tipo Brick y la viga metálica con elemento tipo Plate, realizando la conexión entre estos usando elementos conectores rígidos, por la diferencia entre los centros de gravedad de los dos elementos.

Para el análisis de los modelos, objetos de esta investigación, se utilizó un modelo tipo *Plate* o placa para la losa de concreto, elemento tipo *Beam* o viga para las vigas y debido a la diferencias de posición de los elementos plate con respecto a los tipo Beam, se utilizaron elementos conectores off-set (ver figura 1). La justificación de la selección del tipo de modelo usado se baso en un trabajo anterior¹⁵ realizado por los autores, el cual se recomienda consultar si se desea complementar al respecto.

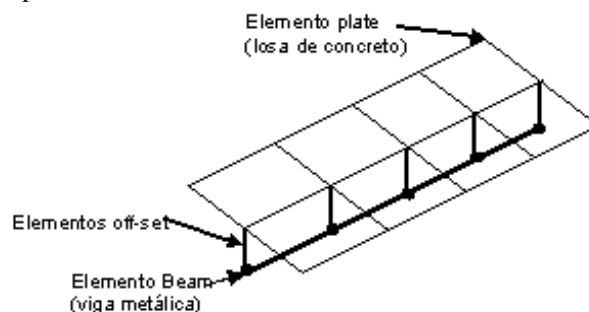


Figura 1. Modelo utilizado en el análisis

4. MODELO PROPUESTO PAR EL CÁLCULO DEL FACTOR DE RUEDA

En este punto se presenta una formulación para el cálculo del FR, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El arriostramiento lateral de cualquier tipo^{11,16,3,17} no influye considerablemente en los valores del FR, como para ser considerado en una formulación.
- Las ecuaciones que se obtengan, no deben de considerar variables que se dimensionen a partir del FR, como el momento de inercia de la viga y el espesor de la losa de concreto. Se debe hacer a partir de variables que sean los primeros datos de entrada o de diseño
- La formulación debe estar en función de las variables con mayor influencia sobre el FR con el objeto de poder obtener una formulación simple que represente adecuadamente su comportamiento, sin perder rigor en su determinación.
- El FR calculado a partir de los valores de la fuerza cortante difieren de los valores determinados por el momento flector, y más aún, los valores para la viga intermedia y de borde presentan diferencias por lo que esto debe ser considerado por separado en la formulación.
- El FR presenta variaciones a través de una sección longitudinal cualquier.

Basados en los resultados de un trabajo anterior publicado por lo autores¹⁸ y teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores se determino que las ecuaciones para el cálculo del FR deben estar en función de las variables como la separación entre vigas (S) y la luz entre apoyos (L). Además se debe presentar una formulación para cuando se desea determinar los efectos de la fuerza cortante como para el momento flector por separado.

4.1. Factor de Rueda para fuerza cortante

A partir de los datos consignados en las tablas 1 y 2, se determinó las ecuaciones (4) para el cálculo del FR para la viga intermedia y la ecuación (5) para la viga lateral o de borde. Ambos casos cuando se desean calcular los efectos de fuerza cortante.

		S						
L	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
15	1.3286	1.4799	1.6499	1.6999	1.9161	2.3769	2.5822	2.7660
20	1.2830	1.4254	1.6023	1.8026	2.1651	2.2949	2.2720	2.6497
24	1.2544	1.3923	1.5789	1.7745	1.8209	2.2612	2.4421	2.6029

Tabla 1. Valores del FR determinados a partir de los efectos de la Fuerza cortante sobre la viga intermedia.

$$FR = (1.17685 - 0.00583L)S^{(0.67652 - 0.000605246L)} \quad (4)$$

		S						
L	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
15	1.6863	1.4942	1.6827	2.3156	2.0590	2.9124	2.5943	2.3460
20	1.5812	1.4234	1.6063	2.1883	1.7686	2.8780	2.6309	2.3549
24	1.5999	1.4097	1.5952	2.1937	2.2545	2.8772	2.5972	2.3612

Tabla 2. Valores del FR determinados a partir de los efectos de la Fuerza cortante sobre la viga de borde.

$$FR = (1.44678 - 0.0089L)S^{(0.50265 - 0.0023L)} \quad (5)$$

4.2. Factor de Rueda para momento flector

A partir de los datos consignados en las tablas 3 y 4, se determinaron la ecuación (6) para el cálculo del FR para la viga intermedia y la ecuación (7) para la viga lateral o de borde. Ambos casos cuando se desean calcular los efectos de momento flector.

		S						
L	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
15	0.9224	1.0874	1.3341	0.9998	1.4117	1.7890	1.9120	2.0355
20	0.8462	0.9825	1.2556	1.3715	1.4943	1.6502	1.1026	1.8379
24	0.8065	0.9296	1.2081	1.3124	1.2314	1.5773	1.6585	1.7406

Tabla 3. Valores del FR determinados a partir de los efectos de momento flector sobre la viga intermedia.

$$FR = (0.9657 - 0.00921L)S^{(0.69897 - 0.00292L)} \quad (6)$$

		S						
L	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4
15	1.3732	1.3599	1.5332	1.3596	1.5828	2.3817	2.2256	2.1008
20	1.3187	1.3194	1.4881	1.8454	1.6822	2.3032	1.4618	2.0615
24	1.2764	1.2982	1.4639	1.8019	1.4295	2.2375	2.1259	2.0228

Tabla 4. Valores del FR determinados a partir de los efectos de momento flector sobre la viga lateral o de borde.

$$FR = (1.29713 - 0.00818L)S^{(0.4171 - 0.000184918L)} \quad (7)$$

4.3. Ajuste del Factor de Rueda para una sección cualquiera

Como el FR depende de la posición longitudinal de la sección donde se determinó un comportamiento que permita ajustar los valores del FR calculados por las ecuaciones (4) a (7) para cuando se desean los efectos de fuerza cortante y momento flector en una sección longitudinal cualquiera.

Las figuras 2 y 3. Estas representan el comportamiento de un Factor que depende de la sección donde se desea. Es decir el FR determinado por las ecuaciones (4) a (7) debe ser multiplicado por el Factor multiplicador que se

determina de las figuras 2 y 3, dependiendo de la posición de la sección donde se desea, de la posición de la viga y si los efectos a calcular son los de la fuerza cortante o del momento flector.

Así por ejemplo el FR para la viga intermedia calculado a partir del momento flector para una sección a 3L/8 del apoyo izquierdo, de un puente con una luz entre apoyos (L) de 23 m y una separación entre vigas (S) de 3.0 m, usando la ecuación 6:

$$FR = (0.9657 - 0.00921L)S^{(0.69897-0.00292L)}$$

$$FR = (0.9657 - 0.00921 \times 23)(3)^{(0.69897-0.00292 \times 23)}$$

$$FR = 1.5092$$

De la curva de la figura 3 se obtiene un factor multiplicador, que para una sección a 3L/8 es:

$$FactorMultiplificador \cong 0.89$$

Por tanto el valor final del FR para esta sección será de:

$$FR_{3L/4} = FactorMultiplificador \times FR$$

$$FR_{3L/4} = 0.89 \times 1.5092 \Rightarrow FR_{3L/4} = 1.3432$$

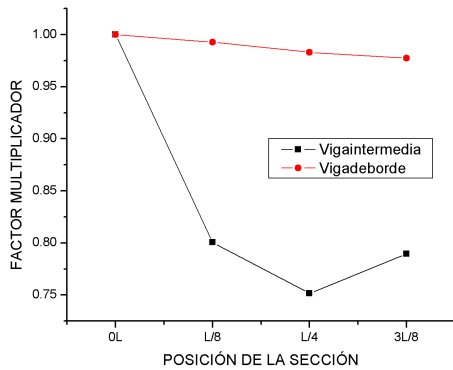


Figura 2. Curvas de ajuste del FR a la sección deseada, para los efectos de la fuerza cortante

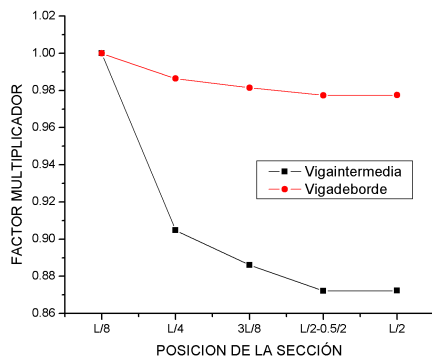


Figura 3. Curvas de ajuste del FR a la sección deseada, para los efectos de momento flector

5. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL Y ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y LAS REFERENCIAS ENCONTRADAS

A continuación se presenta una comparación entre los valores obtenidos mediante el análisis por elementos finitos, que dieron como resultados las ecuaciones (4) a (7) y aquellas formulaciones para el cálculo del FR encontradas en las referencias consultadas, como lo son el código Colombiano de Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (Norma AIS-200-95)¹, la formulación hecha por Tarhini⁹ y la formulación presentada por Zokaie⁷. También se realiza una comparación entre la formulación propuesta y valores experimentales obtenidos por Mabsout (1997)¹⁹.

5.1 Comparación entre la solución propuesta y los valores del Código¹

El código Colombiano de Diseño Sísmico de puentes define que para puentes de concreto sobre vigas metálicas con dos o más calzadas, el FR se calcula para las vigas interiores como, $FR=S/1.7$ para valores de separación entre vigas (S) menores e iguales a 4.0 m. Para las vigas exteriores se calcula de acuerdo a: (a) si $S \leq 1.8m$ el $FR=S/1.7$, (b) si $S > 1.8m$ el $FR=S/(1.2+0.25S)$

Se tomará para efectos de poder comparar ambos formulaciones un puente simplemente apoyado con una luz entre apoyos de 20m. Para este puente se grafican los valores del FR obtenidos a partir de la formulación presentada por el código y de la formulación propuesta en las ecuaciones (4) a (7) para diferentes separaciones entre vigas. Ahora, como el código define de forma diferente el cálculo del FR para la viga intermedia y la lateral o de borde, en las figuras 4 y 5 se grafican los valores obtenidos a partir del código y los obtenidos a partir de la formulación propuesta tanto para las vigas laterales o de borde (figura 4), como para las vigas interiores (figura 5).

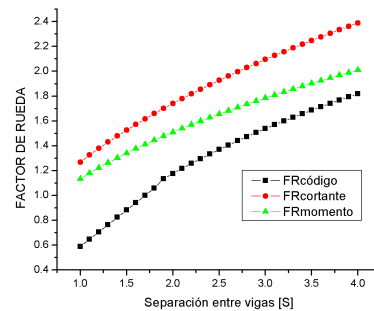


Figura 4. FR obtenidos FEA²⁰ vs. Valores obtenidos por el Código¹, vigas exteriores

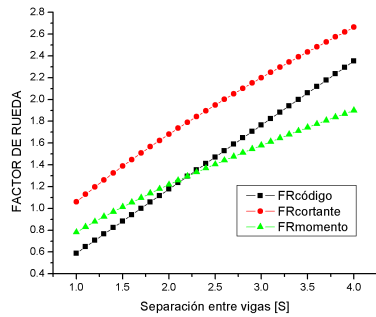


Figura 5. FR obtenidos mediante FEA²⁰ vs valores obtenidos por el Código para las vigas interiores

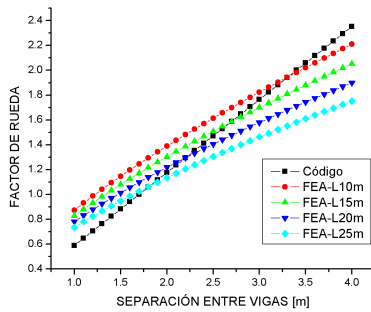


Figura 6. FR del Código versus valores determinados por FEA para varias luces entre apoyos, viga intermedia.

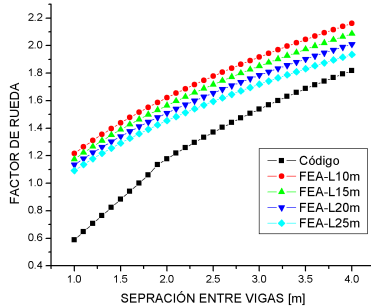


Figura 7. FR por el Código versus valores por FEA para diferentes luces entre apoyos, viga de borde.

5.2 Comparación entre la solución propuesta y las referencias encontradas

A continuación se realiza una comparación entre los valores obtenidos mediante la formulación propuesta y los valores obtenidos mediante el código, la formulación presentada por Tarhini⁹ y la formulación presentada por Zokaie⁷.

Como la ecuación utilizada por el código, solo depende del valor del espaciamiento entre vigas, se tomo un modelo de puente con todas sus variables (I, e, t, L) completamente definidas, al cual se le varía el espaciamiento entre vigas. La comparación solo se realiza con la formulación presentada para la viga interior, ya que las formulaciones de Tarhini y Zokaie, no hacen una diferencia entre los valores obtenidos para la

viga interior y los obtenidos para la viga exterior. Para efecto de realizar las comparaciones se tomo un puente con una luz entre apoyos de 20m, con vigas metálicas W36x170, y un espesor de losa (t) de 7.24 pulg.

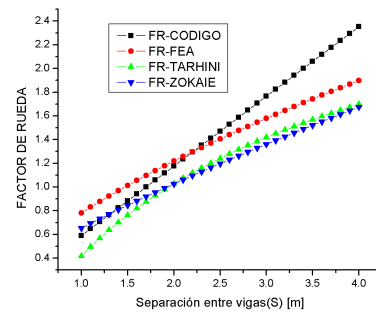


Figura 8. Modelo propuesto para el FR versus el obtenido por el código, la formulación de Tarhini y de Zokaie

5.3 Comparación entre la solución propuesta y los valores experimentales obtenidos en las referencias

En Algunas evaluaciones experimentales hechas por Mabsout (1997)¹⁹, basada en trabajos anteriores de Hindman y Vandegrift (1945)²¹, Linger (1963)²², Baldwin (1965)²³ y Burdette (1971)²⁴, con respecto al FR se comparan estos con los valores obtenidos a partir de la formulación propuesta para momento flector en la viga intermedia (ecuación 6). En la tabla 5, “exp.”, corresponde a los valores experimentales obtenidos de las referencias; “Cod.”, corresponde a los valores determinados por el código; y “FEA.”, corresponde a los valores obtenidos a partir de la formula propuesta (ecuación 6).

PUENTE	L		S		FACTOR DE RUEDA		
	pies	m	pies	m	Exp.	Cod.	FEA
Bridge type A (Hindman 1945)	88	26.8	6.93	2.1	1.05	1.24	1.14
Clive Road (Linger 1963)	68.25	20.8	9.5	2.9	1.40	1.71	1.53
	41.25	12.6	9.5	2.9	1.58	1.71	1.72
Burris Fork (Baldwin 1965)	52.5	16.0	9.0	2.7	1.40	1.59	1.56
Burris Fork (Baldwin 1965)	60	18.3	6.67	2.0	1.14	1.18	1.25
Tennessee Route 130	90	27.5	8.34	2.5	1.20	1.47	1.26
Mansford Road (Burdette 1971)	60	18.3	7.34	2.2	1.16	1.29	1.33
Mahmoud (1987) ¹¹	60	18.3	7.5	2.3	1.19	1.35	1.36

Tabla 5 Valores experimentales vs los determinados a partir del código y de la formulación propuesta.

6. CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos por el análisis por Elementos Finitos, se determinaron cuatro ecuaciones en función de dos de las variables más representativas sobre el FR. Que representan el comportamiento del FR cuando se desean calcular los efectos de Fuerza cortante y Momento Flector dependiendo de la posición de la viga sobre la superestructura del puente. Después de esto se obtuvieron unas graficas que representan el comportamiento, de forma porcentual, del FR respecto de

la sección longitudinal donde se desea éste. Lo anterior con el objeto de poder corregir el FR para una sección longitudinal deseada o simplemente se puede trabajar con los mayores valores, que son los obtenidos a partir de las ecuaciones (4) a (7).

Los valores del FR obtenidos a partir de los momentos flectores y específicamente a los determinados para la viga intermedia, en la formulación propuesta se acercan más a los valores experimentales que los que arroja el código. Los valores obtenidos para la fuerza cortante por el análisis por elementos finitos siempre son mayores y presentan diferencias apreciables respecto de los valores arrojados por el código.

De la figura 8 se puede observar que los valores del FR, para separaciones entre vigas pequeños (inferiores a 2.2m aproximadamente), determinados por el código son bajos comparados con los resultados a partir del análisis por elementos finitos. Sin embargo para separaciones mayores (superiores 2.2m, aproximadamente) se encuentra que los valores del código son conservativos.

7. REFERENCIAS

- ¹ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), "Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (Norma AIS-200-95)", Bogotá, Diciembre 1995.
- ² AASHTO, "Standard Specifications for Highway Bridges", Fourteenth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., 1989.
- ³ Tarhini, K.M. and Frederick G.R. (1992). "Wheel load distribution in I-girder highway bridges". Journal Structural Engineering, ASCE vol. 118, No 5.
- ⁴ Bishara, A. Liu G., Chuan M. and Nasser, E. A; "Wheel Load Distribution on Simply Supported Skew I-Beam Composite Bridges", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 2, February 1993, pp 399-419.
- ⁵ Kostem, C. N. and De Castro, E. S., "Effect of Diaphragms on Lateral Load Distribution in Beam-Slab Bridges", Transp. Res. Rec., Bridge Tests, 1977, pp 6-9.
- ⁶ Areiza, G. y Jaramillo, H. E, "Calibración de Factores de Rueda en Puentes de Viga Metálica y Losa de Concreto", Memorias XIII Jornadas Estructurales de la Ingeniería Colombiana, Bogotá, Septiembre 30 y Octubre 1 y 2 de 1999.
- ⁷ Zokaie, T., Osterkamp, T. A., and Imbsem, R.A. (1991) "Distribution of wheel loads on highway bridges". Rep. 12-26/1, Nat. Cooperative Hwy. Res. Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- ⁸ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1996) Standard specifications for highway bridges, 16th Ed., Washington, D. C.
- ⁹ Mabsout M. E., Tarhini K. M., Frederick G. R. and Tayar C. "Effect of continuity on wheel load distribution in steel girder bridges". Journal of Bridge Engineering. Pag. 103-110. 1998.
- ¹⁰ Mabsout M. E., Naddaf Y., Tarhini K. M., and Frederick G. R.. "Load reduction in steel girder bridges". Practice Periodical of Structural Design and Construction . Pag. 37-43. 2002.
- ¹¹ Burdette, E. G., and Goodpasture, D. W. (1988). "Correlation of bridge load capacity estimates with test data". Rep. No 306, Nat. Cooperative Hwy. Res. Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- ¹² Hays, C. O., Jr. Sessions L. M., and Berry, A. J. (1986). "Further studies on lateral load distribution using finite element methods". Transp. Res. Recc., (1072), Transportación Research Board, Washington, D. C., 6-14.

¹³ Imbsen, R. A., and Nutt, R. V. (1978), "Load distribution study on highway bridges using STRUDL F.E.A capabilities." Conf. on Computing in Civil Engineering, ASCE, New York, N. Y.

¹⁴ Bishara, A. G. (1984). "Analysis for design of bearing at skew bridge support." Report ODOT 14346, Ohio Department of Transportation, Columbus, Ohio.

¹⁵ Jaramillo H. E., Areiza G. "Algunas generalidades sobre el modelado de secciones compuestas usando elementos finitos", Revista Scientia et Technica, Edición No 13 junio de 2000. Universidad Tecnológica de Pereira.

¹⁶ Azizinamini, A., Kathol, S., and Beacham, M. W. (1995). "Influence of cross frames on load resisting capacity of steel girder bridges". Engineering Journal. 33(3), 107-116

¹⁷ Jaramillo, H. E. Areiza, P. (2002). "Efecto de las riostras sobre el Factor de Rueda en puentes de sección compuesta". El Hombre y la Máquina, CUAO, 18: 34-40

¹⁸ Jaramillo, H. E. Areiza, P. (2003). "Variables que afectan la determinación del Factor de Rueda". El Hombre y la Máquina, CUAO, 20-21: pp 66-73

¹⁹ Mabsout M. E., Tarhini K. M., Frederick G. R. and Tayar C. "Finite – Element Analysis of Steel Girder Highway Bridges". Journal of Bridge Engineering. Pag. 86. 1997.

²⁰ Algor software, Linear static stress. Version 12.22 Win 27- 27 September 2002.

²¹ Hindman, W. S. and Vandegrift, L. E: (1945). "Load distribution over continuous deck type bridge floor systems" Bull 122, Engrg. Experiment Station, Ohio State Univ., Columbus, ohio.

²² Linger, D.A., and Hulsbos, C. L. (1963). "Dynamic load distribution in continuous I-beam highway bridges". Hwy. Res. Board Rec., 34,47-69.

²³ Balwin, J.W. (1965). "Field test of a three-span continuous highway bridges". Hwy. Res. Board Rec., 76,140-167.

²⁴ Burdette, E.G., and Goodpasture, D. W. (1971). "Full-scale bridge testing: an evaluation of bridge design criteria". University of Tennessee at Knoxville, Knoxville, Tenn.