

DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN DE LAS CARGAS SOBRE LOS CAMIONES

DETERMINATION OF THE LOADS POSITION ON TRUCKS

César A. Chagoyén-Méndez^{1}, Yamill S. Campos-Pérez¹ y Constantina Álvarez-Peña²*

¹Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

²Universidad de Oviedo, Campus de Viesques. Dpto. Ing. Eléctrica, Gijón – Asturias, España.

Recibido: Marzo 5, 2015; Revisado: Abril 7, 2015; Aceptado: Abril 22, 2015

RESUMEN

En este trabajo se exponen los principales problemas que trae consigo una distribución inadecuada de las cargas sobre los camiones y se describe detalladamente una metodología para la determinación de la posición adecuada, la cual concluye con la elaboración del esquema de montaje. Dicha metodología fue obtenida a partir de la solución del caso particular de una cisterna de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de 14'000 litros sobre un camión DAF CF 75.310. Otro resultado de este trabajo es un software que permite determinar la posición exacta en que debe quedar el centro de gravedad de la carga con respecto al eje delantero así como las reacciones en cada eje, con la posibilidad de valorar diferentes variantes.

Palabras clave: camiones, distribución de cargas, análisis estático.

ABSTRACT

In this paper, we presented the main problems that entail an inadequate distribution of loads on trucks and we described in detail a methodology for determining the proper position, which concludes with the completion of the installation diagrams. The methodology was obtained from the solution of the particular case of a tank of liquefied petroleum gas (LPG) of 14'000 liter on a DAF CF 75.310 truck. Another result of this work is a software which allows to determine the exact position it should be the gravity

Copyright © 2015. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Nombre y primer apellido, Email: cachagoyen@uclv.edu.cu

center of the load relative to the front axle and the reactions on each axis, with the possibility of evaluating different variants.

Key words: trucks, load distribution, static analysis.

1. INTRODUCCIÓN

Los camiones como vehículos comerciales, tienen como propósito trasladar cargas de un lugar a otro. La masa del artículo a trasladar, más que cualquier otro factor, determina el tamaño del camión a emplear. Una masa pequeña requiere un camión pequeño; una masa grande requiere un camión grande, lo cual constituye un principio simple, pero que frecuentemente es violado.

En cualquier caso, seleccionando el camión del tamaño adecuado, se asegurará que el trabajo se realizará con algún grado de fiabilidad y dentro de las limitaciones legales del peso.

Al seleccionar el camión no sólo hay que preocuparse por la carga total sino también por la distribución de ésta entre los ejes. Esto es de extrema importancia, tanto desde el punto de vista funcional como económico.

Si un camión carga menos de su capacidad, significa que al dueño no retornará completamente su inversión y los costos de operación serán altos. Si el camión se carga excesivamente, se reducirán las ganancias debido al aumento del costo del mantenimiento y a las potenciales multas debido a las violaciones de las limitaciones legales.

La distribución del peso debe analizarse cuidadosamente, determinando cuánto del peso total, incluyendo el chasis, la cabina, el cuerpo y la carga útil, llevará el eje delantero y cuánto el eje trasero, para no llegar a sobrecargar alguno de ellos. Moviendo la carga algunas pulgadas sobre el chasis hacia delante o hacia atrás, puede significar la diferencia entre una distribución de peso aceptable y una que no realizará el trabajo de forma satisfactoria (ISUZO, 2013), (Council, 2011).

Una distribución de peso impropia causará problemas en diversas áreas (Eagleyre, 2012), (Turochy et al., 2005), tales como: desgaste excesivo o falla del terminal delantero, desgaste rápido de los neumáticos, dirección errática o brusca, dirección endurecida, operación insegura, altos costos de mantenimiento, incumplimiento de las regulaciones y leyes de peso así como efectos negativos sobre el pavimento.

Para poder colocar las cargas en la posición adecuada es necesario realizar un conjunto de cálculos que no todas las empresas dedicadas a estas tareas los realizan o si los hacen mantienen cierta discreción. Es preciso prestar atención a la combinación o razón “longitud del camión / longitud de la carga”, Collier (2012). La finalidad de estos cálculos es conseguir la mejor ubicación de la carga sobre el chasis para poder transportar la máxima carga útil sin superar los pesos máximos permitidos por eje, teniendo en cuenta las limitaciones legales y técnicas (SCANIA, 2010), (NISSAN, 2010), (García-Pozuelo, 2007) y Toner (2013).

Existen algunos software (LoadXpert, 2015), (TransSolve, 2013) que permiten realizar la distribución de la carga. Uno de los más competentes es el software denominado LoadXpert que permite realizar la distribución de los pesos y calcular el centro de gravedad para camiones, tráiler, etc. También realiza la planificación de la carga sobre

camiones, tráiler o contenedores. Posee una gran diversidad de tipos de camiones y tráiler, su precio es de \$1 495,00 USD.

Con cierta frecuencia en los talleres mecánicos dedicados a la puesta en marcha y/o reparación de los medios de transporte de combustible (líquido o gas) se hace necesario formar nuevas configuraciones teniendo que colocar sobre un determinado camión uno varios tanques o cisternas. Aunque parezca una tarea sencilla, como se ha descrito anteriormente, no lo es.

Tal es el caso de esta investigación en que inicialmente se habían realizado los cálculos de la cisterna sobre tres tipos de camiones, pero por diferentes motivos la empresa decide montarla sobre otro tipo de camión cuya combinación con la cisterna no había sido calculada.

En esta investigación se estableció entonces una metodología para la determinación de la posición exacta en que debe quedar el centro de gravedad de la carga con respecto al eje delantero de un camión. Dicha metodología fue obtenida a partir de la solución del caso particular de una cisterna de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de 14'000 litros sobre un camión DAF CF 75,310 bajo las condiciones de carga reales de los componentes: la cabina y el chasis del camión; la cisterna y el cajón del sistema especial de carga y descarga. Sería redundante detallar lo peligroso que resulta el transporte por carreteras y ciudades del GLP.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Características del camión DAF CF 75.310, de la cisterna y del Cajón del Sistema Especial

El camión DAF CF 75.310 posee un motor PACCAR PR228/310 PS de 9,2 litros, con una potencia de 310 CV a 2200 rpm, transmitiendo un par de 1275 N-m, con un nivel de emisión Euro5 / EEV(DAF Especificaciones, 2015).

De los más de 10 tipos de configuración de ejes que presentan los camiones rígidos DAF, este es del tipo FAT 6X4 con dos ejes motrices traseros (DAF Configuración, 2015) y (DAF Camiones, 2015).

La cabina de los camiones DAF pueden ser de tres tipos: Day, Space o Sleeper. Este camión la tiene del tipo Sleeper. En la referencia (DAF Cabinas, 2015) aparece esta cabina y sus dimensiones, necesarias para los cálculos posteriores.

Las principales características y dimensiones del camión DAF CF 75.310 aparecen en la figura 1 y en las tablas 1 y 2 (DAF Brochure, 2015).

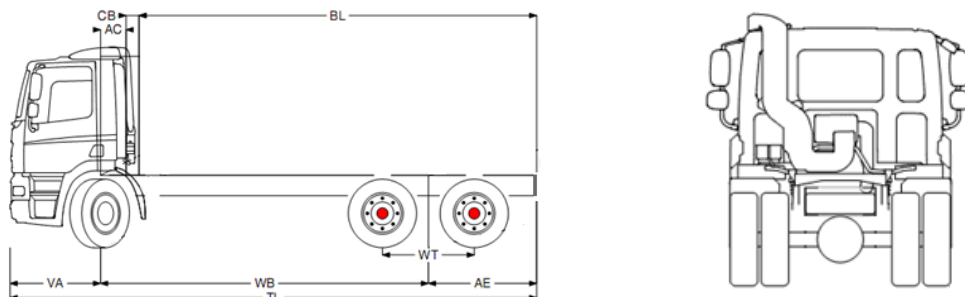


Figura 1. Principales dimensiones del camión DAF CF 75.310

Tabla 1. Principales dimensiones del camión DAF CF 75.310

<i>Dimensiones (m)</i>							
WB	AE	AC	CB	WT	BL	TL	VA
5,00	2,62	0,82	0,18	1,40	6,10	8,03	1,38

Tabla 2. Distribución de la masa, capacidad de carga y carga máxima, camión DAF CF 75.310

	<i>Masa del Chasis + Cabina (kg.)</i>	<i>Capacidad de Carga (kg.)</i>	<i>Carga Máxima (kg.) *</i>
Delante	4435	3065	7500
Detrás	4230	16770	21000
Total	8665	17335	26000

* Estos valores constituyen el límite superior de la carga (o restricción a chequear) en cada eje y total.

Algunas de las dimensiones necesarias de la cisterna para poder realizar los cálculos posteriores aparecen en la figura 2.

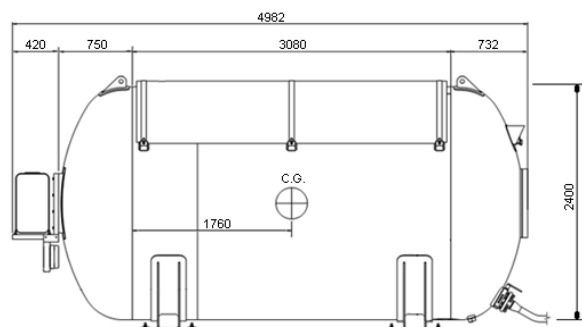


Figura 2. Principales dimensiones de la cisterna de GLP

En la documentación o pasaporte de la cisterna se pudo comprobar que la masa de la misma, completamente vacía, es de 4'250 kg.

Dicha cisterna tiene una capacidad de 14'000 litros. El factor de conversión que se emplea en Cuba para el GLP es de 1'854.99 Tn/lts, lo que significa que la masa del líquido es de $(14'000 \text{ lts.} / 1'854,99 \text{ Tn/lts.} = 7,547210497 \text{ Tn} = 7'547,210497 \text{ kg})$, para una masa total de 11' 797,2105 kg.

Se pudo comprobar en los documentos que pertenecen al Cajón del Sistema Especial de carga y descarga que la masa del mismo es de 1'650 kg. En los mismos, también aparecen las principales dimensiones del Cajón del Sistema Especial de carga y descarga de la cisterna.

2.2. Esquema detallado de Cargas del camión DAF CF 75.310 con cisterna y Cajón del Sistema Especial

A partir de los datos anteriores de cada uno de los componentes de este sistema (camión, cisterna y cajón) se pudo confeccionar un esquema detallado de cargas (figura 3) que tuviera en cuenta cada uno de estos componentes.

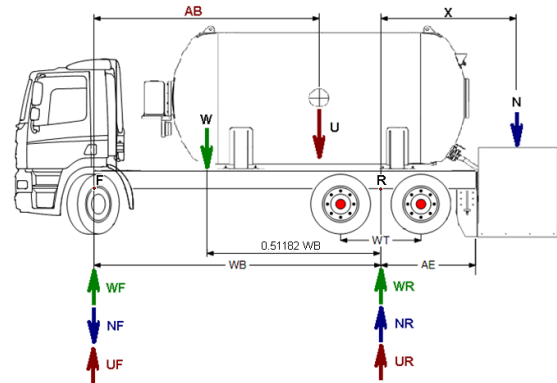


Figura 3. Esquema detallado de Cargas del camión DAF CF 75.310 con cisterna y Cajón del Sistema Especial

Son fuerzas conocidas, según catálogo (DAF Configuración, 2015):

W – masa del chasis + cabina $W=8'665$ kg., donde:

WF – es la reacción en las ruedas que soportan el eje delantero debido a la masa **W**: $WF=4'435$ kgf.

WR – reacción en las ruedas que soportan el eje trasero debido a la masa **W**: $WR=4'230$ kgf.

N – masa del Cajón del Sistema Especial $N= 1'650$ kg.

U – masa de la cisterna de GLP $U=11'797.2105$ kg.

Son conocidas las dimensiones $WB= 5.00$ m, $AE=2,620$ m, $WT= 1.40$ m y $X=AE+$ la mitad del ancho del cajón (0,5 m)

Las fuerzas desconocidas son **NF**, **NR**, **UF**, **UR** pero calcularlas de forma separada no tiene interés, ya que sólo se necesita la reacción resultante en cada eje para compararlas con los sus valores límites.

El objetivo final del cálculo es la obtención de la dimensión **AB**, es decir, la distancia desde el eje delantero hasta el centro de gravedad (C.G.) de la cisterna.

Planteando las ecuaciones de equilibrio, por ejemplo para **W**:

$$\Sigma M_F=0 \rightarrow W(0.48818WB)-WR(WB)=0 \quad \mathbf{WR}=\frac{W(0.48818*WB)}{(WB)}=8665(0.48818*5)/(5) = \underline{4230 \text{ kgf.}}$$

$$\Sigma F_Y=0 \rightarrow W-WF-WR = 0 \quad \mathbf{WF}=W-WR = 8665-4230 = \underline{4435 \text{ kgf.}}$$

Estos valores de **WR** y **WF** eran conocidos del catálogo. Al calcularlos se comprueba que la ubicación de **W** es correcta, es decir, a 2,4409 m de F y a 2,5591 m de R.

Así se pudiera repetir este proceso para cada una de las reacciones de forma independiente, pero no es de interés en este trabajo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Metodología para la determinación de la posición en que debe ser colocada la cisterna de Gas Licuado de Petróleo (GLP) sobre el camión DAF CF 75.310.

Para la obtención de esta metodología se emplearon conceptos como el de equilibrio estático, momento de una fuerza con respecto a un eje, el principio de la palanca, las sumatorias de fuerzas y de momentos (Beer et al., 2010).

Como se puede apreciar en el esquema de la figura 4 se determinarán sólo dos reacciones resultantes, una en **F** denominada **RF** y otra en **R** denominada **RR**.

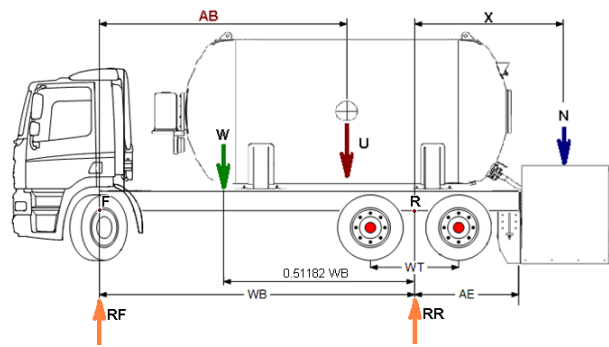


Figura 4. Esquema de Cargas del camión DAF CF 75.310 con las reacciones RF y RR

A continuación se expondrán cada uno de los pasos de la metodología para la determinación de la posición de la cisterna sobre el camión. Se ha expuesto tomando como base este tipo de camión y cisterna pero es aplicable a otros medios de transporte y carga. Esta metodología se expondrá detalladamente como si la problemática fuera a resolverse de forma manual o utilizando algún tabulador como MS-EXCEL.

1. Realizar Sumatoria de Momentos con respecto al punto **F** ubicado en el eje delantero:

$$\Sigma M_F = 0 + \curvearrowright \quad W (0,48818WB) + U (AB) + N (WB+X) - RR (WB) = 0$$

2. Localizar los datos necesarios.

Son conocidos: **W**=8'665 kg., **U**=11'797.2105 kg., **N**=1'650 kg., **WB**=5m

$$X = AE + \text{la mitad del largo del cajón} = 2,620 + 0,5 = 3,12\text{m}$$

3. Determinar el rango posible de colocación de la cisterna, medido desde el eje delantero hasta el centro de gravedad de la misma.

AB varía a partir de **3930** mm (si la cisterna estuviera a continuación de la cabina) hasta **5568** mm en que la parte trasera de la cisterna coincide con el final del chasis - figura 5.

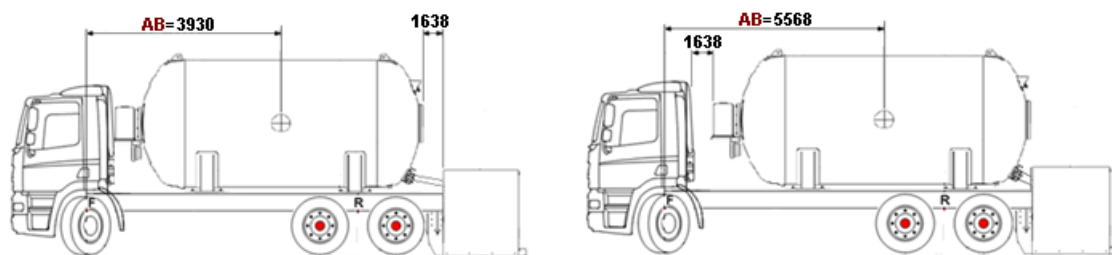


Figura 5. Distancias **AB**=3930 mm y **AB**=5568 mm

4. Despejar **RR** de la ecuación de momentos, dejándola en función de **AB**:

$$RR = \frac{W (0,48818WB) + U (AB) + N (WB+X)}{WB} = \frac{8665 \cdot (0,48818 \cdot 5) + 11797,2105 (AB) + 1650 (5+3,12)}{5}$$

$$RR = \frac{34548,3985 + 11797,2105(AB)}{5}$$

5. Haciendo variar **AB** en el rango posible de colocación de la cisterna (de 3.93 a 5.568 m), se obtienen las ecuaciones de regresión de las curvas de comportamiento de las reacciones RR y RF en los ejes del camión, lo cual se muestra en la figura 6.

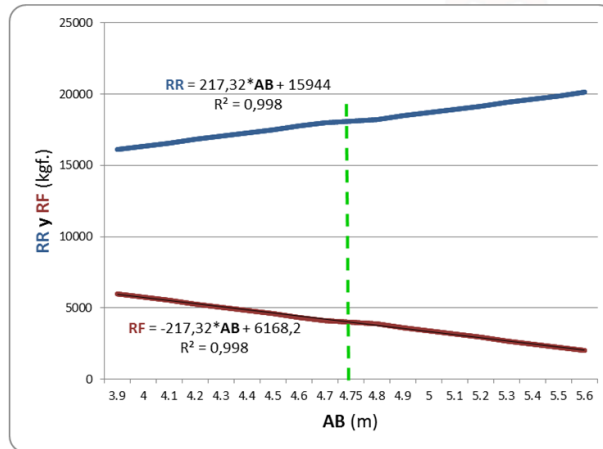


Figura 6. Comportamiento de las reacciones RF y RR y sus ecuaciones

6. Chequear los resultados obtenidos con el valor límite de **RR** en el eje trasero: **RR** varía desde 16'111,5kgf. hasta 20'122,5kgf. cambiando **AB** de 3,93 a 5,568 m, lo cual es menor que la capacidad de carga trasera (21'000kg) por lo que se cumple esa limitante o restricción en todo el intervalo de **AB**.

7. Obtener el valor de **RF** a partir de la masa total:

Al tener una masa total hacia abajo de

$(W+U+N=8'665+11'797.2105+1'650=22'112.105\text{kg})$ se puede obtener **RF** como:

$RF=22112.105-RR$ para cada **RR** y a su vez **AB**.

8. Chequear los resultados obtenidos con el valor límite de **RF** en el eje delantero:

RF varía desde 6'000,6Kgf. hasta 1'989,5kgf., valores inferiores a la capacidad de carga delantera (7'500kg) por lo que también se cumple esa condición en todo el intervalo.

9. Obtener el porcentaje de la carga total que constituyen las reacciones en cada eje:

$$\% - \mathbf{RR} = (\mathbf{RR} \cdot 100) / 22112,105$$

$$\% - \mathbf{RF} = (\mathbf{RF} \cdot 100) / 22112,105$$

10. Decidir en qué posición, del rango en que se cumplen las restricciones, colocar la cisterna:

Al cumplirse ambas restricciones se pueden seguir diversos criterios para elegir la posición exacta en que se debe colocar la cisterna.

Un criterio puede ser determinar la **media** de estos valores, en este caso, **AB**=4,75 m, **RR**=18'117 kgf. Y **RF**=3'995 kgf. El eje delantero soporta el **18,1%** de la carga total mientras que el trasero soporta el **81,9%**, resultados algo distantes de las recomendaciones de (Arias-Paz, 2008) que plantea en el Apéndice 2 de su libro referido a los Camiones, que los camiones de cabina corta como este, el eje delantero debe soportar el 30 % y el trasero el 70 %.

Otro criterio puede ser acercarse precisamente a esta recomendación de dicho autor. Para seguir este criterio es necesario definir la distancia entre la cisterna y la Cabina, pues en la medida que estos dos elementos se acercan se cumple mejor esta recomendación.

Como solución al problema que se analiza en esta investigación se recomienda que la cisterna quede ubicada a 4,75 m del eje delantero, siguiendo el primer criterio descrito anteriormente de la media de los valores posibles que cumplen las restricciones. Quedan entonces 820 mm entre la cabina y la cisterna que permiten la manipulación por un operario del sistema hidráulico ubicado en la parte delantera de la cisterna.

11. Elaboración del Esquema o plano para el montaje: figura 7.

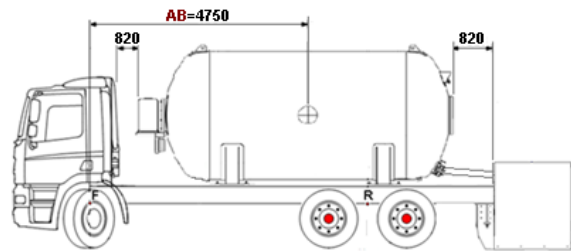


Figura 7. Esquema para el montaje de la cisterna sobre el camión

3.2. Implementación de la metodología en un software

La metodología expuesta anteriormente fue implementada en un software denominado “Calculo de Carga” (CalcCamion) que facilita el trabajo de los ingenieros, ofreciendo la posibilidad de valorar diferentes variantes así como seguridad en los cálculos que se realizan.

Por un lado permite determinar la posición exacta en que debe quedar el centro de gravedad de la carga con respecto al eje delantero (distancia **AB**) ofreciendo además el porcentaje de la carga total (**W+U+N**) que constituyen reacciones en cada eje. Por otro, permite realizar una distribución óptima de la carga a transportar.

El software chequea las limitantes o restricciones de carga que posee cada eje. Cuando estas restricciones no se cumplen dichos resultados se escriben en rojo. Así mismo sucede cuando la distancia entre la cabina y la cisterna es negativa, debido a que el valor de **AB** que se ha entrado es pequeño.

El procedimiento de trabajo es el siguiente: después de suministrar los Datos de Entrada de las distancias acotadas en el esquema del camión y la cisterna así como los componentes de las Masas a considerar (**W+U+N**), inmediatamente se obtienen los resultados.

4. CONCLUSIONES

La determinación de la mejor ubicación de la carga sobre el chasis, cumpliendo las restricciones de carga por eje, permite transportar la máxima carga útil con seguridad técnica y legal. También puede influir entre otros, en la duración de los elementos mecánicos que componen las transmisiones como árboles y rodamientos, en los elementos mecánicos de la dirección del vehículo y en la durabilidad de los cauchos.

Se elaboró una metodología de cálculo de la posición de las cargas sobre los camiones, la cual fue implementada en un software denominado “CalcCamion”, que permite analizar múltiples variantes con seguridad. El mismo se desarrolló para el cálculo del camión DAF CF75.310 y la cisterna de GLP pero puede ser ampliado a otros medios de transporte y tipos de cargas.

En el caso analizado se recomienda que la cisterna quede ubicada a 4.75 m del eje delantero, siguiendo el criterio de la media de los valores posibles que cumplen las restricciones, resultando RR=18'117 kgf. y RF=3'995 kgf. El eje delantero soportaría el 18,1% de la carga total mientras que el trasero soportaría el 81,9%, quedando 820 mm entre la cabina y la cisterna, lo cual permite la manipulación por un operario del sistema hidráulico ubicado en la parte delantera de la cisterna.

REFERENCIAS

- Arias-Paz Guitian, M., Manual de Automóviles., 2da Parte: El Chasis, Capítulo 4 Bastidor y Suspensión. 56ª Edición, Dossat CIE de Inversiones Editoriales S.L. Madrid, España, 2008, pp. 565-590, ISBN: 9788496437388.
- Beer, Ferdinand P., Johnston, Jr., E., Russell, Mazurek, David F., Eisenberg, Elliot R. Vector Mechanics for Engineers: Statics (SI Units)., McGraw Hill Higher Education, 9th Revised edition (October 2010), Capítulo 3, pp. 75. ISBN-10: 0071323961, ISBN-13: 978-0071323963.
- Collier, A., TruckView ADS., Classified Ads for 30 types of specialized Trucks., 12361 HWY 36, Bellville, Texas 77418-979-865-2992. Gordon Penny, Owner, [Consultado el: 24 Noviembre de 2014]. Disponible en:
http://www.truckview.com/weight_distribution.htm
- Council of Ministers & Deputy Ministers., Heavy Truck Weight and Dimension Limits for Interprovincial Operations in Canada., MOU SummaryInformation, December 2011, [Consultado el: 20 Diciembre de 2014]. Disponible en:
<http://www.comt.ca/english/programs/trucking/MOU%202014.pdf>
- DAF Brochure DAF CF., [Consultado el: 24 Enero de 2015]. Disponible en:
<http://www.daf.es/~media/files/daf%20trucks/trucks/euro%206/cf/brochure/daf-cf-euro-6-brochure-2013-es.pdf>
- DAF Cabinas CF, 2015., [Consultado: 24 Enero de 2015]. Disponible en:
<http://www.daf.es/~media/files/daf%20trucks/trucks/euro%206/cf/cabs/daf-cf-cab-euro-6-info-sheet-cab-64739-es.pdf>
- DAF Camiones, 2015., [Consultado: 24 Enero de 2015]. Disponible en:
<http://www.daf.es/~media/files/daf%20trucks/trucks/euro%206/construction/daf-construction-brochure-2014-es.pdf>
- DAF Configuración, 2015., [Consultado: 24 Enero de 2015]. Disponible en:
<http://www.daf.es/~media/files/daf%20trucks/trucks/euro%206/model%20range/axles-configurations/daf-model-overview-axle-configurations-es.pdf>
- DAF Especificaciones, 2015., [Consultado: 24 Enero de 2015]. Disponible en:
<http://www.daf.es/~media/files/daf%20trucks/trucks/euro%206/cf/cabs/daf-cf-cab-euro-6-info-sheet-cab-64739-es.pdf>

- Eagletyre Co., Información Técnica de Neumáticos - Llantas para Camiones fabricados en India, Indonesia, China., World Trade Center, piso 1- Área Comercial Calle 53 Marbella, Panamá, República de Panamá., [Consultado: 24 Enero de 2015]. Disponible en: <http://www.eagletyre.com/informes-tecnicos-de-neumaticos-llantas-para-camiones.htm>
- García-Pozuelo, Ramos, D., Reparto de Cargas., Laboratorio de Tecnologías IV (2007), Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III Madrid, España. [Consultado el: 24 Noviembre de 2014]. Disponible en: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/laboratorio-de-tecnologias-iv/material-didactico/repartodecargas.pdf/at_download/file
- ISUZU Truck., Weight Distribution Concepts Section., 2013, pp. 5.1-5.30, [Consultado el: 24 Noviembre de 2014]. Disponible en: http://www.isuzutruckservice.com/pdf/BodyBuilder/2013/13BBG_Sec05_Weight_Distribution_Concepts%20final%20020812.pdf
- LoadXpert. CIE-TECH Inc. 5990 Auteuil., Brossard (QC), Canadá, 2015, [Consultado: 24 Enero de 2015], Disponible en: <http://www.loadxpert.com/index.htm>
- NISSAN NP300., Normas de Carrocero para el Montaje de Carrocerías, Equipamientos y Transformaciones., Camiones. Edición: Diciembre – 2010. Consultado: Noviembre 24, 2014, Disponible en: <http://www.nissan.com.mx/content/np300/manual.pdf>
- SCANIA CV AB 2010, Sweden., Body Building Information, Información general sobre los cálculos de la carga sobre el eje, [Consultado el: 24 Noviembre de 2014], Disponible en: <https://pt.scribd.com/doc/149697806/Calculos-de-la-carga-sobre-el-eje>
- Toner, R. Calculating Commercial Vehicle Weight Distribution & Payload Made Easy, 2013., Work Truck Magazine Online., September 2011, Work Truck – Feature. [Consultado el: 24 Noviembre de 2014]. Disponible en: <http://www.worktruckonline.com/channel/safety-accident-management/article/story/2011/09/calculating-commercial-vehicle-weight-distribution-payload-made-easy/page/1.aspx>
- TransSolve., TruckScience Co., Number 487420, Ireland, 2013, [Consultado: 24 Enero de 2015], Disponible en: <http://www.truckscience.com/>
- Turochy, R.E., Timm, D.H., Tisdale, S. M., Truck equivalency factors, load spectra modeling and effects on pavement design., Final Report, Project 930-564, pp. 46, Auburn University, Alabama, October 2005. [Consultado: 24 Enero de 2015]. Disponible en: <http://www.eng.auburn.edu/files/centers/hrc/930-564.pdf>