

Relación de las densidades vehiculares y densidades de carga

by Felipe Duque Sarabia - lunes, enero 17, 2011

https://vinculando.org/transportes/relacion_de_las_densidades_vehiculares_y_densidades_de_ca.html

Título completo: La densidad de la carga como instrumento para el diseño de los vehículos que circulan con sobrepeso. Capítulo 4: Relación de las densidades vehiculares y densidades de carga

Índice de la investigación:

- [Resumen](#)
- [Introducción](#)
- **Capítulo 1:** [Importancia del autotransporte de carga en México](#)
- **Capítulo 2:** [Distribución de los flujos vehiculares](#)
- **Capítulo 3:** [Estadísticas del autotransporte federal de carga en México](#)
- **Capítulo 4:** Relación de las densidades vehiculares y densidades de carga
- **Capítulo 5:** [Diseño vehicular](#)
- [Conclusiones y bibliografía](#)

En este capítulo se explora la influencia de las densidades de la carga movida en el peso vehicular, y la incidencia del sobrepeso en los cuatro tipos de fuerzas de los vehículos de carga en movimiento.

Las altas densidades de carga en el autotransporte federal dificultan la realización de movimientos de adaptación para mantener el balance del vehículo en marcha y también se reducen las posibilidades de termorregulación a altas temperaturas ambientales, lo que conlleva a la presencia de mermas en las mercancías, traducido en altos costos de transporte.

La densidad de carga (t/m^3) se calcula, con base al peso total de la mercancía y la superficie que ocupa en un metro cúbico, y la densidad vehicular se calcula de acuerdo al peso total de la mercancía y la superficie total disponible en las configuraciones vehiculares; para el caso particular del presente documento, se analizan las configuraciones vehiculares; tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes (T3-S3) y tractocamión de tres ejes, semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes (T3-S2-R4); los datos estadísticos reflejan un sobrepeso repetitivo en estas configuraciones vehiculares por más de 17 años, esto puede deberse a razones económicas, es decir, los vehículos más grandes casi siempre se utilizan con la carga completa, utilizando la mayor parte de la superficie total vehicular disponible, dejando de lado el peso reglamentado y el exceso en consumo de combustible; debe entenderse que el sobrepeso, no siempre se refleja en menores costos de transporte, ya que, al vehículo se le ocasionan averías y por ende, continuos programas de mantenimiento preventivo y muchos más gastos en mantenimientos correctivos; por otro lado, el sobrepeso disminuye la potencia del motor, de igual forma, disminuye el rendimiento total en combustibles, ya que, las configuraciones vehiculares en estudio (T3-S3 y T3-S2-R4) son utilizados en su mayoría para el transporte de cargas que implican el recorrido de grandes distancias.

La densidad de la carga está directamente relacionada con el exceso de peso en las configuraciones vehiculares descritas anteriormente.

Para mostrar claramente las características volumétricas de las configuraciones vehiculares en estudio y sus respectivos pesos, se ilustra la tabla 4.1; y la tabla 4.2 es un listado de las densidades de diferentes tipos de cargas sólidas y líquidas.

Configuración	Volumen (m ³)	Peso del vehículo vacío (t)	Carga útil (t)	Vehículo cargado sin exceso (t)	Peso Bruto Vehicular (PBV) máximo reglamentado (t)	Densidad Vehicular promedio (t/m ³)
T3-S3	66.20	19.40	35.10	54.50	48.50	0.530
T3-S2-R4	132.40	29.40	48.00	77.40	66.50	0.363

Tabla 4.1. Volumen, cargas, pesos y densidades de las configuraciones vehiculares T3-S3 y T3-S2-R4

Fuente: Elaboración propia con base en, Normatividad en materia de peso y dimensiones para el autotransporte de carga CANACAR y (Arroyo y Aguerrebere, 2002).

Las densidades promedio se calculan dividiendo la carga que el vehículo puede mover (carga útil) sin incurrir en sobrepeso, entre su capacidad volumétrica, esta es la densidad crítica de un embarque que llena el espacio total de la configuración vehicular sin tomar en cuenta detalles de estiba o embalaje. En los embarques de carga a granel que llenen el volumen disponible en el camión y que sus densidades sean mayores a la densidad crítica del vehículo, se experimentará sobrepeso; para el caso de cargas con embalaje, el volumen en el empaque reduce el tonelaje total del embarque, por ende, su densidad disminuye y es menos probable que la configuración vehicular experimente sobrepeso.

Densidades de cargas solidas y liquidas			
Sólidos	Densidad (t/m ³)	Líquidos	Densidad (t/m ³)
Mercurio	13.55	Ácido cítrico	1.66
Azufre	2.00	Cloro	1.56
Sal fina	1.20	Agua	1.00
Maíz	0.76	Alcohol Etílico	0.79
Café	0.56	Oxigeno	0.19
Carbón	0.21	Éter	0.07

Tabla 4.2. Densidades de cargas sólidas y líquidas

Fuente: Elaboración propia con base a la Publicación Técnica No. 250, IMT

Generalmente la variación de la densidad de los sólidos se encuentra entre 0.21 a 10 toneladas por metro cúbico (t/m³); sin embargo existen densidades mayores, como es el caso del mercurio con una densidad de 13.55 t/m³; en cuanto a la densidad de la carga líquida, se puede ver una marcada diferencia a la densidad de la carga de productos sólidos.

Mostrando la relación de las densidades vehiculares conforme a las de la carga, y haciendo un ejemplo de la relación de las mismas; se tiene, para el caso particular de la configuración vehicular T3-S3, una densidad vehicular de 0.530 t/m³, y un volumen total de 66.20 m³; por ejemplo, si esta configuración vehicular, transporta un embarque de maíz (densidad de 0.76 t/m³) y dicho embarque utiliza el total del volumen vehicular (66.20 m³); se tiene un factor de carga de 1.43, lo que significa que el vehículo incurre en un exceso de peso del orden de 43%, este porcentaje expresado en toneladas, significa que el vehículo T3-S3 da un peso total de 50.30 toneladas; lo cual, representa un exceso de 15.20 toneladas, en comparación con la carga útil de esta configuración vehicular. Cambiando la variable carga y utilizando la misma configuración vehicular; por ejemplo, un embarque de carbón, con una densidad de carga de 0.21 t/m³ y que utiliza el total del volumen vehicular, tendrá un factor de carga de 0.40, con un peso total de 13.90 toneladas, por lo que probablemente, este embarque necesitaría un volumen vehicular mucho mayor para transportar la carga útil (35.10 toneladas), rebasando las dimensiones establecidas por las normas oficiales mexicanas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

A medida que la densidad cúbica aumenta, el factor de carga también aumenta en las dos configuraciones vehiculares en estudio.

Existen diversos factores de carga como diferentes tipos de mercancías; resulta difícil encontrar factores de carga de niveles permitidos (menores o igual a 1), las configuraciones vehiculares que mueven carga de altas densidades (arena, sal, hierro, etc.), y que respetan las normas de pesos establecidos, indican que su cargamento no utiliza el volumen total disponible, de modo que el diseño de vehículos para el transporte de estas mercancías, puede ser recomendable, mejorando así la dinámica del automóvil y la resistencia al movimiento, además de aumentar el rendimiento del combustible.

Para tomar en cuenta el rediseño del volumen disponible en las configuraciones vehiculares se debe considerar, el tipo de mercancía que se transporta por cada una de ellas (ver tabla 4.3).

Los embarques con productos de bajas densidades son los que tienen menos problemas en cuanto a excesos de carga; el problema, disminuye aun más, cuando el vehículo transita por rutas con pendientes prolongadas y con altos grados de curvatura, ya que, estos tipos de terreno, no dan oportunidad a incurrir en sobrepesos, por las altas potencias que necesita el motor para transitar por dichos caminos, y las rutas de transporte que son en su mayoría terrenos planos, dan oportunidad, de violar las normas oficiales en cuanto a pesos se refiere; ya que, los materiales con densidades altas, ocupan muy poco espacio, por lo que se pueden sobrecargar sin temor alguno; esto quiere decir, que los embarques de materiales pesados (arena, aceros, etc.), que utilizan el total del volumen disponible del vehículo, incurrir seguramente en excesos de carga, y los embarques con densidades bajas (cereales, carbón, corcho, etc.), que ocupan el volumen total del vehículo, seguramente no experimentan ningún problema de sobrepeso, de igual forma los vehículos que transportan cargas con densidades altas pero que no violan las normas oficiales en cuanto a pesos (no incurrir en sobrepeso) no ocupan la totalidad del volumen vehicular; de allí, la necesidad del diseño de vehículos para tipos de cargas específicas. Un ejemplo claro de lo descrito anteriormente, es que las cargas de baja densidad necesitan un volumen mucho mayor para transportar el peso permitido según la configuración vehicular utilizada para el traslado.

De acuerdo al tipo de mercancías movidas por las configuraciones vehiculares se tienen las siguientes.

Toneladas promedio transportadas			
Tipo de mercancía	<i>Configuración vehicular</i>		<i>Total</i>
	T3-S3	T3-S2-R4	
Forestales	3,130	411	3,541
Agrícolas	27,913	3,655	3,1568
Animales y sus derivados	3,653	379	4,032
Mínerales	3,618	29	3,647
Petróleo y sus derivados	16,905	9,123	26,028
Inorgánicos	15,406	2,176	17,582
Industriales	114,454	27,332	141,786
Varios	21,212	4,266	25,478
Total	206,291	47,371	253,662

Tabla 4.3. Toneladas promedio movidas en 2006.

Fuente: Elaboración propia con base a la Publicación Técnica No. 250, IMT

Los estudios del Instituto Mexicano del Transporte indican que la configuración vehicular T3-S3 tiene mayor participación en el movimiento de mercancías, así mismo, las mercancías que representaron la mayor parte de los traslados, en las configuraciones vehiculares estudiadas, son los productos Industriales, agrícolas y el petróleo con

sus derivados.

El documento técnico No. 40 llamado "Estudio estadístico de campo del autotransporte federal 2007" muestra que las mercancías que representan la mayor parte de los movimientos de transporte son en primer lugar, la fundición de hierro y acero, seguido de la sal, el azufre, las tierras, piedras, yesos, cales y cementos y por último los combustibles minerales, aceites minerales, y productos de su destilación, materias bituminosas y ceras minerales; lo que sugiere un estudio detallado del tipo de empaque utilizado para su traslado y las densidades totales de dichas cargas.

Considerando la incidencia del peso en el sistema motriz de las configuraciones vehiculares, se tiene que la reducción de la velocidad, es la causa del continuo exceso de carga de los camiones; sin embargo, la reducción de la velocidad no siempre es recomendable para el manejo de los productos que están regidos por el factor "justo a tiempo", ya que, es muy difícil llegar a contar con el justo a tiempo, al mismo tiempo que se sobrecargan los camiones, luego entonces, las partes interesadas en dicho concepto difícilmente practicarán el hábito de sobrecargar.

4.1. Estiba de mercancías

La estiba de las mercancías debe realizarse siempre y cuando se conozcan los principios básicos que la rigen y las herramientas necesarias para poder llevarla a cabo sin perder de vista las características de la carga manipulada. Una buena estiba, implica un buen manejo del material y por ende, una disminución considerable de las mermas en la carga.

El tipo de mercancía que necesariamente depende de la estiba, son las cargas sólidas a granel y las mercancías envasadas; la forma de la estiba varía de acuerdo al tipo de carga, las características de la carga, la configuración del embarque (distribución de los espacios), los equipos empleados, y las condiciones propias de la vialidad (rugosidad, nivel de servicio, pendientes, etc.).

La existencia del autotransporte federal, justifica la importancia de la estiba, pues sin ella, no se podría llevar a cabo el transporte, debido a los muchos problemas que se presentarían al momento de la manipulación de la carga, dichos problemas difícilmente tendrían solución al momento de transportarlas, ya que, la carga no es monitoreada dentro del transporte, sino, solo al momento de embarcarla y al momento de recibirla.

El diseño de carros de arrastre (remolque y semirremolque), la mesurada atención de las características de la carga y las condiciones de transportación, así como los tiempos de viajes y los orígenes y los destinos de las mercancías, dan como resultado un óptimo desempeño del sistema de transporte de carga. Una configuración vehicular con grandes dimensiones (T3-S2-R4) implica un viaje mayor y un peso bruto vehicular máximo, por lo que se deben tomar las medidas necesarias al momento de utilizar estos camiones, sin perder detalle en el reglamento de pesos y dimensiones para el autotransporte de carga.

Las dimensiones de los carros de arrastre deben contar con características acorde con el tipo de mercancías a transportar y a las restricciones generales de las normas y reglamentos conforme a pesos, capacidades y dimensiones vehiculares impuestas por las autoridades regulatorias del autotransporte federal de carga; así mismo, debe tomarse en cuenta la variación del volumen y densidad de la carga conforme a los tipos de estiba más convenientes para su traslado.

4.2. Fuerzas vehiculares en movimiento

Existen diferentes fuerzas inmersas en los cuerpos en movimiento y existen otras más que se oponen a dicho

movimiento. Al momento de transportar la carga, se utilizan diversidad de rutas críticas, diferentes estados de las vialidades, y también existen diversos tipos de carga en movimiento, lo que significa que se debe contar con un vehículo que venza todas las fuerzas inmersas en el movimiento de la carga.

Independientemente del tonelaje de la configuración vehicular, en el transporte de carga se consideran principalmente cuatro fuerzas a vencer por el vehículo.

- Fuerza aerodinámica
- Fuerza por pendiente
- Fuerza de resistencia al rodamiento
- Fuerza de inercia

Fuerza aerodinámica

La fuerza aerodinámica es la oposición del aire al movimiento del vehículo de carga, sin importar el tonelaje siempre existirá dicha fuerza, la cual debe ser vencida para lograr el movimiento, la fuerza aerodinámica tiene dirección horizontal y sentido contrario al movimiento, a esta, también se le conoce como fuerza de arrastre, cuyo valor es proporcional a la velocidad y a la superficie frontal del vehículo, lo que significa que a mayor velocidad, mayor será la fuerza de oposición al movimiento del vehículo.

Formula de fuerza aerodinámica.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.1)}$$

Donde:

F_a = Fuerza aerodinámica (Newtons)

C_a = Coeficiente aerodinámico de arrastre

R_0 = Densidad del aire (aproximadamente 1.2 Kg/m³ a una temperatura de 20°C y a una presión atmosférica de 1.016 bar)

S = área frontal del vehículo

V = Velocidad del vehículo

En cuanto a las configuraciones vehiculares en estudio (T3-S3 y T3-S2-R4), se ha visto que tienen un alto porcentaje de participación en los viajes que se realizan en su mayoría en carreteras y autopistas, lo que significa, que estos vehículos experimentan fuerzas aerodinámicas muy altas debido a la velocidad que desarrollan, por ello, al momento de diseñar los remolques y semirremolques del tipo caja seca de las configuraciones vehiculares en estudio, es importante tomar en consideración las variables que son susceptibles de controlar como la parte frontal del vehículo con un perfil aerodinámico, teniendo en cuenta también el coeficiente de arrastre del vehículo de carga.

En la siguiente tabla se muestran algunos coeficientes de arrastre., los cuales varían conforme a la dimensión y el peso del vehículo.

Vehículo	Coeficiente de arrastre
Madrinas, jaulas y bultos	0.95

Remolque doble, triple y plataformas	0.85
Vehículo normal	0.76
Vehículos con pocos aditamentos para desviar el aire	0.68
Vehículos con todos los aditamentos para desviar el aire	0.61

Tabla 4.4 Coeficientes de arrastre de diferentes vehículos.

Fuente: Con base en método para seleccionar el tren motriz de vehículos de transporte pesado con uso optimo de combustible, Rafael Morales M; Lozano Guzmán A; Cervantes de Gortari J y López Cajún C. Octubre de 2007.

La tabla 4.5 muestra las variables a considerar para evaluar la fuerza aerodinámica de los camiones articulados y doblemente articulados.

Tipo de Vehículo/VARIABLES numéricas	Camión Articulado (T3-S3)	Camión Doblemente Articulado (T3-S2-R4)
Área frontal (m ²)	9.136	9.136
Coefficiente aerodinámico de arrastre	0.630	0.630
Peso del vehículo vacío (t)	19.40	29.40
Carga útil (t)	35.1	48.0

Tabla 4.5 Variables para determinar la fuerza aerodinámica de los vehículos.

Fuente: Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano, José Antonio Arroyo Osorno, Roberto Aguerrebere Salido, Guillermo Torres Vargas, Publicación Técnica No. 316, IMT, Sanfandila, Qro. 2008.

Como lo indica la tabla anterior, tanto el área frontal como el coeficiente aerodinámico de arrastre no varía de un camión articulado a un camión doblemente articulado, lo que significa que para la fuerza aerodinámica, el peso vehicular no es representativo, sin embargo, la velocidad si representa gran valor para esta fuerza, y para que el vehículo desarrolle una velocidad considerable no debe exceder su carga útil.

La fuerza aerodinámica se minimiza cuando se utilizan aditamentos aerodinámicos y cuando el peso y dimensiones del vehículo de transporte son menores, estos elementos son motivos para poner especial atención al momento de transportar la carga en vehículos configurados conforme a la densidad de la carga y las normas establecidas de pesos y dimensiones de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

La siguiente figura (4.1) muestra gráficamente la fuerza aerodinámica de cierto vehículo en movimiento.

Figura 4.1. Representación de la fuerza aerodinámica

Fuente: Elaboración propia

Fuerza por pendiente

La resistencia por pendiente es la oposición que se ejerce sobre el vehículo por efecto de la atracción gravitacional que ejerce la tierra hacia cualquier cuerpo. Nada se puede hacer para vencerla; la siguiente figura muestra gráficamente la fuerza que debe vencer el vehículo de carga, transitando por una determinada pendiente.

Figura 4.2. Representación de la fuerza por pendiente

Fuente: Elaboración propia

La fórmula para calcular la fuerza por pendiente es la siguiente.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.2)}$$

Donde:

F_p = Fuerza por pendiente (N)

W = peso del vehículo (Kg); peso del vehículo es la masa total vehicular multiplicado por la fuerza de gravedad (9.81 m/s²)

= Ángulo entre la pendiente y el plano horizontal (si el ángulo de la pendiente es cero, entonces, la fuerza por pendiente tendrá el mismo valor)

Fuerza de resistencia al rodamiento

Esta fuerza, es la fricción que ejercen las llantas del vehículo sobre la carretera; las llantas al rodar sobre el pavimento, producen un efecto llamado fricción, este a su vez, produce la resistencia al rodamiento, esta fuerza depende directamente del peso total de la configuración vehicular y de la presión de inflado de las llantas así como su coeficiente de deformación. Lo anterior es el resultado del uso de las llantas radiales, ya que, reparte uniformemente la presión del inflado de los neumáticos y por lo tanto minimiza la fuerza de rodamiento; dicha fuerza se calcula mediante la siguiente formula.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.3)}$$

F_r = Fuerza de rodamiento (N)

K = Coeficiente de resistencia al rodamiento (Kg_f/Kg)

W = Peso vehicular (kg); el peso del vehículo es la masa total vehicular multiplicado por la fuerza de gravedad (9.81 m/s²)

= Ángulo entre la pendiente y el plano horizontal

Esta fuerza se describe gráficamente en la figura 4.3.

Figura 4.3. Representación de la fuerza de resistencia al rodamiento y fuerza por pendiente

Fuente: Elaboración propia

Fuerza de inercia

La fuerza de inercia es la resistencia de un cuerpo a moverse debido a su masa, esta resistencia se debe a un fenómeno físico conocido como la inercia de los cuerpos en rotación; esta se presenta en diferentes partes del sistema cinemático (disco de embrague, árbol de transmisión, etc.). La fuerza de inercia se determina mediante la siguiente expresión.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.4)}$$

Donde:

F_i = Fuerza de inercia (N)

m = masa del vehículo (kg)

a = aceleración del vehículo (m/s^2)

r_t = relación de paso de la transmisión

La sumatoria de todas estas fuerzas da como resultado una fuerza total que al multiplicarla por la velocidad promedio de la configuración vehicular da como resultado la potencia que el motor requiere para permitir el avance del vehículo; las expresiones quedan de la siguiente manera:

.....ecu. (4.5)

.....ecu. (4.6)

Donde:

F_T = Fuerza total resultante (N)

P = Potencia requerida del motor (HP)

V = Velocidad promedio (m/s)

En cuanto al desempeño del vehículo, existen diferentes elementos en los cuales el peso bruto vehicular (PBV) incide de manera directa, tales como: la capacidad de arranque del vehículo, la capacidad de ascenso del vehículo, la potencia para vencer la resistencia al rodamiento y la potencia para vencer la resistencia de inercia.

La pendiente máxima en la que el vehículo puede iniciar la marcha, se expresa en porcentajes mediante la siguiente ecuación:

.....ecu. (4.7)

Donde:

C_a = Capacidad de arrastre en pendiente

T_m = Torque máximo del motor

P_d = Paso del diferencial

P_{t_1} = Paso de la transmisión en la primera velocidad

R_v = Revoluciones de la llanta

PBV= Peso Bruto Vehicular

La habilidad de ascenso del vehículo es la medida del compromiso entre una pendiente específica y el Peso Bruto

Vehicular, y se calcula de la siguiente manera.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.8)}$$

Donde:

G= Habilidad de ascenso en pendiente

Pr= Potencia de reserva

PBV= Peso Bruto Vehicular

Va= Velocidad aparente

Pr, es igual a:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.9)}$$

P= Potencia del motor

Prr= Potencia para vencer la resistencia al rodamiento

Pra= Potencia para vencer la resistencia aerodinámica

Pri= Potencia para vencer la resistencia de inercia

La potencia para vencer la resistencia al rodamiento (Prr) y la potencia para vencer la resistencia de inercia (Pri), son potencias que varían de acuerdo al Peso bruto vehicular en movimiento, mientras que la potencia para vencer la resistencia aerodinámica (Pra) varia conforme a las dimensiones vehiculares de los remolques (altura y ancho vehicular).

En seguida se describen las variables de los parámetros antes mencionados.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.10)}$$

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.11)}$$

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (4.12)}$$

Donde:

Va= Velocidad aparente

PBV= Peso bruto Vehicular

fa= Factor de altitud

h= altura del vehículo

w= ancho del vehículo

nB, nM= Coeficientes de ajuste para la potencia

.....ecu. (4.13)

.....ecu. (4.14)

Donde:

D= Diámetro de la llanta

r.p.m= Régimen del motor en potencia máxima

Tomando en consideración el estudio de la densidad de la carga y haciendo cumplir las normas y reglamentos en cuanto a pesos y dimensiones se refiere, la potencia requerida para que el motor ponga en marcha la unidad de carga será menor y también los programas de mantenimiento preventivo serán más acertados en cuanto al desgaste real del vehículo, aumentando así, la eficiencia de la operación del transporte de carga.

Nota:

Acerca del autor: Ing. en Transporte del Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ingeniería de la Universidad Nacional autónoma de México, especialidad Sistemas de Transporte.