

Diseño vehicular

Autor: Felipe Duque Sarabia - 17-01-2011

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

Título completo: La densidad de la carga como instrumento para el diseño de los vehículos que circulan con sobrepeso. Capítulo 5: Diseño Vehicular

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](#)

De acuerdo a los ejemplos antes mostrados y a los tipos de mercancías que se trasladan y debido a que la presente investigación se centra en la relación del sobrepeso y las densidades de la carga que se transporta en las configuraciones vehiculares del tipo caja seca (remolques y semirremolques), solo se trabajará con carga sólida y la carga líquida se deja para posteriores investigaciones; las cargas que se utilizan como ejemplo en este capítulo para mostrar los efectos en el peso al momento de rediseñar las configuraciones vehiculares en estudio, son: el azufre, la sal fina, el maíz y el café, estas cargas son transportadas en costales de 50 kilogramos, ya que, por sus características físicas y necesidades de entrega (del centro de distribución a los consumidores finales) requieren un envasado que maximice las operaciones de su manejo.

5.1. Factor de carga

Un factor de carga es la relación que existe entre la densidad de la mercancía a transportar y la densidad crítica de la configuración vehicular utilizada para el traslado de la mercancía, esto significa que las mercancías que cuentan con densidades iguales a las densidades críticas del vehículo que las transporta y a su vez utilizan todo el volumen disponible de la unidad serán trasladadas sin incurrir en sobrepeso. A medida que se cambia la capacidad volumétrica de los remolques y semirremolques, también se modifican las densidades críticas de las configuraciones vehiculares; el semirremolque de tres ejes (S3) cuenta con un volumen total de 66.20 m^3 y una densidad crítica de 0.530 t/m^3 , y la configuración semirremolque de dos ejes con remolque de cuatro ejes (S2-R4), tiene un volumen total de 132.40 m^3 y una densidad crítica de 0.363 t/m^3 .

Para que un semirremolque de tres ejes no incurra en sobrepeso al momento de utilizar el volumen total disponible, debe transportar mercancías con densidades menores o iguales a su densidad crítica (0.530 t/m^3); de igual forma para la configuración del semirremolque con remolque (S2-R4), el cual debe transportar carga con densidades menores o iguales a 0.363 t/m^3 , al momento de utilizar todo el volumen disponible de las cajas.

Muy pocos tipos de carga tienen densidades menores y las densidades de la mercancía en estudio varían de 0.56 t/m^3 a 2.0 t/m^3 , lo que implica, factores de carga mayores a la unidad, es decir, un exceso de carga se presenta al utilizar todo el volumen disponible en las configuraciones vehiculares antes mencionadas, lo que sugiere un rediseño de los remolques y semirremolques en estudio; el diseño de estos vehículos de arrastre puede llevarse a cabo por cortes en la caja en tres diferentes posiciones, los cuales serán mencionados en el punto 5.3.

5.2. Estabilidad vehicular

El nivel de estabilidad de los vehículos, depende de las características de diseño y operación de los mismos; El diseño de las cajas de los remolques y semirremolques implica también el estudio de los tres diferentes tipos de corte antes mencionados, estos cortes tienen relación directa con las fuerzas inmersas en el movimiento vehicular (fuerza aerodinámica, fuerza por pendiente, fuerza de resistencia al rodamiento y fuerza de inercia) y con tres desplazamientos lineales en vehículos pesados: x , y , y z ; estos desplazamientos (oscilaciones) pueden ser claramente representados sobre el plano vertical longitudinal, sobre el plano transversal y sobre el plano horizontal; las oscilaciones de los cuerpos vehiculares están asociadas a la estabilidad de la carga, y por ende, con la seguridad vial; entre las tres posibles oscilaciones de los vehículos de carga, la oscilación lateral es la más importantes, ya que, está relacionada con diversos accidentes, particularmente del tipo volcadura; las posibles oscilaciones de las masas se muestran gráficamente en la figura 5.1; estas oscilaciones se diferencian al presentarse de un camión no articulado a un camión articulado (T3-S3) y la diferencia se incrementa aun mas, cuando se trata de un camión doblemente articulado (T3-S2-R4); sin embargo, estas oscilaciones siempre se presentan independientemente del tipo de configuración vehicular y del tipo de carga que se transporta.

Figura 5. 1. Diferentes tipos de oscilaciones de un tractocamión semirremolque (T3-S3)

Fuente: Con base a publicación Técnica No. 220, Instituto Mexicano del Transporte.

La figura anterior muestra las diferentes oscilaciones que se presentan específicamente en el semirremolque, sin embargo, en los vehículos articulados las oscilaciones se presentan en cada uno de los cuerpos que componen la configuración vehicular; para la configuración T3-S3, existen tres oscilaciones en el tractor (T) y tres oscilaciones en el semirremolque (S); en cuanto a los vehículos doblemente articulados, las oscilaciones se presentan en los tres cuerpos de la configuración (tractocamión-semirremolque-remolque), la figura 5.2 muestra las tres oscilaciones que se presentan en cada cuerpo de la configuración T3-S2-R4.

Figura 5. 2. Tipos de oscilaciones en la configuración vehicular T3-S2-R4

Fuente: Con base a publicación Técnica No. 220. Del IMT,

Es importante mencionar que las oscilaciones antes descritas estarán presentes independientemente del número de ejes con que cuente el tractor, el semirremolque o el remolque; el número de neumáticos si repercute de manera directa a la estabilidad de los vehículos pesados, las figuras 5.3 y 5.4 muestran gráficamente la influencia que tiene la cantidad de neumáticos, específicamente en la estabilidad lateral de los vehículos pesados.

Figura 5. 3. Oscilación lateral y tendencia a la volcadura de un vehículo pesado

Fuente: Elaboración propia

Figura. 5. 4. Incremento del apoyo neumático de un vehículo pesado

Fuente: Elaboración propia

La figura 5.4, muestra la oscilación lateral de un vehículo pesado considerando los anchos que integran las bases de los neumáticos como un factor clave en la disminución de volcaduras de vehículos con exceso de peso y en la disminución del daño al camino.

Se sabe que las perturbaciones provocadas por las llantas a las oscilaciones de la caja del remolque o semirremolque se deben a fallas del balance o falta de concentricidad y uniformidad del sistema que integra la

suspensión de los ejes con las llantas, un desbalance en las ruedas influirá directamente a las oscilaciones laterales del carro de arrastre; la frecuencia de excitación como resultado del desbalance de las ruedas depende de la velocidad del vehículo y del diámetro de la rueda, esta frecuencia está dada por la ecuación número 5.1.

.....ecu. (5.1)

Donde:

V= velocidad del vehículo

r= radio del neumático

Al presentarse las perturbaciones en los elementos de la suspensión del vehículo de arrastre, a cada extremo de cada eje se presenta entonces una perturbación síncrona la cual puede ser disminuida al momento de integrar un juego más de llantas o dos juegos en cada eje del remolque o semirremolque. La figura 5.5 muestra las fuerzas centrífugas de los puntos pesados en los extremos de los ejes, cuyo valor varía de acuerdo al número de neumáticos con los que cuenta el eje.

Figura 5. 5. Fuerzas centrífugas por efecto de las perturbaciones en los extremos de un eje

Fuente: Elaboración propia

El número de llantas, además de repartir las cargas en un punto mayor, ayuda a disminuir las fuerzas centrífugas y con ello disminuye la frecuencia de excitación (f_{dr}) provocada por el desbalance de los neumáticos. La figura 5. 6 ilustra el efecto del número de llantas en el eje a la fuerza de excitación de un vehículo que se mueve a cierta velocidad utilizando un determinado diámetro de la rueda.

Figura 5. 6. El efecto de contar con más llantas en los ejes vehiculares

Fuente: Elaboración propia

Las configuraciones vehiculares que utilizan menos de dos llantas en los extremos de sus ejes experimentan una frecuencia de excitación mayor comparada con la frecuencia de excitación de los ejes vehiculares que tienen más de dos llantas en sus extremos.

La frecuencia de excitación varía desde un mínimo de 4.4 Hz, incrementándose a medida que se incrementa la velocidad; el numero de llantas repercute y modifica de manera significativa la formula antes descrita, ya que, cuando ocurre un desbalance en un neumático, la excitación que repercute a la oscilación lateral por este neumático puede ser disminuida por el otro que integra el extremo del eje; así, cuando son utilizados dos neumáticos en cada extremo del eje, y solo un neumático de un extremo se encuentra desbalanceado, la fuerza (frecuencia) de excitación será la mitad de la fuerza que se experimenta cuando se tienen los cuatro neumáticos con fallas de balance, es decir, la frecuencia de excitación es disminuida por el neumático que no tiene problemas de balance (ver figura 5.6).

Para la Figura 5.6, la frecuencia de excitación varía de acuerdo al número de ruedas con fallas de balance en cada extremo del eje vehicular, para este caso la fuerza de excitación está dada por dos fuerzas centrífugas en un extremo del eje, entre las dos fuerzas en el otro extremo del eje.

La figura 5.7 muestra las fallas de balance en tres neumáticos, cuyo eje completo cuenta con cuatro llantas, en este caso, la frecuencia de excitación varia un medio (1/2) de acuerdo a la frecuencia de excitación existente en un eje

con los cuatro neumáticos con fallas de balance (ver figura 5.6).

Figura 5. 7. Fallas de estabilidad en tres de las cuatro ruedas de un eje vehicular

Fuente: Elaboración propia

Las fallas neumáticas pueden presentarse en la totalidad de las llantas con que cuenta el eje, o solo en algunas de ellas, lo que indica una variación en la frecuencia de excitación y que es experimentada por el sistema de suspensión del vehículo; la figura 5.8 muestra la falla del balance en la rueda interior del extremo del eje vehicular.

Figura 5. 8. Fallas de estabilidad en tres de las cuatro ruedas de un eje vehicular (caso 2)

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el análisis anterior, la formula de la frecuencia de excitación (f_{dr}) por neumáticos es directamente proporcional al número de llantas con fallas de balance entre el menor número de neumáticos que existen en el extremo del eje vehicular; matemáticamente la formula se expresa como se describe a continuación.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.2)}$$

Donde;

N_b = Número de neumáticos con fallas de balance

N_e = Número de neumáticos en el extremo del eje

La posición del neumático con fallas de balance puede estar en la parte externa o interna del eje, sin embargo, la posición no repercute en el resultado de la frecuencia de excitación antes mostrada.

Nótese que la participación del número de llantas en el eje repercute notoriamente en el valor de la frecuencia de excitación; dicho valor se eleva aun más cuando se pincha alguna llanta, ya que la razón del cociente aumenta a números enteros, por ejemplo, cuando se tiene un eje con dos llantas en cada extremo, las cuales tiene fallas de balance, y en cierto tiempo se pincha una de sus ruedas, entonces se tiene un total de tres ruedas, por lo tanto, la razón de la participación del número de llantas a la frecuencia de excitación será de dos a uno (2/1), es decir, se duplica la frecuencia de excitación por la pinchadura de una llanta (en el eje de cuatro ruedas) al viajar a cierta velocidad y con cierto diámetro de rueda.; un factor que también influye en la frecuencia de excitación del sistema de suspensión y a la oscilación lateral de los vehículos es la rugosidad del pavimento por donde transitan los vehículos, la rugosidad se presenta en cualquier tipo de carpeta de rodamiento y pueden ser bajo, medio o alto, su valor depende de la simetría de las pistas de rodadura; la rugosidad provoca la vibración del vehículo tanto de manera vertical como de oscilación lateral. La perturbación de la oscilación lateral se debe a la diferencia en el nivel del piso por donde circulan las bandas de rodadura de las llantas; entre más pequeñas y continuas sean las irregularidades del terreno mayor frecuencia de oscilación y por tanto, mayor riesgo de sufrir volcadura de la unidad.

5.3. Las dimensiones vehiculares y la oscilación lateral

El grado de la oscilación lateral de los vehículos pesados también está relacionado con las dimensiones volumétricas de los remolques y semirremolques tipo caja seca, por ello, se recomienda el análisis de la densidad de la carga contra la capacidad volumétrica vehicular; en dicho análisis debe conocerse el factor de carga vehicular, cuyos valores no deben ser mayores a la unidad, ya que, como se ha mencionado, el vehículo cargado y

completamente lleno experimentaría exceso de peso, lo cual, se traduce en mayores fuerzas que el motor está obligado a vencer, mayor grado de oscilación lateral, mayor riesgo de sufrir volcadura y mayor daño al camino.

5.3.1. El peralte y la altura vehicular

Sobre una curva nivelada la fuerza central debe ser suministrada por la fuerza de fricción entre el vehículo y la superficie de rodamiento, sin embargo, si el camino esta peraltado a un ángulo α , como lo muestra la figura 5.9, la fuerza normal N , cuenta con una componente horizontal $N\sin\alpha$, apuntando hacia el centro de la trayectoria de la curva; suponiendo que solo esta componente proporciona la fuerza central, entonces, el ángulo de peralte que resulte sera uno para el cual no se requiera fuerza de fricción, esto es, una configuración vehicular que se mueve a la velocidad para la cual se proyectó el ángulo de peralte no sufrirá patinaje o volcadura.

Figura 5. 9. Fuerzas en una curva peraltada

Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración la ecuación de la aceleración de una partícula con trayectoria circular r , con velocidad uniforme v , se tiene:

.....ecu. (5.3)

Aplicando la segunda ley de Newton, se encuentra que la fuerza radial es:

.....ecu. (5.4)

Para este caso la fuerza radial es la fuerza normal multiplicada por el seno de alfa ($N\sin\alpha$), luego entonces la ecuación 5.4 queda como sigue:

.....ecu. (5.5)

Como el vehículo no se mueve en dirección vertical, significa que esta en equilibrio, es decir:

.....ecu. (5.6)

Dividiendo la ecuación 5.5 y 5.6, se obtiene:

, eliminando terminos semejantes, queda:

.....ecu. (5.7)

Las ecuaciones anteriores muestran la importancia de tomar en cuenta el radio de curvatura y la velocidad de proyecto para el ángulo de peralte en curvas, el problema es aun mayor cuando la carretera cuenta con tránsito mixto (vehículos ligeros y pesados).

Como lo muestra la ecuación 5.7, al momento de peraltar una curva no se toma en cuenta el peso de vehículo, pero si debe tomarse en cuenta la altura de la caja de los vehículos de carga, ya que, esta repercute en la oscilación lateral y por ende, en los accidentes del tipo volcadura, la figura 5.10, muestra la incidencia del ángulo de peralte de las curvas y la altura del carro de arrastre en la oscilación lateral.

Figura 5. 10. Punto de equilibrio de un vehículo de carga

Fuente: Elaboración propia

El punto de equilibrio reparte las áreas de carga en dos puntos diferentes con la vertical, es decir, cuando el punto de equilibrio sale del lado donde nace el ángulo de peralte habra mayor posibilidad de volcadura, la figura 5.11 muestra el desfase del punto de equilibrio por aumento de la altura de remolques o semirremolques tipo caja seca.

Figura 5. 11. Desfase negativo del punto de equilibrio de la carga

Fuente: Elaboración propia

El desfase del punto de equilibrio puede ser positivo o negativo, es decir, que un desfase positivo es aquel en el cual la posibilidad de volcadura disminuye; a continuación se muestra graficamente el punto de equilibrio positivo de carros de arrastre del autotransporte.

Figura 5. 12. Desfase positivo del punto de equilibrio de la carga

Fuente: Elaboración propia

Considerando que las dimensiones vehiculares no pueden ser aumentadas por cuestiones de seguridad y considerando el Reglamento de Pesos, Dimensiones y Capacidades del Autotransporte, se analiza la posibilidad de la disminución del volumen total de los remolques y semirremolques, para ello, es necesario el análisis de los tres posibles cortes mencionados anteriormente, este análisis se realiza conforme a la posibilidad de disminuir la oscilación lateral, el sobrepeso y la fuerza aerodinámica de arrastre cuyo valor aumenta a medida que se incrementa la velocidad y el área frontal del vehículo; el área frontal de las configuraciones vehiculares articuladas y doblemente articuladas (T3-S3 y T3-S2-R4) son de 9.136 m^2 y cuentan con un coeficiente aerodinámico de arrastre 0.630.

- **Corte lateral**

El corte lateral es la disminución del volumen de la caja del remolque o semirremolque por un uno de sus lados, dicho corte ayuda a minimizar el área frontal del vehículo y por ende la fuerza aerodinámica de arrastre también se minimiza; un corte del tipo lateral disminuye la estabilidad de la caja por el corte de su base, la figura 5.13 muestra el corte lateral de la caja de los vehículos de arrastre.

Figura 5. 13. Representación grafica del corte lateral de la caja de un vehículo de arrastre

Fuente: Elaboración propia

- **Corte frontal**

Un corte frontal no disminuye el área frontal del vehículo de arrastre, lo que significa que la fuerza aerodinámica de arrastre tampoco disminuye y la oscilación lateral no tiene ningún tipo de cambio ya que solo se minimiza el largo de la caja del carro. La figura 5.14 muestra el corte frontal de los remolques en estudio.

Figura 5. 14. Representación grafica del corte frontal de la caja de un vehículo de arrastre

Fuente: Elaboración propia

- **Corte transversal**

El corte transversal es la mejor opción en cuanto a la disminución del volumen vehicular para las configuraciones T3-S3 y T3-S2-R4, ya que, al disminuir la altura de la caja, disminuye la oscilación lateral significativamente y reduce el área frontal, lo que significa que la fuerza aerodinámica de arrastre también se reduce y los beneficios que tiene este tipo de corte son mayores a cualquier otro tipo de corte sugerido anteriormente; el corte transversal se muestra en la figura 5.15.

Figura 5. 15. Representación grafica del corte transversal de la caja de un vehículo de arrastre

Fuente: Elaboración propia

Un corte transversal se refleja en ahorros de combustible debido a la disminución de la resistencia al movimiento por efecto del área frontal, además que este corte ayuda al monitoreo de unidades en movimiento, ya que, las unidades con menores volúmenes y que transportan carga utilizando todo el espacio disponible en el carro de arrastre con densidades menores o iguales a la densidad crítica del vehículo, no incurren en sobrepeso, por lo que no es necesario parar la unidad en áreas de pesaje, esto a su vez, ayuda a disminuir el tiempo en el manejo y en el transporte de la mercancía.

El grado de oscilación de los vehículos pesados depende de las irregularidades del terreno, de la frecuencia de excitación y de la altura de la caja; la frecuencia de excitación es el resultado de las fallas del balance en los neumáticos y de la rugosidad de la vialidad, y los accidentes del tipo volcadura depende en gran medida de la altura de la caja y de las demás variables ya mencionadas.

5.4. El acomodo de la carga

Otro de los aspectos importantes en el estudio de la oscilación lateral de los vehículos de carga es el acomodo de la mercancía; el problema del acomodo es mayor cuando la mercancía a transportar no utiliza todo el volumen disponible en el vehículo de arrastre.

Figura 5. 16. Primer forma incorrecta del acomodo de la carga

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 17. Segunda forma incorrecta del acomodo de la carga

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 18. Tercera forma incorrecta del acomodo de la carga

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 19. Forma correcta del acomodo de la carga

Fuente: Elaboración propia

La figuras 5.16, 5.17 y 5.18 muestran los diferentes acomodos incorrectos de la carga, estos acomodos son recomendables para remolques tipo patineta, donde los costales deben ir amarrados a la base del remolque o semirremolque; la figura 5.19 muestra el acomodo de la mercancía de manera correcta.

5.5. La influencia de la estiba en el peso del vehículo

De los cuatro tipos de carga analizados (azufre, sal fina, maíz y café), solo el café representaría un factor de carga igual a la unidad, utilizando para su traslado la configuración vehicular T3-S3, siempre y cuando se ocupe todo el volumen disponible en la caja del semirremolque, esto significa que las densidades de cargas sólidas superiores a la densidad del café (0.56 t/m^3), que requieran utilizar la configuración vehicular antes mencionada al ocupar el volumen total disponible, incurrirán en sobrepeso mientras que las densidades inferiores a la densidad del café, no tendrán problemas de exceso de carga aun cuando se utilice todo el volumen disponible en este vehículo. En cuanto al vehículo doblemente articulado (T3-S2-R4), se tiene que, ninguno de los cuatro tipos de carga en estudio representaría un factor igual a la unidad con las condiciones de carga completa. La tabla 5.1 muestra los cuatro tipos de carga en estudio con sus respectivas densidades.

| Densidades Volumétricas por tipo de carga | |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Producto | Densidad (t/m³) |
| Azufre solido | 2.00 |
| Sal fina | 1.20 |
| Maíz | 0.76 |
| Café | 0.56 |

Tabla 5.1 Densidades de la carga en estudio

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la estiba utilizada para el traslado de costales de 50 Kg. Existirán espacios disponibles en la caja del remolque o semirremolque, cuyo porcentaje varía de acuerdo a la eficiencia del acomodo de los bultos; estos porcentajes de espacios no utilizados al ser estibados de la forma más conveniente (estiba de 15 piezas) se representan en la figura número 5.20.

Figura 5. 20. Vista lateral de la estiba de costales de 50 Kg.

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta costales de maíz, la figura 5.20 muestra una parte del cargamento de maíz de 50 kilogramos, dicho cargamento utiliza todo el volumen disponible en el remolque o semirremolque conforme a la configuración vehicular que se trate; los fabricantes y transportistas de las cargas recomiendan una estiba máxima de 15 piezas para seguridad del producto, independiente de ello, la estiba muestra (ver figura 5.21) espacios no utilizados del volumen total disponible de los remolques y semirremolques (tipo caja seca); estos espacios no utilizados pueden ser fácilmente calculados como se muestra en la figura 5.21.

Figura 5. 21. Espacios no utilizados en la estiba de los costales de maíz con capacidades de 50 Kg.

Fuente: Elaboración propia

Los espacios no utilizados y que son formados por la estiba de los costales de maíz, forman un área triangular con el eje vertical del vehículo de arrastre, por lo que este volumen puede ser calculado con la sumatoria de las diferentes áreas de los triángulos y las dimensiones de la caja del vehículo. Considerando que el área de un triángulo rectángulo se calcula como el producto de su base por su altura entre 2, se tiene que el área formada por dos triángulos rectángulos encontrados, es el doble del área de un triángulo rectángulo y que a su vez, es el área de un cuadrado; la figura 5.22 muestra el área formada por estas zonas no aprovechadas por la estiba de la mercancía en costales de 50 kilogramos.

Figura 5. 22. Figura geométrica formada por la estiba de pares de costales de 50 kilogramos

Fuente: Elaboración propia

El área total no aprovechada por la estiba de la mercancía es directamente proporcional al número de columnas que forman las estibas, y al número de costales que integran dicha columna, considerando el análisis para un costal, se tiene que, un costal acomodado por su cara longitudinal forma cuatro triángulos rectángulos, medidos desde la base formada por el cuerpo del costal hasta la línea imaginaria de su superficie, y considerando que dos triángulos rectángulos forman un cuadrado, se obtiene el valor del área (cm²) no aprovechada por la presencia del i-esimo costal; esta definición se indica a continuación.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.8)}$$

Donde:

= Área no aprovechada por el i-esimo costal que integra la columna de estiba

= i-esimo costal estibado en una columna

Tomando en cuenta que $\frac{1}{2}$ representa el área de un triángulo rectángulo y dicha área está definida por , se tiene que la fórmula del área no aprovechada por estiba de los costales de 50 kilogramos, es:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.9)}$$

Simplificando se obtiene:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.10)}$$

La ecuación 5.9 expresa el valor de las áreas no aprovechadas por el envasado del maíz en costales de 50 kilogramos, cabe mencionar, que el número de columnas se cuantifica únicamente por la cara frontal de la caja del carro de arrastre utilizado, ya que, las columnas frontales representan el número total de formación en el volumen disponible del vehículo, la figura 5.23, explica gráficamente el seguimiento del conteo de las columnas estibadas para conocer el volumen no aprovechado en los embarques en costales de 50 Kg.

Figura 5. 23. Cantidad de columnas frontales en estiba ocupando costales con capacidad de 50 Kg.

Fuente: Elaboración propia

Una vez definida la cantidad de columnas que representan la estiba frontal de los costales, es necesario conocer el área que representa toda la zona frontal del cargamento; la ecuación 5.9, indica el área no aprovechada por una columna de estiba desde los ángulos formados por el plano horizontal de la caja (remolque y/o semirremolque), hasta las líneas verticales imaginarias, formadas por la orilla del costal (ver Figura 5.24).

Figura 5. 24. Área formada y no aprovechada por una columna de estiba

Fuente: Elaboración propia

Para conocer toda el área de la zona frontal de la caja, se utiliza la ecuación 5.10, cuyo valor debe ser multiplicado por el número total de las columnas (en este caso 4) que tienen el mismo número de costales y de la misma capacidad, esto es:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.11)}$$

Donde:

C_{ZF} = Numero de columnas en la zona frontal

Hasta el momento conocemos el área no utilizada y que es formada por la estiba de costales en la zona frontal de la caja del vehículo de arrastre, sin embargo, para tener una aproximación de la cantidad de toneladas o fracción de tonelada que representa un cargamento de costales ocupando todo el volumen disponible en carros de arrastre, es necesario conocer el volumen ocupado pero no utilizado por el cargamento antes descrito, para ello, se utiliza el largo total de la caja (remolque o semirremolque); cuyo valor multiplicado por el área, nos da el volumen total no aprovechado por este tipo de cargamento, la fórmula del volumen, queda de la siguiente manera:

.....ecu. (5.12)

Donde:

L_{RS} = Largo total del remolque o semirremolque

A la ecuación 5.12 indica un volumen parcial, ya que, solo toma en cuenta la cara frontal de la formación de las estiba, pero, a lo largo de la caja del remolque o semirremolque existen también áreas no aprovechadas por la estiba de los costales; esto quiere decir, que para contar con el volumen total no aprovechado por un embarque de costales, se debe sumar a la ecuación 5.11 el volumen que se encuentra en medio del embarque, la ecuación queda de la siguiente forma.

Simplificando queda:

.....ecu. (5.13)

Donde:

V_T =Volumen total disponible

X_T = Número de costales estibados

L_{RS} = Largo total del remolque o semirremolque

C_{ZF} = Numero de columnas en la zona frontal

A_{RS} = Ancho total del remolque o semirremolque

C_{ZL} = Número de columnas en la zona lateral

La figura 5.25 muestra las zonas no ocupadas a lo largo del remolque o semirremolque por la estiba de los costales y cuya área y volumen se describieron anteriormente (Ver ecuación 5.12).

Figura 5. 25. Área formada y no aprovechada por varias columnas de estiba

Fuente: Elaboración propia

Se debe mencionar que el área formada por los costales no depende del material contenido sino del nivel de eficiencia en la estiba de la mercancía y de la cantidad de bultos apilados en las columnas, además, el volumen no

ocupado por la estiba de costales no es un valor representativo, pues son áreas muy pequeñas, cuyos valores se encuentran en pequeñas fracciones de toneladas.

5.6. Dimensiones vehiculares óptimas

Una vez que se ha propuesto el corte transversal como la mejor opción para el diseño de los remolques y semirremolques tipo caja seca, y se han indicado las formas del acomodo de la carga, así como, el volumen disponible que se tendrá al momento de la estiba de la mercancía, el siguiente punto es encontrar la dimensión óptima de las cajas secas para el autotransporte federal de carga de acuerdo a las densidades de la carga.

Tomando en cuenta la carga útil de las configuraciones, como una constante y la relación de la densidad vehicular como una variable, el nuevo volumen del vehículo, para cada configuración se calcula como se explica a continuación.

La densidad vehicular promedio es la relación que existe de la carga útil del vehículo entre su volumen, y se calcula de la siguiente forma:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.14)}$$

La densidad vehicular promedio también puede calcularse con la densidad de la carga y el factor de la carga, cuya expresión queda como se explica a continuación.

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.15)}$$

Despejando el volumen vehicular de la ecuación 4.9, se tiene:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.16)}$$

Sustituyendo la densidad vehicular de la ecuación 5.15 a la ecuación 5.16, se tiene que el volumen vehicular es:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.17)}$$

Tomando en cuenta que se busca un volumen vehicular óptimo, se cuenta con un factor de carga igual a la unidad (1), por lo que la ecuación 5.17, se minimiza a:

$$\dots\dots\dots\text{ecu. (5.18)}$$

La ecuación 5.18, muestra que para cada tipo de carga, habrá un diseño óptimo del volumen vehicular.

5.6.1. Dimensiones optimas para el T3-S3

La carga útil para el vehículo articulado de seis ejes es de 35.10 toneladas, y los volúmenes para cada tipo de carga quedan como lo muestra la tabla número 5.2.

Volumen optimo del camión articulado de seis ejes (T3-S3)

| Producto | Densidad (t/m ³) | Volumen optimo (m ³) |
|---------------|------------------------------|----------------------------------|
| Azufre solido | 2.0 | 17.6 |
| Sal fina | 1.20 | 29.3 |
| Maíz | 0.76 | 46.2 |

Café 0.56 **62.7**

Tabla 5.2 Volúmenes óptimos para el vehículo T3-S3

Fuente: Elaboración propia

5.6.2. Dimensiones óptimas para el T3-S2-R4

El diseño óptimo para el camión doblemente articulado de acuerdo a los cuatro tipos de mercancía analizadas se enlista en seguida.

Volumen óptimo del camión doblemente articulado de nueve ejes (T3-S2-R4)

| Producto | Densidad (t/m ³) | Volumen óptimo (m ³) |
|---------------|------------------------------|----------------------------------|
| Azufre sólido | 2.0 | 24.0 |
| Sal fina | 1.20 | 40.0 |
| Maíz | 0.76 | 63.2 |
| Café | 0.56 | 85.7 |

Tabla 5.3 Volúmenes óptimos para el vehículo T3-S2-R4

Fuente: Elaboración propia

Las cargas con densidades elevadas como el azufre, deben ser transportadas en vehículos de menores dimensiones volumétricas o en menores cantidades, de lo contrario estos cargamentos incurrirán en sobrepeso aun cuando se cuente con un buen acomodo de la carga o una excelente estiba.

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.