**Reglamento nº 111 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Disposiciones uniformes con respecto a la estabilidad transversal de vehículos cisterna de las categorías N y O** [1]

1. ÁMBITO

El presente Reglamento se aplica a la estabilidad transversal de los vehículos cisterna de las categorías N2, N3, O3 y O4 [2] diseñados para el transporte de mercancías peligrosas, de acuerdo con la definición de los mismos en los acuerdos ADR [3].

2. DEFINICIONES

A los efectos del presente Reglamento:

2.1. «homologación de un vehículo» significa la homologación de un tipo de vehículo con respecto a la estabilidad transversal;

2.2. «tipo de vehículo» significa una categoría de vehículos que no presentan diferencias en aspectos tan esenciales como:

2.2.1. la categoría (véase el punto 1) y el tipo de vehículo (camión, remolque completo, semirremolque, remolque de eje central) [4];

2.2.2. la masa máxima, tal como se define en el punto 2.4;

2.2.3. el perfil de la sección transversal de la cisterna (circular, elíptico, maxivolumen);

2.2.4. la altura máxima del centro de gravedad del vehículo cargado;

2.2.5. la distribución de la masa entre los ejes (incluyendo el disco de articulación);

2.2.6. el número de ejes y la disposición de los mismos (incluyendo la separación entre ellos);

2.2.7. la disposición de la suspensión con respecto a las características de balanceo;

2.2.8. el tamaño y la estructura de los neumáticos (radiales, diagonales o de estructura diagonal cinturada);

2.2.9. el ancho de vía;

2.2.10. la distancia entre los ejes extremos.

2.3. Salvo si se indica lo contrario, «vehículo cargado» se refiere a los vehículos cargados hasta que alcanzan su «masa máxima»;

---

(1) Reglamento de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa publicado de conformidad con las disposiciones del apartado 5 del artículo 4 de la Decisión 97/836/CE del Consejo (DO L 346 de 17.12.1997, p. 78).

(2) Las categorías N y O tal como se definen en el anexo 7 de la Resolución consolidada sobre fabricación de vehículos (R.E.3) (documento TRANS/WP.29/78/Rev. 1).

(3) Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR).

(4) Tipo de vehículo tal como se define en el anexo 7 de la Resolución consolidada sobre fabricación de vehículos (R.E.3) (documento TRANS/WP.29/78/Rev. 1).

2.4. «masa máxima» se refiere a la masa máxima técnicamente admisible declarada por el fabricante del vehículo (este valor puede ser superior a la «masa máxima autorizada» establecida por las autoridades nacionales);

2.5. «distribución de la masa entre los ejes» significa la proporción de la masa máxima admisible y soportada por cada eje declarada por el fabricante del vehículo;

2.6. «altura de equilibrio de la suspensión» significa la distancia entre el centro de la rueda y un punto fijo del chasis, de acuerdo con la declaración del fabricante del vehículo.

3. SOLICITUD DE HOMOLOGACIÓN

3.1. La solicitud de homologación de la estabilidad transversal de un determinado tipo de vehículo la presentará el fabricante del vehículo ([5]) o un representante suyo debidamente acreditado.

3.2. Irá acompañada de los documentos indicados a continuación, por triplicado, y los siguientes detalles:

3.2.1. una descripción detallada del tipo de vehículo según las especificaciones establecidas en el punto 2.2. Se indicarán los números y/o símbolos que identifiquen el tipo de vehículo;

3.2.2. fotografías y/o planos y croquis del vehículo que representen el alzado anterior, lateral y posterior del tipo de vehículo;

3.2.3. detalles sobre la masa del vehículo tal como se definen en el punto 2.4.

3.3. Se presentará ante el servicio técnico que realice las pruebas de homologación un vehículo representativo del tipo de vehículo que se desee homologar.

4. HOMOLOGACIÓN

4.1. Si el tipo de vehículo presentado para homologación de conformidad con las disposiciones del presente Reglamento cumple con los requisitos del punto 5, se concederá la homologación del mismo.

4.2. A cada tipo de vehículo homologado se le asignará un número de homologación, cuyas dos primeras cifras (actualmente 00 en la versión original del Reglamento) indicarán la serie de enmiendas, incluyendo las principales modificaciones técnicas más recientes que se hayan introducido en el Reglamento en el momento de emitir la homologación. La misma Parte contratante no asignará el mismo número a otro tipo de vehículo.

4.3. La notificación de la concesión, de la prórroga, de la denegación, de la anulación de la homologación, o del cese definitivo de la fabricación de un tipo de vehículo a tenor de lo dispuesto en el presente Reglamento se comunicará a las Partes del Acuerdo que se someten a las disposiciones del presente Reglamento mediante el envío de una hoja conforme al modelo incluido en el anexo 1, junto con las fotografías y/o planos y croquis proporcionados por el solicitante para su homologación, en un formato máximo de A4 (210 × 297 mm) o que se ajuste al mismo al doblarse, y a una escala adecuada.

4.4. Todos los vehículos que cumplan los requisitos del tipo de vehículo homologado por el presente Reglamento llevarán adherida, de forma visible y en un lugar fácilmente accesible especificado en el certificado de homologación, una marca de homologación internacional consistente en:

([5]) Fabricante del vehículo base o responsable del montaje final del vehículo cisterna.

4.4.1. la letra «E» inscrita en un círculo, seguida por el número distintivo del país que haya concedido la homologación ([6]), y

4.4.2. el número del presente Reglamento, seguido de la letra «R», un guión y el número de homologación, situados a la derecha del círculo mencionado en el punto 4.4.1.

4.5. Si el vehículo cumple los requisitos de un tipo de vehículo homologado en virtud de uno o más Reglamentos anexos al Acuerdo, en el país que haya concedido la homologación en virtud del presente Reglamento, no será necesario repetir el símbolo establecido en el punto 4.4.1; en este caso se incluirán el número del Reglamento y el de homologación, así como los símbolos adicionales correspondientes a todos los Reglamentos según los cuales se ha concedido la homologación en dicho país en virtud del presente Reglamento, dispuestos en columnas verticales situadas a la derecha del símbolo establecido en el punto 4.4.1.

4.6. La marca de homologación será claramente legible e indeleble.

4.7. La marca de homologación estará situada en la placa de datos del vehículo o junto a ésta.

4.8. En el anexo 2 del presente Reglamento se incluyen ejemplos de las marcas de homologación.

5. ESPECIFICACIONES Y PRUEBAS

5.1. El vehículo se someterá a:

5.1.1. una prueba sobre plataforma basculante descrita en el anexo 3 del presente Reglamento, diseñada para comprobar el ángulo de vuelco, simulando un giro de radio constante y sin vibraciones, o bien

5.1.2. una serie de cálculos conformes al método descrito en el anexo 4 de este Reglamento. En caso de duda o litigio, se recurrirá a la prueba anterior.

5.2. Los resultados de dicha prueba o de los cálculos se considerarán satisfactorios si cumplen las condiciones establecidas en los punto 5.3 y 5.4.

5.3. *Criterios de estabilidad*

5.3.1. Teniendo en cuenta las disposiciones del anexo aplicable (anexo 3 o anexo 4) de este Reglamento, el comportamiento del vehículo debe satisfacer una de las siguientes condiciones, sujetas al punto 5.1.2:

5.3.1.1. Prueba sobre plataforma basculante:

La estabilidad transversal estática del vehículo será tal que éste no se vuelque con un ángulo de inclinación de la plataforma de 23°, inclinando la plataforma en los dos sentidos.

Si un vehículo no supera una de las tres pruebas en un sentido concreto (hacia la derecha o hacia la izquierda), se podrá volver a someter a una (nueva) prueba.

([6]) 1 para Alemania, 2 para Francia, 3 para Italia, 4 para los Países Bajos, 5 para Suecia, 6 para Bélgica, 7 para Hungría, 8 para la República Checa, 9 para España, 10 para Yugoslavia, 11 para el Reino Unido, 12 para Austria, 13 para Luxemburgo, 14 para Suiza, 15 (sin asignar), 16 para Noruega, 17 para Finlandia, 18 para Dinamarca, 19 para Rumania, 20 para Polonia, 21 para Portugal, 22 para la Federación Rusa, 23 para Grecia, 24 (sin asignar), 25 para Croacia, 26 para Eslovenia, 27 para Eslovaquia, 28 para Bielorrusia, 29 para Estonia, 30 (sin asignar), 31 para Bosnia-Herzegovina, 32-36 (sin asignar) y 37 para Turquía. Los otros países se designarán con números posteriores según el orden cronológico en que ratifican el Acuerdo relativo a la adopción de las condiciones uniformes de homologación y reconocimiento recíproco de la homologación de los equipos y piezas de vehículos motorizados, o en que se adhieran a dicho Acuerdo, y los números asignados de esta manera serán comunicados a las Partes Contratantes del Acuerdo por el Secretario General de las Naciones Unidas.

5.3.1.2. Método de cálculo:

La estabilidad transversal del vehículo será tal que éste no se vuelque con una aceleración lateral de 4 $m/s^2$.

5.4. *Requisitos particulares*

No debe haber contacto entre las partes del vehículo que no entrarían en contacto durante el uso normal del mismo.

6. MODIFICACIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO Y PRÓRROGA DE LA HOMOLOGACIÓN

6.1. Cualquier modificación que, de acuerdo con la definición establecida en el punto 2.2, influya en la clasificación del tipo de vehículo (por ejemplo, el chasis, la carrocería, la suspensión, la configuración de los ejes, etc.) se comunicará al departamento administrativo que concedió la homologación del tipo de vehículo, que podrá:

6.1.1. considerar improbable que las modificaciones introducidas tengan un efecto adverso apreciable y que, en cualquier caso, el vehículo sigue cumpliendo los requisitos, o

6.1.2. exigir un informe adicional emitido por el Servicio Técnico responsable de la realización de las pruebas.

6.2. La concesión o denegación de la homologación, acompañada de la lista de modificaciones, se comunicará, mediante el procedimiento establecido en el punto 4.3, a las Partes contratantes del Acuerdo que se someten a las disposiciones del presente Reglamento.

6.3. La autoridad competente en la emisión de prórrogas de la homologación asignará un número de serie a cada hoja de comunicación redactada a este efecto, e informará a las demás Partes Contratantes del Acuerdo de 1958 del mismo por medio de una hoja de comunicación de conformidad con el modelo establecido en el anexo 2 de este Reglamento.

7. CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN

Los procedimientos de conformidad de la producción satisfarán disposiciones del apéndice 2 (E/ECE/324-E/ECE/TRANS/505/Rev. 2) del Acuerdo, así como los siguientes requisitos:

7.1. Los vehículos homologados por el presente Reglamento se fabricarán de manera que satisfagan los requisitos para el tipo homologado, de conformidad con las disposiciones establecidas en el punto 5.

7.2. La autoridad que haya concedido el certificado de homologación puede comprobar en cualquier momento los métodos de control de conformidad aplicados en cada unidad de producción. La frecuencia normal de las comprobaciones de este tipo será de una cada dos años.

8. PENALIZACIONES POR NO CONFORMIDAD DE LA PRODUCCIÓN

8.1. La homologación concedida a un tipo de vehículo de acuerdo con el presente Reglamento puede ser anulada si se incumple el requisito establecido en el punto 7.1, o si el vehículo o los vehículos seleccionados no superan las pruebas realizadas de acuerdo con el punto 7.2.

8.2. Si una Parte contratante del Acuerdo que se somete a las disposiciones del presente Reglamento anula una homologación que previamente había concedido, avisará inmediatamente a las otras Partes contratantes que se someten a las disposiciones del presente Reglamento mediante una hoja de comunicación conforme al modelo presentado en el anexo 1 del presente Reglamento.

9. CESE DEFINITIVO DE LA PRODUCCIÓN

Si el titular de la homologación deja de fabricar definitivamente el tipo de vehículo homologado en virtud del presente Reglamento, informará a la autoridad que concedió la homologación. Al recibir la notificación correspondiente, dicha autoridad comunicará el cese de la producción a las otras Partes del Acuerdo de 1958 que se someten a las disposiciones del presente Reglamento, enviándoles una hoja de comunicación conforme al modelo presentado en el anexo 1.

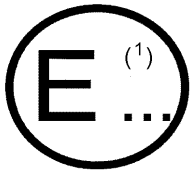
10. NOMBRES Y DIRECCIONES DE LOS SERVICIOS TÉCNICOS RESPONSABLES DE LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE HOMOLOGACIÓN, Y DE LOS DEPARTAMENTOS ADMINISTRATIVOS

Las Partes contratantes del Acuerdo que se someten a las disposiciones del presente Reglamento comunicarán al secretariado de las Naciones Unidas los nombres y direcciones de los servicios técnicos responsables de la realización de las pruebas de homologación, y de los departamentos administrativos que conceden la homologación y a los cuales se ha de remitir la documentación emitida en otros países que certifica la concesión, prórroga, denegación o anulación de la homologación.

*ANEXO 1*

**Comunicación**

[formato máximo: A4 (210 × 297 mm)]




emitida por: nombre de la administración

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

relativa al (2): CONCESIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN

PRÓRROGA DE LA HOMOLOGACIÓN

DENEGACIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN

ANULACIÓN DE LA HOMOLOGACIÓN

CESE DEFINITIVO DE LA PRODUCCIÓN

de un tipo de vehículo con respecto a su estabilidad transversal estática/en giro con radio constante, de conformidad con el Reglamento nº III

Nº de homologación . . . . . Nº de prórroga . . . . . .

1. Nombre comercial o marca del vehículo: . . . . . .

2. Categoría del vehículo: N2/N3/O3/O4 (2)

3. Tipo de vehículo: . . . . . .

3.1. chasis; marca, modelo, tipo: . . . . . .

3.2. cisterna; marca, modelo: . . . . . .

3.3. construcción monocasco del depósito: Sí/No (2) . . . . . .

4. Nombre y dirección del fabricante: . . . . . .

5. Nombre y dirección del representante del fabricante, en su caso: . . . . . .

6. Masa del vehículo: . . . . . .

6.1. masa máxima del vehículo: . . . . . .

6.2. masa de la cisterna llena: . . . . . .

6.3. distribución de la masa máxima entre los ejes: . . . . . .

6.4. en el caso de un semirremolque o de un remolque de eje central, la carga estática sobre el disco de articulación/acoplamiento delantero: . . . . . .

7. Sección transversal de la cisterna: circular/elíptica/maxivolumen (2) . . . . . .

8. Altura del centro de gravedad del vehículo cargado: . . . . . .

9. Ejes: . . . . . .

9.1. número y disposición de los ejes (incluyendo la separación entre los mismos): . . . . . .

9.2. disposición de la suspensión con respecto a las características de balanceo: . . . . . .

9.3. altura de equilibrio de la suspensión y situación de los datos ([3]): . . . . . .

9.4. tamaño y estructura de los neumáticos: radiales/diagonales/de estructura diagonal cinturada ([2])

9.5. ancho de vía de cada eje: . . . . . .

10. Distancia entre ejes extremos: . . . . . .

11. Condiciones de prueba: . . . . . .

11.1. Masa del vehículo durante la prueba: . . . . . .

| Nº de eje | Carga (kg) |
|---|---|
| | |
| Total | |

11.2. carga soportada por el disco de articulación del tractor o el acoplamiento de remolque de eje central: . . . . . .

11.3. coeficiente de llenado de la carga de prueba (% llenado del depósito): . . . . . .

11.4. carga de prueba (agua, etc.): . . . . . .

12. Vehículo presentado para homologación el: . . . . . .

13. Servicio técnico responsable de la realización de las pruebas de homologación: . . . . . .

14. Fecha del informe emitido por dicho servicio: . . . . . .

15. Número del informe emitido por dicho servicio: . . . . . .

16. Prueba sobre plataforma basculante/método de cálculo ([2])

17. Concesión/denegación/prórroga/anulación de la homologación ([2])

18. Posición de la marca de homologación en el vehículo: . . . . . .

19. Lugar: . . . . . .

20. Fecha: . . . . . .

21. Firma: . . . . . .

22. Se adjunta a la presente comunicación la relación de los documentos depositados en el servicio administrativo que ha concedido la homologación, que puede ser facilitada previa solicitud.

---

([1]) Número distintivo del país que ha emitido la concesión/prórroga/denegación/anulación de la homologación (véanse las disposiciones del Reglamento referentes a la homologación).
([2]) Táchense las opciones no procedentes.
([3]) Si el vehículo está dotado de dispositivos de nivelación de la altura, rogamos que se indique.

*ANEXO 2*

**Ejemplos de marcas de homologación**

MODELO A

(Véase el punto 4.5 del presente Reglamento)

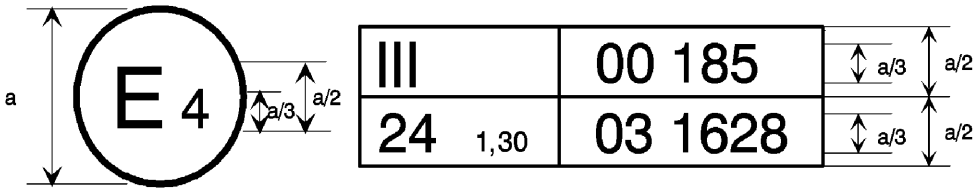



a ≥ 8 mm mín.

Si un vehículo lleva la anterior marca de homologación, la estabilidad transversal del correspondiente tipo de vehículo se ha homologado en los Países Bajos (E4) de conformidad con el Reglamento nº III. Las dos primeras cifras del número de homologación indican que ésta se concedió en virtud de las disposiciones del Reglamento nº III en su forma original.

MODELO B

(Véase el punto 4.6 del presente Reglamento)




a ≥ 8 mm min.

Si un vehículo lleva la anterior marca de homologación, el tipo de vehículo correspondiente se ha homologado en los Países Bajos (E4) de conformidad con los Reglamentos nº III y 24 ([1]) (en el caso de este último, el símbolo adicional después del número de Reglamento indica que el coeficiente de absorción corregido es de 1,30 $m^{-1}$). Las dos primeras cifras del número de homologación indican que ésta se concedió en virtud de las disposiciones del Reglamento nº III en su forma original, y del Reglamento nº 24 que incluye la serie 03 de enmiendas.

([1]) Este último número se incluye sólo como ejemplo.

*ANEXO 3*

**Procedimiento que se ha de seguir para la prueba sobre plataforma basculante**

1. DEFINICIONES

A los efectos de esta prueba:

el «umbral de vuelco» es el momento en que todas las ruedas de un lado del vehículo pierden contacto con la superficie de la plataforma basculante.

2. CONDICIONES GENERALES

2.1. *La plataforma basculante*

Se debe emplear una superficie rígida. Los neumáticos pueden apoyarse en un bloque o un borde de seguridad que impida el deslizamiento lateral, a condición de que el bloque de seguridad no influya en el resultado de la prueba.

2.2. *Condiciones del viento*

Si la plataforma está instalada en una zona exterior, la velocidad lateral del viento no debe superar los 3 m/s y la velocidad total del viento no debe ser superior a los 5 m/s.

2.3. *Neumáticos*

La presión de los neumáticos será la especificada por el fabricante para vehículo en prueba, cargado. La presión de inflado se medirá en frío, con una tolerancia de ± 2 %.

2.4. *Elementos de funcionamiento*

2.4.1. Todos los elementos de funcionamiento que puedan influir en los resultados de la prueba (por ejemplo, estado y regulación de los muelles u otros elementos de la suspensión, regulación geométrica de la suspensión, etc.) satisfarán las especificaciones del fabricante.

2.4.2. Los sistemas de nivelación de la altura han de estar desactivados (mantenidos en valores estáticos) cuando se produzca la inclinación, con el fin de evitar que los elementos de suspensión se inflen/desinflen durante la misma. Se deberá desactivar el acoplamiento transversal entre las zonas laterales, a menos que el tiempo de respuesta de los sistemas de nivelación sea muy reducido, inferior a un segundo.

3. PRECISIÓN DE LA MEDICIÓN

3.1. El ángulo de la plataforma de prueba se medirá con una precisión superior a 0,3°.

4. VEHÍCULOS NO MOTORIZADOS

4.1. Si el vehículo es un remolque de eje central, la prueba se puede realizar con un vehículo motorizado, sustituto o soporte que tengan un sistema de acoplamiento y una altura apropiados, pues los resultados no se alterarán.

4.2. Si el vehículo es un semirremolque, la prueba se realizará con un tractor o sustituto. El tractor/sustituto influirá en los resultados, por lo que se habrá de emplear un tractor/sustituto de referencia.

5. CONDICIONES DE CARGA DEL VEHÍCULO

La condición normal de la prueba es la de carga máxima, o sea, el vehículo cargado. En esta condición de carga máxima, el vehículo cisterna se encontrará completamente cargado, sin superar los valores máximos autorizadas respecto a la masa y la carga por eje.

Si la carga normalmente transportada por el vehículo cisterna se considera de tipo peligroso, puede ser reemplazada por agua u otra carga de prueba no peligrosa. Si las condiciones normales de la prueba, a) completamente cargada, o b) masa máxima, no se pueden satisfacer con esa carga de prueba, entonces:

a) se puede aceptar un coeficiente de llenado del depósito entre el 100 % y el 70 %. Si, con un coeficiente mínimo de llenado del 70 %, el total de la masa y/o las cargas del eje todavía supera(n) los valores máximos autorizados, se empleará una carga de prueba con una densidad más baja. La distribución de la masa de la cisterna (incluida la carga de prueba) entre los ejes será proporcional a la condición de carga máxima.

   Las cisternas con compartimentos se cargarán de forma diferenciada, de manera que la altura del centro de gravedad de cada eje o grupo de ejes esté lo más cerca posible de la altura del centro de gravedad real.

b) el fabricante del vehículo facilitará un cálculo ([1]) que permita establecer un nuevo ángulo máximo de inclinación de la plataforma para la carga inferior de prueba.

6. SEGURIDAD

Para evitar que el vehículo se vuelque completamente, se emplearán sistemas de retención que se dispondrán de manera que no interfieran con la prueba.

7. REALIZACIÓN DE LA PRUEBA

El método consiste en un incremento gradual del ángulo de inclinación de la plataforma hasta llegar al ángulo máximo o el umbral de vuelco. Cuando el vehículo se someta a la prueba, todos sus elementos estarán situados en línea recta paralela al eje de la plataforma de prueba, de manera que ninguna línea mediana longitudinal quede desplazada más de 25 mm.

Todos los ejes dirigibles del vehículo se bloquearán para impedir el movimiento lateral del eje y/o el giro de las ruedas en una dirección. Además, el vehículo se mantendrá fijo en la dirección longitudinal para evitar movimientos de avance o de retroceso, a condición de que el método de fijación no influya en el resultado de la prueba.

La inclinación del vehículo se limitará a valores muy reducidos, del 0,25°/s o inferiores.

Se realizará una inclinación gradual tres veces, a la derecha y la izquierda del eje longitudinal del vehículo. Debido a los efectos que las oscilaciones de relajación pueden tener en los sistemas de suspensión y en los elementos de acoplamiento del vehículo, éste se retirará de la plataforma entre una y otra prueba y se conducirá por la zona, con el fin de aleatorizar y equilibrar los efectos de la relajación y la histéresis.

([1]) Fabricante del vehículo base o responsable del montaje final del vehículo cisterna.

*ANEXO 4*

**Cálculo de la estabilidad lateral**

1. INTRODUCCIÓN

La estabilidad lateral de los vehículos cisterna se calcula mediante la simulación de una prueba circular en régimen estable (radio invariable, velocidad constante y, por consiguiente, aceleración lateral constante). En el método de cálculo se tienen en cuenta los principales factores que influyen en la estabilidad, como la altura del centro de gravedad, el ancho de vía y todos los factores que pueden provocar un desplazamiento lateral del centro de gravedad (resistencia al balanceo del eje, resistencia al balanceo de la suspensión, etc.). Para los semirremolques, en la simulación del tractor se empleará una resistencia de referencia al balanceo en el pivote de acoplamiento.

Las especificaciones relativas al método de cálculo son las siguientes:

1. el centro de balanceo del eje estará al nivel del suelo;
2. se supone que la estructura del vehículo es rígida;
3. el vehículo es simétrico respecto a su eje central longitudinal;
4. las desviaciones de los neumáticos y la suspensión son lineales;
5. la desviación lateral de las suspensiones es igual a cero.

2. DEFINICIONES

A los efectos del presente cálculo:

«Bogie» significa un grupo de ejes con una distribución compensatoria de la carga tal que se registre una carga cero simultáneamente en todas las ruedas de un mismo lado.

3. SÍMBOLOS (véase también la figura 1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| i | (-) | = | índice de eje/bogie<br>(i = 1 – n, zona delantera hasta – eje/bogie;<br>i = T, todos los ejes/bogies;<br>i = M, eje/bogie con mayor resistencia; y<br>sólo para semirremolques i = K, pivote de acoplamiento) |
| $m_i$ | (m) | = | altura nominal del centro de balanceo de la suspensión |
| $A_i$ | (kN) | = | carga del eje/bogie |
| $C_{DGi}$ | (kNm/rad) | = | resistencia al balanceo de la suspensión en el centro de balanceo del eje |
| $C_{DGMi}$ | (kNm/rad) | = | resistencia equivalente al balanceo de la suspensión a nivel del suelo |
| $C_{DRi}$ | (kNm/rad) | = | resistencia al balanceo del eje/bogie |
| $C_{DRESi}$ | (kNm/rad) | = | resistencia al balanceo de la suspensión combinada resuelta a nivel del suelo |
| $F_{RVi}$ | (kN/m) | = | flexibilidad vertical del neumático para cada eje/bogie (incluido el efecto doble de los neumáticos gemelos) |
| $U_i$ | (kN) | = | peso no suspendido |
| $T_{Ni}$ | (m) | = | ancho nominal de vía |
| $T_i$ | (m) | = | ancho teórico de vía por eje/bogie con neumáticos gemelos |
| $F_E$ | (-) | = | coeficiente útil de la masa del eje/bogie de mayor resistencia |
| $H_G$ | (m) | = | altura del centro de gravedad de todo el vehículo |
| $H_N$ | (m) | = | altura del centro de gravedad de la masa suspendida |
| MA | (m) | = | anchura de los neumáticos gemelos |
| $q_c$ | g | = | aceleración lateral corregida en el momento del vuelco |
| $q_M$ | g | = | aceleración lateral en el momento de elevación de la primera rueda |
| $q_T$ | g | = | valor máximo de la aceleración lateral óptima en el momento del vuelco |
| g | ($m/s^2$) | = | aceleración debida a la gravedad; = 9,81 $m/s^2$; |
| $\vartheta_i$ | (rad) | = | pseudoángulo de balanceo del vehículo en el momento de elevación de la rueda |
| $\beta$ | (grados) | = | ángulo equivalente de inclinación de la plataforma de prueba |

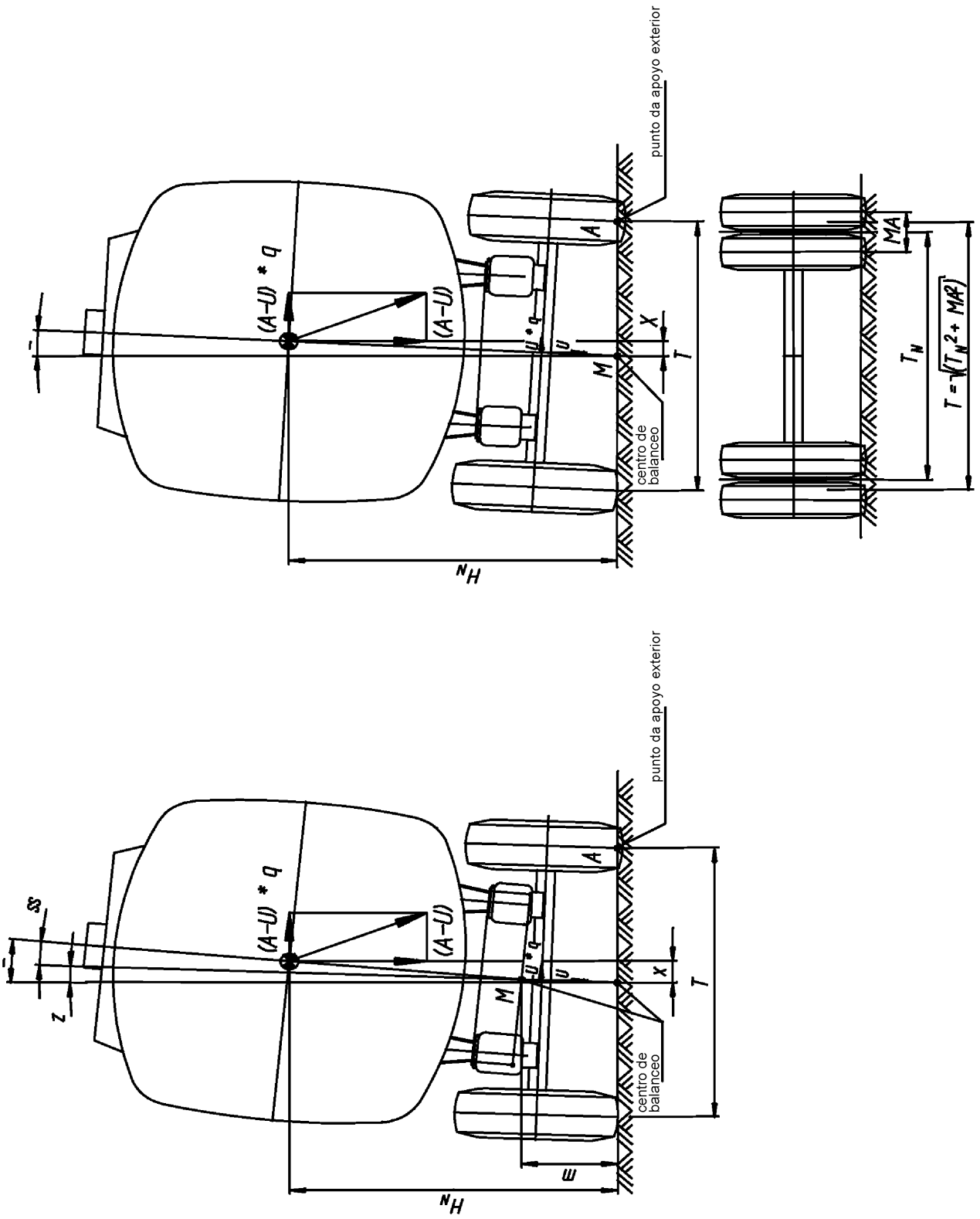



**Figura 1**: Sección transversal de un vehículo cisterna

4. CONDICIONES GENERALES

No se tienen en cuenta los sistemas de nivelación de la altura (mantenidos a valores estáticos).

5. REMOLQUES

5.1. Si se trata de un remolque completo o un remolque de eje central, el cálculo no ha de incluir el acoplamiento con el vehículo tractor.

5.2. Si se trata de un semirremolque, en la simulación del tractor se empleará una resistencia de la referencia en el balanceo del pivote de acoplamiento, que representará la suspensión del tractor, los neumáticos, el chasis y la flexibilidad del disco de articulación a nivel del suelo.

6. CONDICIONES DE CARGA DEL VEHÍCULO

La condición de prueba es la de carga máxima, es decir, el vehículo ha de estar cargado. El vehículo cisterna estará completamente cargado, sin superar los valores máximos autorizados respecto a la masa y la carga por rueda.

7. MÉTODO DE CÁLCULO

7.1. La resistencia combinada del balanceo y el seudoángulo de balanceo del vehículo en el momento de la elevación de las ruedas de cada eje/bogie se calculan mediante las fórmulas:

7.1.1. ejes/bogie con neumáticos sencillos:

resistencia al balanceo del eje/bogie:

$$C_{DRi} = \frac{F_{RVi} \times T_{Ni}^2}{2}$$

resistencia equivalente al balanceo de la suspensión a nivel del suelo:

$$C_{DGMi} = C_{DGi} \times \left[\frac{H_N}{H_N - m}\right]^2$$

resistencia al balanceo combinada para simular el desplazamiento lateral del centro de gravedad:

$$C_{DRESi} = \frac{C_{DGMi} \times C_{DRi}}{C_{DGMi} + C_{DRi}}$$

pseudoángulo de balanceo del vehículo en el momento de elevación de una rueda:

$$\vartheta_i = \frac{A_i \times T_{Ni}}{2 \times C_{DRESi}}$$

7.1.2. ejes/bogie con neumáticos gemelos:

ancho teórico de vía para neumáticos gemelos:

$$T_i = \sqrt{T^2{}_{Ni} + MA^2}$$

resistencia al balanceo del eje/bogie:

$$C_{DRi} = \frac{F_{RVi} \times T_i^2}{2}$$

resistencia equivalente al balanceo de la suspensión a nivel del suelo:

$$C_{DGMi} = C_{DGi} \times \left[\frac{H_N}{H_N - m}\right]^2$$

resistencia al balanceo combinada para simular el desplazamiento lateral del centro de gravedad:

$$C_{DRESi} = \frac{C_{DGMi} \times C_{DRi}}{C_{DGMi} + C_{DRi}}$$

pseudoángulo de balanceo del vehículo en el momento de elevación de una rueda:

$$\vartheta_i = \frac{A_i \times T_i}{2 \times C_{DRESi}}$$

7.2. En el caso de los semirremolques, los efectos del pivote de acoplamiento se calcularán a partir de las siguientes fórmulas:

ancho de vía:

$$T_K = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i}{n}$$

resistencia al balanceo:

$$C_{DRESK} = A_K \times 4$$

7.3. Después del cálculo de la resistencia combinada resuelta y del pseudoángulo de balanceo para cada eje/bogie, se determinan los valores globales para el vehículo en su conjunto:

peso total del vehículo ([1]):

$$A_T = \sum_{i=1}^{n} A_i + A_K$$

peso total no suspendido:

$$U_T = \sum_{i=1}^{n} U_i$$

ancho útil de vía ([1]):

$$T_T = \frac{\sum_{i=1}^{n} (T_i \times A_i)}{A_T} + \frac{T_K \times A_K}{A_T}$$

resistencia total al balanceo ([1]):

$$C_{DREST} = \sum_{i=1}^{n} C_{DRESi} + C_{DRESK}$$

7.4. Seleccione el eje/bogie con el valor inferior de $\vartheta$, es decir, el valor con que se producirá la elevación de la primera rueda. Para distinguir entre este eje/bogie y los demás, se le asignan los siguientes símbolos:

$A_M$ = carga de eje soportada por eje/bogie con el valor inferior de $\vartheta$

$U_M$ = peso no suspendido por eje/bogie con el valor inferior de $\vartheta$

$T_M$ = ancho de vía del eje/bogie con el valor inferior de $\vartheta$

$C_{DRESM}$ = resistencia al balanceo del eje/bogie con el valor inferior de $\vartheta$

([1]) La segunda parte de la fórmula sólo se emplea para los semirremolques.

7.5. Cálculo de la estabilidad lateral

7.5.1. Coeficiente útil de la masa del eje/bogie de mayor resistencia $F_E$:

$$F_E = \frac{C_{DRESM}}{C_{DREST}}$$

7.5.2. Aceleración lateral en el momento de la elevación de la primera rueda $q_M$:

$$q_M = \frac{A_M \times T_M}{2 \times \left[ (F_E \times A_T \times H_G) + \frac{\left((A_T - U_T) \times F_E \times H_N\right)^2}{C_{DRESM} - (A_T \times F_E \times H_N)} \right]}$$

7.5.3. Valor máximo teórico de la aceleración lateral óptima en el momento del vuelco $q_T$:

$$q_T = \frac{A_T \times T_T}{2 \times \left[ (A_T \times H_G) + \frac{\left((A_T - U_T) \times H_N\right)^2}{C_{DREST} - (A_T \times H_N)} \right]}$$

7.5.4. Por interpolación lineal entre la aceleración lateral en el momento de la elevación de la primera rueda y el valor teórico máximo de la aceleración lateral, resulta la aceleración lateral correlativa en el momento del vuelco $q_c$:

$$q_c = q_T - (q_T - q_M) \times \frac{A_M}{A_T}$$

*APÉNDICE*

**Informe sobre los cálculos**

1. Nombre comercial o marca del vehículo: . . . . . .
2. Tipo de vehículo: . . . . . .
3. Fabricante: . . . . . .
4. Altura del centro de gravedad de la masa suspendida: . . . . . .
5. Peso no suspendido de todos los ejes: . . . . . .
6. Altura nominal del eje de balanceo de la suspensión de todos los ejes: . . . . . .
7. Resistencia al balanceo de la suspensión de todos los ejes: . . . . . .
8. Flexibilidad vertical del neumático (incluido el efecto doble de los neumáticos gemelos): . . . . . .
9. En el caso de los neumáticos gemelos, anchura de los mismos: . . . . . .
10. Resultado del cálculo, $q_c$ = . . . . . .
11. Servicio técnico que realizó los cálculos: . . . . . .
12. Fecha: . . . . . .
13. Firma: . . . . . .