

PARTE IV

**MÉTODOS DE PRUEBA RELATIVOS AL
EQUIPO DE TRANSPORTE**

ÍNDICE DE LA PARTE IV

Sección		Page
40	INTRODUCCIÓN A LA PARTE IV	419
40.1	OBJETIVO.....	419
40.2	ÁMBITO DE APLICACIÓN	441
41.	PRUEBA DINÁMICA DE RESISTENCIA A LOS CHOQUES LONGITUDINALES PARA CISTERNAS PORTÁTILES Y CONTENEDORES DE GAS DE ELEMENTOS MÚLTIPLES (CGEM)	421
41.1	GENERALIDADES	421
41.2	VARIANTES AUTORIZADAS DE LOS DISEÑOS EXISTENTES	421
41.3	APARATOS DE PRUEBA.....	422

SECCIÓN 40

INTRODUCCIÓN A LA PARTE IV

40.1 Objetivo

40.1.1 En la parte IV del presente Manual se exponen los esquemas de las Naciones Unidas para la prueba dinámica de resistencia a los impactos longitudinales para cisternas portátiles y CGEM (véase la sección 41 del presente Manual y los párrafos 6.7.2.19.1, 6.7.3.15.1, 6.7.4.14.1 y 6.7.5.12.1 de la Reglamentación Modelo).

40.2 Ámbito de aplicación

40.2.1 Se aplicarán los métodos de prueba de la presente parte cuando así se estipule en la Reglamentación Modelo.

SECCIÓN 41

PRUEBA DINÁMICA DE RESISTENCIA A LOS CHOQUES LONGITUDINALES PARA CISTERNAS PORTÁTILES Y CONTENEDORES DE GAS DE ELEMENTOS MÚLTIPLES (CGEM)

41.1 Generalidades

41.1.1 Esta prueba tiene por objeto determinar la capacidad de las cisternas portátiles y CGEM de resistir a los efectos de un choque longitudinal, como se estipula en 6.7.2.19.1, 6.7.3.15.1, 6.7.4.14.1 y 6.7.5.12.1 de la Reglamentación Modelo.

41.1.2 Un prototipo de cada modelo de cisterna portátil y de cada CGEM que responda a la definición de "contenedor" dada en el Convenio internacional sobre la seguridad de los contenedores (CSC), de 1972, en su forma enmendada, deberá someterse a la prueba dinámica de resistencia a los choques longitudinales, y satisfacer las exigencias de esta prueba. Las pruebas estarán a cargo de servicios reconocidos para este propósito por la autoridad competente.

41.2 Variantes autorizadas de los diseños existentes

Se autorizan, sin pruebas adicionales, las siguientes variantes del diseño de un contenedor, con respecto a un prototipo ya aprobado:

41.2.1 *Cisternas portátiles*

- a) Una reducción de la capacidad no superior al 10% o un aumento de la capacidad no superior al 20%, como consecuencia de variaciones del diámetro y de la longitud;
- b) Una disminución de la masa bruta máxima admisible;
- c) Un aumento del espesor de las paredes, sin variación de la presión y de la temperatura de cálculo;
- d) Un cambio de la calidad del material de construcción, siempre que el límite de elasticidad autorizado sea igual o superior al de la cisterna portátil probada;
- e) Un cambio de emplazamiento o una modificación de las boquillas y bocas de inspección.

41.2.2 *CGEM*

- a) Una disminución de la temperatura de cálculo inicial máxima, sin variación del espesor;
- b) Un aumento de la temperatura de cálculo inicial mínima, sin variación del espesor;
- c) Una disminución de la masa bruta máxima;
- d) Una reducción de la capacidad, no superior al 10%, resultante únicamente de variaciones en el diámetro o la longitud;
- e) Un cambio de emplazamiento o una modificación de las toberas y bocas de hombre siempre que:
 - i) se mantenga un nivel equivalente de protección; y

- ii) se use la configuración menos favorable para los cálculos de resistencia de la cisterna;
- f) Un aumento del número de deflectores y rompeolas;
- g) Un aumento de espesor de las paredes, siempre que éste se mantenga dentro de los límites tolerados por las especificaciones relativas a los procedimientos de soldadura;
- h) Una disminución de la presión de servicio máxima autorizada, o de la presión máxima de servicio, sin variación del espesor:
 - i) Un aumento de la eficacia del sistema de aislamiento gracias al uso de:
 - i) un mayor espesor del mismo material de aislamiento; o
 - ii) el mismo espesor de otro material de aislamiento con mejores propiedades de aislamiento;
- j) Un cambio en el equipo de servicio siempre que el equipo de servicio no probado:
 - i) esté ubicado en el mismo lugar y satisfaga o supere las mismas especificaciones relativas al comportamiento del equipo actual; y
 - ii) sea de tamaño y masa aproximadamente similares a los del equipo existente; y
- k) El uso de un material del mismo tipo pero de calidad diferente para la construcción del mismo depósito o estructura, siempre que:
 - i) los resultados de los cálculos de diseño para este material de calidad diferente, usando los valores de resistencia mecánica menos favorables para esa calidad, sean equivalentes o superiores a los resultados de los cálculos de diseño para el material existente; y
 - ii) las especificaciones relativas a los procedimientos de soldadura admitan el uso de este material de calidad diferente.

41.3 Aparatos de prueba

41.3.1 *Plataforma de prueba*

La plataforma de prueba puede ser cualquier estructura adecuada capaz de absorber sin sufrir daños significativos un choque de la intensidad prescrita, estando el contenedor sometido a prueba firmemente montado en su lugar. La plataforma de prueba deberá estar:

- a) configurada de manera que el contenedor sometido a prueba pueda montarse lo más cerca posible del extremo de choque;
- b) dotada de cuatro dispositivos de fijación, en buenas condiciones, para fijar el contenedor sometido a prueba conforme a lo dispuesto en la norma ISO 1161:1984 (Contenedores de la serie 1 - Cantoneras - Especificaciones); y
- c) dotada de un dispositivo amortiguador que permita que la duración del choque sea adecuada.

41.3.2 *Producción del choque*

41.3.2.1 El choque se producirá por:

- a) percusión de la plataforma de prueba contra una masa estacionaria; o
- b) percusión de una masa en movimiento contra la plataforma de prueba.

41.3.2.2 Cuando la masa estacionaria esté constituida por dos o más vehículos ferroviarios acoplados, cada uno de ellos deberá estar dotado de dispositivos de amortiguamiento. Se eliminará la holgura entre los vehículos y se ajustarán los frenos de cada uno.

41.3.3 *Sistema de medición y registro*

41.3.3.1 Salvo que se especifique otra cosa, el sistema de medición y registro será el especificado en la norma ISO 6487:2002 (Vehículos de carretera - Técnicas de medición para las pruebas de choque - Instrumentación).

41.3.3.2 Se dispondrá del equipo siguiente para la prueba:

- a) Dos acelerómetros con una gama de amplitud mínima de 200 g, un límite inferior de frecuencia máximo de 1 Hz y un límite superior de frecuencia mínimo de 3.000 Hz. Cada acelerómetro se ajustará rígidamente al contenedor sometido a prueba en el extremo exterior o en la superficie lateral de las dos cantoneras inferiores adyacentes más cercanas a la fuente de los choques. Los acelerómetros se alinearán para medir la aceleración en el eje longitudinal del contenedor. El método preferido consiste en fijar cada acelerómetro a una placa de fijación plana mediante pernos y sujetar las placas de fijación a las cantoneras;
- b) Un medio que permita medir la velocidad de la plataforma de prueba en movimiento o de la masa en movimiento en el momento del impacto;
- c) Un sistema de toma de datos analógico-numérico capaz de registrar las perturbaciones causadas por el choque como un registro de la aceleración en función del tiempo a una frecuencia de muestreo mínima de 1.000 Hz. El sistema de toma de datos deberá incorporar un filtro analógico de paso bajo antialiasing, con una frecuencia ajustada para un mínimo de 200 Hz y un máximo del 20% de la tasa de muestreo, y una tasa de pérdida por decrecimiento de 40 dB/octava; y
- d) Un medio de registro de los historiales de la aceleración en función del tiempo en formato electrónico, de modo que puedan ser recuperados y analizados ulteriormente.

41.3.4 *Procedimiento*

41.3.4.1 Podrá llenarse el contenedor que vaya a someterse a prueba antes o después de montarlo en la plataforma de prueba, como sigue:

- a) Cisternas portátiles: Se llenará la cisterna con agua o cualquier otra sustancia no sometida a presión hasta un 97% de su capacidad volumétrica. No se someterá la cisterna a presión durante la prueba. Si por razones de posible sobrecarga no es conveniente llenar la cisterna hasta el 97% de su capacidad, se llenará la cisterna de manera que la masa del contenedor que vaya a someterse a prueba (tara y producto) se aproxime lo más posible a su masa nominal máxima (R);
- b) CGEM: Cada elemento se llenará con una cantidad igual de agua o de cualquier otra sustancia no sometida a presión. El CGEM se llenará de manera que su masa se aproxime lo más posible a su masa nominal máxima (R) pero en todo caso, sin sobrepasar

el 97% de su capacidad volumétrica. No se someterá el CGEM a presión durante la prueba. No es preciso llenar un CGEM cuando su tara sea igual o superior al 90% de R.

41.3.4.2 Se medirá y registrará la masa del contenedor preparado para la prueba.

41.3.4.3 Se orientará el contenedor de prueba de manera que se obtengan las condiciones de prueba más extremas. Se montará el contenedor en la plataforma de prueba, lo más cerca posible del extremo de impacto, asegurando sus cuatro cantoneras para impedir todo movimiento en cualquier dirección. Se reducirá al mínimo toda holgura entre las cantoneras del contenedor que se somete a prueba y los dispositivos de fijación en el extremo de choque de la plataforma de prueba. En particular, las masas de choque deberán poder rebotar libremente tras el impacto.

41.3.4.4 Se producirá un choque (véase 41.3.2) tal que para un impacto único la curva del espectro de respuesta a los choques (ERC, véase 41.3.5.1) en ambas cantoneras del extremo de choque sea igual o superior a la curva ERC mínima de la figura 41.3.5.1 para todas las frecuencias comprendidas entre 3 Hz y 100 Hz. Podrá ser necesaria una sucesión de choques para lograr este resultado, pero se evaluarán individualmente los resultados de cada choque.

41.3.4.5 Inmediatamente después de un choque como el descrito en 41.3.4.4, se examinará el contenedor sometido a prueba y se registrarán los resultados. Para satisfacer la prueba, el contenedor no deberá presentar fugas, deformaciones o daños permanentes que lo descalifiquen para su uso, y deberá satisfacer los requisitos dimensionales en relación con su manipulación, fijación y transferencia de un medio de transporte a otro.

41.3.5 *Procesamiento y análisis de los datos*

41.3.5.1 *Sistema de reducción de datos*

- a) Los registros de datos de la aceleración en función del tiempo de cada canal se reducirán al espectro de respuesta a los choques, asegurando que los espectros se presenten en forma de aceleración estática equivalente en función de la frecuencia. Se registrará la aceleración máxima absoluta para cada uno de los puntos de interrupción especificados. Para la reducción de los datos se aplicarán los criterios siguientes:
 - i) Cuando sea necesario, se obtendrán valores corregidos del registro de aceleración de choque en función del tiempo, usando el procedimiento descrito en 41.3.5.2;
 - ii) Los datos del registro aceleración-tiempo abarcarán el período iniciado 0,05 s antes del choque hasta 2,0 s después del choque;
 - iii) El análisis abarcará la gama de frecuencias de 2 a 100 Hz y el cálculo de los puntos de la curva de respuesta a los choques se hará para un mínimo de 30 puntos de interrupción por octava. Cada punto o intervalo de interrupción de la gama constituirá una frecuencia natural; y
 - iv) Se usará en el análisis una razón de amortiguamiento del 5%.
- b) El cálculo de los puntos de la curva de respuesta a los choques de la prueba se hará conforme a lo descrito a continuación. Para cada intervalo de interrupción de frecuencia:

Se calculará una matriz de los valores de desplazamiento relativos usando todos los puntos obtenidos del registro de la aceleración en función del tiempo, usando la ecuación siguiente:

$$\xi_i = -\frac{\Delta t}{\omega_d} \sum_{k=0}^i \ddot{X}_k e^{-\zeta \omega_n \Delta t (i-k)} \sin [\omega_d \Delta t (i-k)]$$

Siendo:

- Δt = intervalo de tiempo entre los valores de la aceleración;
- ω_n = frecuencia natural no amortiguada (en radianes);
- ω_d = frecuencia natural amortiguada = $\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$;
- \ddot{x}_k = késimo valor de los datos de entrada de la aceleración;
- ζ = razón de amortiguamiento;
- i = número entero, que varía entre 1 y el número de puntos de datos de entrada de la aceleración;
- k = Parámetro usado en el sumatorio, que varía entre 0 y el valor actual de i ;

- ii) Se calculará una matriz de las aceleraciones relativas usando los valores del desplazamiento obtenidos en la etapa i en la ecuación siguiente:

$$\ddot{\xi}_i = 2\zeta\omega_n \Delta t \sum_{k=0}^i \ddot{x}_k e^{-\zeta\omega_n \Delta t (i-k)} \cos [\omega_d \Delta t (i-k)] + \omega_n^2 (2\zeta^2 - 1) \xi_i$$

- iii) Se retendrá el valor de la aceleración máxima absoluta de la matriz generada en la etapa ii para el intervalo de frecuencias de que se trate. Este valor será el punto de la curva ERC para este intervalo de frecuencias. Se repetirá la etapa i para cada frecuencia natural hasta que se hayan evaluado todos los intervalos de frecuencias naturales;
- iv) Se trazará la curva del espectro de respuesta a los choques de la prueba.

41.3.5.2 *Método de corrección a escala de los valores medidos del registro aceleración-tiempo para compensar el defecto o exceso de masa de ciertos contenedores*

Cuando la suma de la masa útil de prueba más la tara del contenedor sometido a prueba sea inferior a la masa nominal máxima del contenedor sometido a prueba, se aplicará un factor de corrección a los valores de la aceleración medidos en función del tiempo para el contenedor sometido a prueba, como sigue:

Los valores corregidos de la aceleración en función del tiempo, $Acc(t)$ (corregido), se calcularán a partir de los valores medidos de la aceleración en función del tiempo usando la fórmula siguiente:

$$Acc(t)_{(corregido)} = Acc(t)_{(medido)} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta M}{M1 + M2}}}$$

Siendo:

- $Acc(t)_{(medido)}$ = valor real medido en función del tiempo;
- $M1$ = masa de la plataforma de prueba, sin el contenedor sometido a prueba;
- $M2$ = masa real de prueba (incluida la tara) del contenedor sometido a prueba;
- R = masa nominal máxima (incluida la tara) del contenedor de prueba;
- ΔM = $R - M2$;

Los valores del ERC de la prueba se generarán a partir de los valores $Acc(t)$ (corregido).

41.3.6 *Instrumentos defectuosos*

Si la señal obtenida de un acelerómetro no es fiable, la prueba podrá ser confirmada usando el ERC de un acelerómetro fiable tras tres choques consecutivos, a condición de que el ERC de cada uno de los tres choques sea igual o superior a la curva ERC mínima.

41.3.7 *Método sustitutivo de confirmación de la severidad de la prueba para cisternas portátiles con un armazón de 20 pies (6,1 m) de longitud*

41.3.7.1 Si el diseño de una cisterna o contenedor sometidos a prueba difiere considerablemente del de otros contenedores sometidos con éxito a esta prueba y las curvas ERC obtenidas presentan las características deseadas pero se mantienen por debajo de la curva ERC mínima, podrá considerarse aceptable la severidad de la prueba si se realizan tres choques sucesivos, como sigue:

- a) Un primer choque a una velocidad superior al 90% de la velocidad crítica mencionada en 41.3.7.2; y
- b) Los choques segundo y tercero a una velocidad superior al 95% de la velocidad crítica mencionada en 41.3.7.2.

41.3.7.2 El método de validación sustitutivo descrito en 41.3.7.1 se usará únicamente cuando se haya determinado de antemano la "velocidad crítica" de la plataforma. La velocidad crítica es la velocidad a la cual los dispositivos de amortiguamiento de la plataforma alcanzan sus niveles máximos de desplazamiento y su capacidad de absorción de energía máxima, más allá de los cuales se alcanza o supera normalmente la curva ERC mínima. La velocidad crítica deberá haberse determinado para un mínimo de cinco pruebas bien documentadas en cinco contenedores cisternas diferentes. En cada una de esas pruebas deberá haberse usado el mismo equipo, el mismo sistema de medición y el mismo procedimiento.

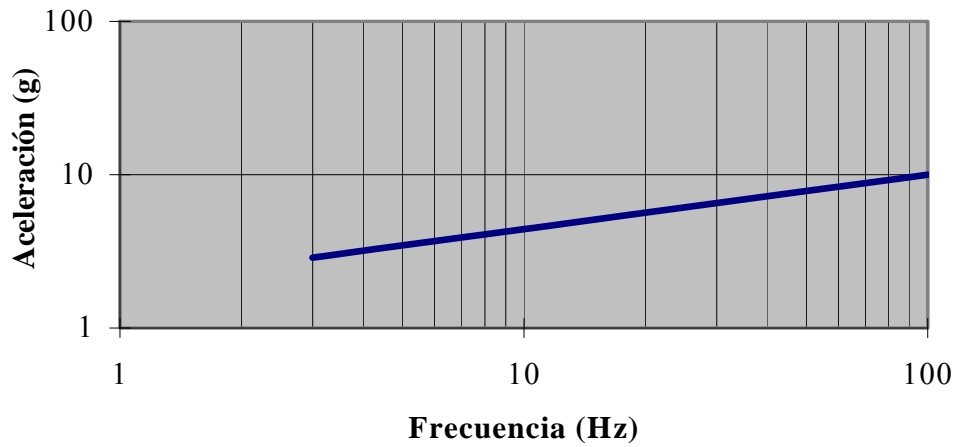
41.3.8 *Registro de los datos*

41.3.8.1 En la aplicación de este procedimiento se registrarán como mínimo los datos siguientes:

- a) Fecha, hora, temperatura ambiente y lugar de la prueba;
- b) Tara del contenedor, masa nominal máxima del contenedor y masa útil durante la prueba;
- c) Fabricante del contenedor, tipo de contenedor, número de registro, si procede, y códigos y autorizaciones de diseño certificados, si procede;
- d) Masa de la plataforma de prueba;
- e) Velocidad de choque;
- f) Dirección del choque respecto del contenedor; y
- g) Para cada choque, un registro de la aceleración en función del tiempo para cada cantonera provista de instrumentos de medición.

Figura 41.3.5.1: Curva ERC mínima

ERC MÍNIMA (AMORTIGUAMIENTO 5%)



Ecuación para generar la curva ERC mínima arriba indicada: $ACCEL = 1,95 \text{ FREQ}^{0,355}$

Cuadro 41.3.5.1: Representación tabular de algunos puntos de la curva ERC mínima arriba indicada

FRECUENCIA (Hz)	ACELERACIÓN (g)
3	2,88
10	4,42
100	10,0

