



Secretaría

Distr.
GENERAL

ST/SG/AC.10/32/Add.2
23 de febrero de 2005

ESPAÑOL
Original: FRANCÉS E INGLÉS

COMITÉ DE EXPERTOS EN TRANSPORTE
DE MERCADERÍAS PELIGROSAS Y EN EL
SISTEMA MUNDIALMENTE ARMONIZADO
DE CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
DE PRODUCTOS QUÍMICOS

**INFORME DEL COMITÉ DE EXPERTOS SOBRE SU
SEGUNDO PERÍODO DE SESIONES**

(Ginebra, 10 de diciembre de 2004)

Adición 2

Anexo 2

**Enmiendas a la cuarta edición revisada de las Recomendaciones
relativas al transporte de mercancías peligrosas,
Manual de Pruebas y Criterios**

El presente anexo contiene enmiendas a la cuarta edición revisada de las Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas, Manual de Pruebas y Criterios (ST/SG/AC.10/11/Rev.4), aprobadas por el Comité en su segundo período de sesiones.

**ENMIENDAS A LA CUARTA EDICIÓN REVISADA DE LAS
RECOMENDACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE
DE MERCANCÍAS PELIGROSAS, MANUAL DE
PRUEBAS Y CRITERIOS**

(Documento ST/SG/AC.10/11/Rev.4)

Sección 1

Insértese la siguiente NOTA después de "INTRODUCCIÓN GENERAL":

"NOTA: La presente introducción general se aplica únicamente con las partes I a III del Manual de Pruebas y Criterios y sus apéndices 1 a 6. En su segundo período de sesiones (10 de diciembre de 2004), el Comité de Expertos en Transporte de Mercaderías Peligrosas y en el Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos decidió de una nueva parte IV relativa a los métodos de prueba en relación con el equipo de transporte."

PARTE II

Sección 20

20.2.1 b) Enmiéndese como sigue:

"b) Sean comburentes conforme al procedimiento de clasificación relativo a la división 5.1 (véase la sección 34) excepto que las mezclas de comburentes que contengan por lo menos un 5,0% de sustancias orgánicas combustibles se someterán al procedimiento de clasificación definido en la NOTA siguiente;"

Añádase una nueva NOTA del tenor siguiente:

"NOTA: Las mezclas de comburentes que satisfagan los criterios de la división 5.1 que contengan por lo menos un 5,0% de sustancias orgánicas combustibles, pero que no satisfagan los criterios mencionados en a), c), d) o e) supra, deberán someterse al procedimiento de clasificación de las sustancias de reacción espontánea.

Las mezclas que presenten las propiedades de una sustancia de reacción espontánea, de los tipos B a F, se clasificarán como sustancias de reacción espontánea de la división 4.1.

Las mezclas que presenten las propiedades de una sustancia de reacción espontánea, del tipo G, de conformidad con el principio enunciado en 20.4.2 g), se considerarán para los fines de su clasificación como sustancias de la división 5.1 (véase la sección 34)."

PARTE IV

Añádase una nueva parte IV del tenor siguiente:

"PARTE IV

MÉTODOS DE PRUEBA RELATIVOS AL EQUIPO DE TRANSPORTE

Sección 40

INTRODUCCIÓN A LA PARTE IV

40.1 Objetivo

40.1.1 En la parte IV del Manual de Pruebas se exponen los sistemas de las Naciones Unidas para la prueba dinámica de resistencia a los impactos longitudinales de las cisternas portátiles y CGEM (véase la sección 41 del presente Manual y 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 La intención de esta prueba es 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, de 1972, en su forma enmendada (CSC), 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 modelos existentes

Se autorizarán sin necesidad de pruebas adicionales las siguientes variantes en el diseño de los contenedores, en relación con prototipos ya probados:

- 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 registros 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 chapas de balance;
- 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 trabajo máxima autorizada, o de la presión de trabajo máxima, 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 daño significativo un choque de la intensidad prescrita, estando el contenedor de prueba firmemente montado en posición fija. La plataforma de prueba deberá estar:

- a) Configurada de manera que el contenedor de 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 de prueba de conformidad con la norma ISO 1161:1984 (Contenedores de la serie 1 - Cantoneras - Especificaciones); y
- c) Dotada de un dispositivo amortiguador para facilitar un choque de duración adecuada.

41.3.2 *Producción del choque*

41.3.2.1 El choque se producirá por:

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

41.3.2.2 Cuando la masa estacionaria consista en dos o más vehículos ferroviarios acoplados, cada vehículo ferroviario deberá estar dotado de dispositivos de amortiguamiento. Se eliminará el huelgo 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 para la prueba del equipo siguiente:

- a) Dos acelerómetros con una gama de amplitud mínima de 200 g, un límite de frecuencia inferior máximo de 1 Hz y un límite de frecuencia superior mínimo de 3.000 Hz. Cada acelerómetro se ajustará rígidamente al contenedor de 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) Algún 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 adquisición de datos analógico-numérico capaz de registrar las perturbaciones causadas por el choque como un historial de la aceleración en función del tiempo para una frecuencia de muestreo mínima de 1.000 Hz. El sistema de adquisición de datos incorpora un filtro de paso bajo analógico antialias, de frecuencia ajustada para un mínimo de 200 Hz y un máximo del 20% de la tasa de muestreo, con una tasa de pérdida por decrecimiento de 40 dB/octava; y
- d) Un medio de almacenamiento de los historiales de la aceleración en función del tiempo en formato electrónico, de modo de poder recuperarlos y analizarlos ulteriormente.

41.3.4 Procedimiento

41.3.4.1 Podrá llenarse el contenedor de 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 sobrecarga potencial no conviene llenar la cisterna hasta el 97% de su capacidad, se llenará la cisterna de manera que la masa del contenedor de 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 presurizará el CGEM 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 rigurosas. 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 a un mínimo todo huelgo entre las cantoneras del contenedor de prueba y los dispositivos de fijación en el extremo de percusión 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 (SRS, véase 41.3.5.1) en ambas cantoneras del extremo de percusión sea igual o superior a la curva SRS mínima de la figura 1 para todas las frecuencias comprendidas entre 3 Hz y 100 Hz. Podrá precisarse de una sucesión de impactos 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 de 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 datos de la aceleración *versus* 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 la forma de la 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) De ser necesario, se obtendrán valores corregidos del historial de choques en función del tiempo, usando el procedimiento descrito en la sección 41.3.5.2;
 - ii) Los datos del historial aceleración-tiempo abarcarán el período iniciado 0,05 segundos antes del choque hasta 2,0 segundos 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:
 - i) Se calculará una matriz de los valores de desplazamiento relativos usando todos los puntos obtenidos del historial de la aceleración en función del tiempo, usando la ecuación siguiente:

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

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 = k_{vo} 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 la sumatoria, 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 SRS 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 sensibilidad a los choques de la prueba.

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

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

$$Acc(t)_{(corregido)} = Acc(t)_{(medido)} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta M}{M_1 + M_2}}}$$

Siendo:

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

Los valores del SRS de la prueba se generarán a partir de la 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 SRS de un acelerómetro fiable tras tres choques consecutivos, a condición de que el SRS de cada uno de los tres choques sea igual o superior a la curva SRS 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 de prueba es considerablemente diferente del de otros contenedores sometidos con éxito a esta prueba y las curvas SRS obtenidas presentan las características deseadas pero se mantienen por debajo de la curva SRS 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 SRS 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*

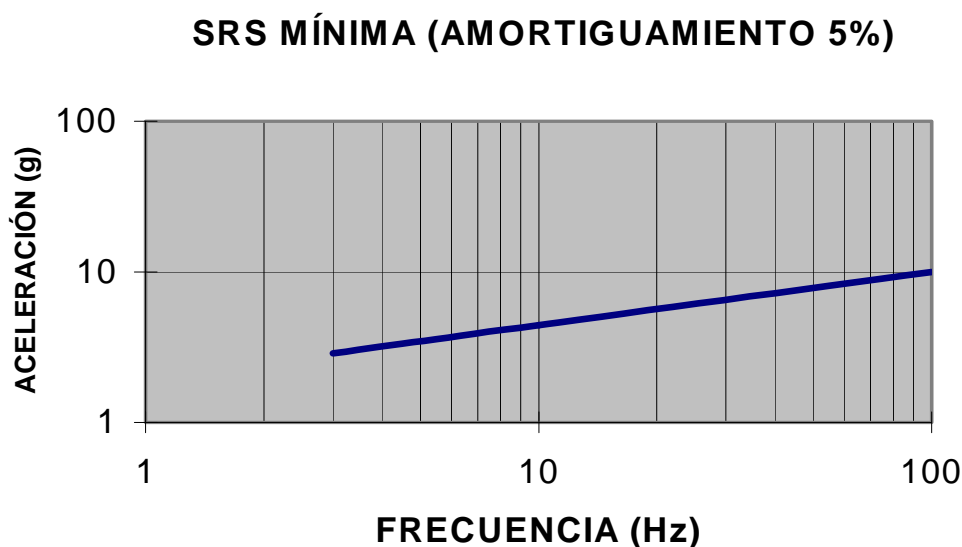
41.3.8.1 En la aplicación de este procedimiento se registrarán como mínimo los datos siguientes:

- 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 historial de la aceleración en función del tiempo para cada cantonera provista de instrumentos de medición.

Figura 41.1

Curva SRS mínima



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

Cuadro 41.1

Representación tabular de algunos puntos de la curva SRS mínima arriba indicada

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

”

APÉNDICES

APÉNDICE 5

Enmiéndese como sigue:

"APÉNDICE 5

EJEMPLO DE MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS SISTEMAS DE ESCAPE DE LAS CISTERNAS

1. Introducción

Este ejemplo de método de dimensionamiento de las aberturas de emergencia se utiliza para determinar la capacidad del sistema de escape que debe montarse en determinado RIG o cisterna para determinado peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea del Tipo F, o un preparado de éstos. El método se funda en datos experimentales que indican que, en el caso de los preparados de peróxidos orgánicos, o sustancias de reacción espontánea, la relación entre la superficie mínima de ventilación de emergencia y la capacidad del RIG o de la cisterna es constante y puede determinarse utilizando una cisterna a escala reducida, con una capacidad de 10 litros. En las pruebas, se calienta la cisterna de escala reducida a intensidades equivalentes a la necesaria para que la muestra quede totalmente envuelta en llamas o, en el caso de los RIG o cisternas portátiles provistos de aislamiento, a la transmisión de calor a través del aislamiento, en el supuesto de que falte el 1% del aislamiento (véanse los párrafos 4.2.1.13.8 y 4.2.1.13.9 de la Reglamentación Modelo). Pueden utilizarse otros métodos, a condición de que permitan calcular correctamente las dimensiones del o de los dispositivos de emergencia en un RIG o una cisterna portátil a fin de expulsar todos los materiales emitidos durante la descomposición autoacelerada o en un período mínimo de una hora durante el cual la muestra queda totalmente envuelta en llamas.

Advertencia: En este método no se tiene en cuenta la posibilidad de iniciación de una deflagración. Si existe esta posibilidad, especialmente si la iniciación de la fase de vapor puede propagarse a la fase líquida, deben efectuarse pruebas que lo tengan en cuenta.

2. Aparatos y materiales

La cisterna a escala reducida consiste en un recipiente de acero inoxidable, de un volumen aproximado de 10 litros. La parte superior de la cisterna está provista de una abertura de 1 mm de diámetro, que actúa de válvula de reducción de la presión del RIG o de la cisterna portátil, o de una verdadera válvula de reducción de la presión con un diámetro reducido a escala con arreglo a la relación entre la superficie de ventilación y el volumen del recipiente. Hay una segunda abertura, que actúa de dispositivo de emergencia, cerrada por una cápsula de seguridad. El diámetro de esta abertura puede modificarse utilizando discos perforados de distintos diámetros. La presión de rotura de la cápsula sujeta al recipiente de 10 litros debe ser igual a la presión máxima de rotura de las cápsulas de seguridad que deben montarse en el RIG o la cisterna portátil. Esta presión debe ser inferior a la presión de prueba de la cisterna de que se trate. En general, la presión de rotura se fija a un nivel que permita hacer frente a las presiones

que se encuentran en las condiciones normales de transporte, tal como la presión hidrostática del líquido como consecuencia del vuelco de la cisterna, del derrame de su contenido, etc. El recipiente de 10 litros debe estar dotado de una cápsula de seguridad ajustada para una presión correspondiente a la cápsula o a las cápsulas montadas en la cisterna o el RIG durante el transporte. Por razones de seguridad, se recomienda que el recipiente de prueba esté provisto de otra cápsula de seguridad adicional (con una presión de rotura equivalente al 80% aproximadamente de la presión de diseño del recipiente de 10 litros) con una abertura de gran tamaño que sirva como medio de ventilación adicional de urgencia en caso de que el diámetro elegido resulte demasiado pequeño.

La superficie exterior del recipiente de prueba, por debajo del nivel del líquido, va provista de un serpentín de calentamiento eléctrico o calentadores de cartucho, conectados a una fuente de energía. El contenido de la cisterna debe calentarse a una velocidad constante, independientemente del calor que genera el peróxido orgánico o la sustancia de reacción espontánea. La resistencia del serpentín debe ser tal que, con la energía disponible, se pueda alcanzar la velocidad de calentamiento prevista (véase la sección 3). Debe aislarse todo el aparato con lana mineral, vidrio celular o fibra cerámica.

La temperatura en el interior de la cisterna se mide por medio de tres termopares, dos colocados en la fase líquida (cerca del extremo superior y del fondo) y el tercero en la fase gaseosa. Los dos primeros se utilizan en la fase líquida para verificar la homogeneidad del calentamiento. Se mide la presión mediante uno o varios transductores de presión capaces de registrar cambios lentos y rápidos de presión (por lo menos 1.000 puntos/segundo). En la figura A5.1 se representan ejemplos de cisternas objeto de la prueba. Puede obtenerse información adicional si la cisterna se monta sobre una bandeja destinada a recoger las sustancias sólidas y líquidas expulsadas.

Las pruebas deben efectuarse en un lugar que disponga de las distancias de seguridad apropiadas. También pueden efectuarse en un recinto de hormigón provisto de aberturas de ventilación y de escape para impedir que se produzca un aumento excesivo de la presión. Debe emplearse equipo eléctrico a prueba de explosión en el recinto de hormigón a fin de reducir al mínimo el riesgo de inflamación. ***No obstante, las pruebas deben efectuarse partiendo del supuesto de que los productos de descomposición van a inflamarse.***

3. Cálculo de la velocidad de calentamiento que ha de utilizarse en la prueba

Si un RIG o una cisterna no tiene aislamiento, debe aplicarse al depósito una carga térmica tal como se indica en el párrafo 4.2.1.13.8 de la Reglamentación Modelo. Para un RIG o una cisterna con aislamiento, la Reglamentación Modelo prescribe que la carga térmica aplicada al depósito sea equivalente a la transmisión de calor a través del aislamiento más la carga térmica aplicada al depósito en el supuesto de que falte el 1% del aislamiento.

Para calcular la velocidad de calentamiento se precisa de la información siguiente sobre el RIG o la cisterna portátil y el peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea:

F_r	= Parte de la cisterna calentada directamente (1 si no tiene aislamiento; 0,01 si lo tiene)	[-]
M_t	= Masa total del peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea y el diluyente	[kg]
K	= Conductividad térmica de la capa aislante	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
L	= Espesor de la capa aislante	[m]
U	= K/L = coeficiente de transmisión de calor	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
A	= Superficie de la parte mojada del RIG o de la cisterna portátil	[m ²]
C_p	= Calor específico del preparado de peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
T_{po}	= Temperatura del preparado de peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea cuando se acciona la válvula	[K]
q_i	= Calor por exposición indirecta	[W]
q_d	= Calor por exposición directa	[W]
F	= Factor de aislamiento	[-]

El consumo calorífico, q_i (W), a través de la superficie *indirectamente* expuesta (parte aislada) se calcula mediante las ecuaciones (1) y (2):

$$q_i = 70961 \times F \times [(1 - F_r) \times A]^{0,82} \quad (1)$$

Siendo:

F = Factor de aislamiento;
 $F = 1$ para los depósitos no aislados, o

$$F = 2 \times \frac{U(923 - T_{po})}{47032} \quad \text{para los depósitos aislados} \quad (2)$$

En el cálculo de F se introduce un factor multiplicador de 2 para tener en cuenta una pérdida de eficiencia del aislamiento del 50% en caso de accidente.

El consumo calorífico, q_d (W) a través de la superficie *directamente* expuesta (parte sin aislamiento) se calcula por la ecuación (3)

$$q_d = 70961 \times F \times [F_r \times A]^{0,82} \quad (3)$$

Siendo:

F = Factor de aislamiento = 1 (sin aislamiento)

La velocidad global de calentamiento, dT/dt (en K/min), cuando la cisterna queda envuelta en llamas, se calcula mediante la ecuación (4):

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(q_i + q_d)}{M_t C_p} 60 \quad (4)$$

Ejemplo 1: cisterna aislada

Para una cisterna corriente de 20 m³, con aislamiento:

F_r	= Parte de la cisterna calentada directamente	= 0,01
M_t	= Masa total del peróxido orgánico o de la sustancia de reacción espontánea y del diluyente	= 16.268 kg
K	= Conductividad térmica de la capa aislante	= 0,031 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
L	= Espesor de la capa aislante	= 0,075 m
U	= Coeficiente de transmisión de calor	= 0,4 W.m ⁻² .K ⁻¹
A	= Superficie mojada de la cisterna portátil	= 40 m ²
C_p	= Calor específico del preparado de peróxido orgánico	= 2.000 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
T_{po}	= Temperatura del peróxido cuando se activa la válvula	= 100°C

y

$$q_i = 70961 \times 2 \times \frac{0,4 \times (923 - 373)}{47032} \times [(1 - 0,01) \times 40]^{0,82} = 13558 \text{ W}$$

$$q_d = 70961 \times 1 \times [0,01 \times 40]^{0,82} = 33474 \text{ W}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(13558 + 33474)}{16268 \times 2000} \times 60 = 0,086 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$$

Ejemplo 2: RIG no aislado

Para un RIG típico de acero inoxidable no aislado de 1,2 m³ (calor directo únicamente, q_d):

F_r	= Fracción de la cisterna directamente calentada	= 1
M_t	= Masa total de peróxido orgánico y diluyente	= 1.012 kg
A	= Superficie mojada del RIG	= 5,04 m ²
C_p	= Calor específico del preparado de peróxido orgánico	= 2.190 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹

y

$$q_d = 70961 \times 1 \times [1 \times 5,04]^{0,82} = 267308 \text{ W}$$

$$q_d = 0$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(0 + 267308)}{1012 \times 2190} \times 60 = 7,2 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$$

4. Procedimiento

Se llena el depósito del recipiente objeto de la prueba con la cantidad de peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea necesaria para dar la misma tasa de llenado (en volumen del

depósito) que la que se utiliza en la cisterna (tasa máxima de llenado, 90%, en volumen) y se instalan la placa perforada prescrita¹ y la cápsula de seguridad. Normalmente, para una cisterna de 20 toneladas se emplean cuatro cápsulas de seguridad de 250 mm, que corresponden a un diámetro de orificio de unos 11 mm en el recipiente de prueba.

Se calienta el recipiente a la velocidad deseada aplicando corriente al serpentín de calentamiento superior a la calculada hasta que se alcance una temperatura que esté 5°C por encima de la temperatura de descomposición autoacelerada (para un bulto de 50 kg) del peróxido orgánico o de la sustancia de reacción espontánea. La velocidad de calentamiento calculada debe aplicarse desde el momento en que se alcanza esta temperatura. Se registran la temperatura y la presión del recipiente durante toda la prueba. Tras la rotura de la cápsula de seguridad, se continúa aplicando calor durante unos 30 minutos más para estar seguro de que se miden todos los efectos peligrosos. ***Una vez terminada la prueba, no hay que acercarse al recipiente hasta que se haya enfriado su contenido.***

El diámetro del orificio debe variarse (en caso necesario) hasta que se determine la abertura apropiada en la que la presión máxima registrada no sea superior a la presión especificada en la sección 5, *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*. Las dimensiones escalonadas que se utilicen deben guardar relación con las opciones de que se disponga en la práctica para las cisternas, es decir, utilizando aberturas de diámetro mayor o un mayor número de ellas. De ser necesario puede reducirse la concentración de peróxido orgánico o sustancias de reacción espontánea. La prueba debe efectuarse dos veces con la superficie total mínima de ventilación que tenga una capacidad suficiente.

5. Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados

La superficie mínima o adecuada (si se admite la utilización de una abertura de tamaño superior al mínimo) de la superficie de ventilación de un RIG o de una cisterna (A_{RIG} o $A_{cisterna}$ en m²) puede calcularse utilizando la superficie mínima o adecuada de orificio determinada en la prueba de la cisterna de 10 l en que la presión máxima durante la apertura es:

- para cisternas, inferior o igual a la presión de prueba de la cisterna (conforme al párrafo 4.2.1.13.4 la cisterna se diseñará para una presión de prueba de por lo menos 0,4 MPa),
- para los RIG, una presión manométrica inferior o igual a 200 kPa, medida durante la prueba conforme a lo señalado en el párrafo 6.5.4.8.4, o superior a esta presión, con sujeción a la aprobación de la autoridad competente,

y los volúmenes del recipiente de prueba y del RIG o cisterna.

¹ Se recomienda que, antes de someter a prueba el recipiente de 10 litros, se efectúen ensayos con recipientes pequeños (100 a 200 ml) o muy resistentes (> 100 bar) a fin de obtener informaciones sobre la presión máxima que puede soportar la sustancia objeto de la prueba y sobre el diámetro de orificio que debe utilizarse en el primer ensayo con dicho recipiente.

La superficie total mínima de las aberturas de un RIG o de una cisterna viene dada por la fórmula siguiente:

$$\text{Para RIG: } A_{\text{RIG}} = V_{\text{RIG}} \times \left(\frac{A_{\text{recipiente de prueba}}}{V_{\text{recipiente de prueba}}} \right)$$

$$\text{Para cisternas: } A_{\text{cisterna}} = V_{\text{cisterna}} \times \left(\frac{A_{\text{recipiente de prueba}}}{V_{\text{recipiente de prueba}}} \right)$$

Siendo:

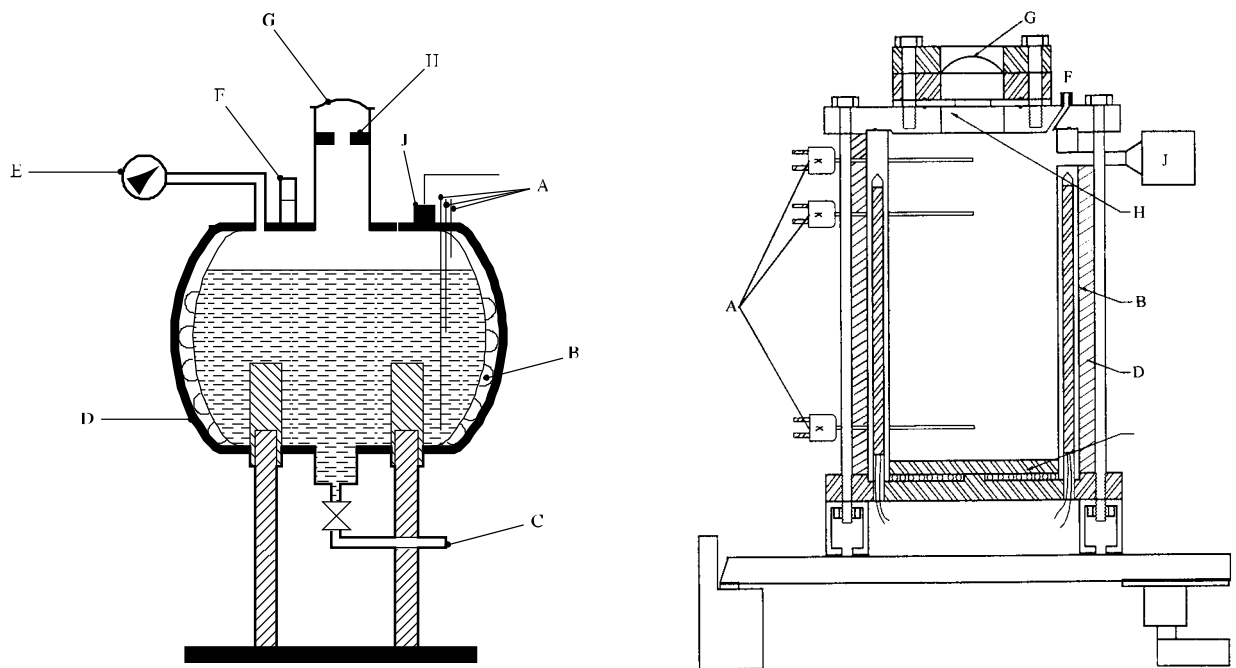
$A_{\text{recipiente de prueba}}$	= Superficie de abertura de un recipiente de prueba de 10 l	= [m ²]
A_{RIG}	= Superficie de abertura de un RIG	= [m ²]
A_{cisterna}	= Superficie de abertura de una cisterna	= [m ²]
$V_{\text{recipiente de prueba}}$	= Volumen de un recipiente de 10 l	= [m ³]
V_{RIG}	= Volumen de un RIG	= [m ³]
V_{cisterna}	= Volumen de una cisterna	= [m ³]

Ejemplo:

Para un peróxido orgánico corriente en una cisterna de 20 m³, con aislamiento:

$A_{\text{recipiente de prueba}}$	= Superficie mínima suficiente de la abertura determinada en la prueba	= 9,5 × 10 ⁻⁵ m ²
V_{cisterna}	= Volumen de la cisterna	= 20 m ³
$V_{\text{recipiente de prueba}}$	= Volumen del recipiente de prueba	= 0,01 m ³

$$A_{\text{cisterna}} = 20 \times \left(9,5 \times \frac{10^{-5}}{0,01} \right) = 0,19 \text{ m}^2$$



-
- (A) Termopares (dos en la fase líquida y uno en la fase de vapor)
 - (B) Serpentin/cartucho de calentamiento
 - (C) Conducto de drenaje, facultativo
 - (D) Aislamiento
 - (E) Manómetro, facultativo
 - (F) Válvula de reducción de la presión, facultativo
 - (G) Cápsula de seguridad
 - (H) Placa perforada
 - (J) Transductor de presión o válvula de reducción de la presión y transductor montado en T
-

Figura A5.1

**RECIPIENTES DE 10 LITROS PARA LAS PRUEBAS
DE LOS SISTEMAS DE ESCAPE"**
