Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ST/SG/AC.10/11/Rev.5

Recomendaciones relativas al

TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS

Manual de Pruebas y Criterios

Quinta edición revisada

NACIONES UNIDAS
Nueva York y Ginebra, 2009

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

NOTA

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

ST/SG/AC.10/11/Rev.5

Copyright © Naciones Unidas, 2009

Quedan reservados todos los derechos.
Prohibida la reproducción, el almacenamiento en un sistema de recuperación de información o la transmisión de cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, electroestático, mecánico, de grabación magnética, de fotocopia o por otros métodos, de esta publicación o de alguna de sus partes, para la venta, sin el permiso previo y por escrito de las Naciones Unidas.
.

PUBLICACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS

Número de venta: S.09.VIII.3

ISBN 978-92-1-339044-3

ISSN 1014-7187

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

PRÓLOGO

Las “Recomendaciones de las Naciones Unidas para el transporte de mercancías peligrosas: Manual de Pruebas y Criterios” vienen a complementar las “Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamentación Modelo” y el “Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA)”. El presente Manual contiene criterios y descripciones de métodos y procedimientos de prueba para la clasificación de mercancías peligrosas de acuerdo con las disposiciones de las partes 2 y 3 de la Reglamentación Modelo, así como de los productos químicos que presentan peligros físicos de acuerdo con el SGA.

La primera edición del Manual, elaborada por el Comité de Expertos en transporte de Mercancías peligrosas del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, se publicó en 1984, y desde entonces se se revisa y actualiza periódicamente. Hoy por hoy, la actualización se realiza bajo los auspicios del Comité de expertos en transporte de mercancías peligrosas y en el Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos, que sustituye al comité original desde el año 2001.

La presente quinta edición revisada del Manual incluye todas las enmiendas a la cuarta edición revisada que fueron adoptadas por el Comité en su segundo y tercer periodo de sesiones en 2004 y 2006 (publicadas con los símbolos ST/SG/AC.10/11/Rev.4/Amend.1 y ST/SG/AC.10/11/Rev.4/Amend.2) así como las enmiendas adoptadas durante el cuarto periodo de sesiones del Comité en el año 2008 (ST/SG/AC.10/36/Add.2 y -/Corr.1).

Las nuevas enmiendas incluyen, entre otras, disposiciones revisadas relativas a los métodos de prueba y a la clasificación de las pilas de metal litio y de ión litio (sub-sección 38.3); nuevos métodos de prueba relativos al equipo de transporte (parte IV); una prueba adicional para determinar si es procedente la clasificación en la división 1.4S de determinados artículos (sección 16, prueba con un solo bulto en espacio no limitado); una nueva prueba para determinar si las sustancias pirotécnicas pueden considerarse como composiciones detonantes a efectos de clasificación (apéndice 7); así como diversas disposiciones revisadas.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE GENERAL

Sección **Página**

1. INTRODUCCIÓN GENERAL (Introducción, Estructura, Orden de preponderancia de las características del riesgo, Seguridad, Condiciones generales para las pruebas, Pruebas recomendadas y Presentación de informes) 1

PARTE I: PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LOS EXPLOSIVOS DE LA CLASE 1 7

10. INTRODUCCIÓN A LA PARTE I (Objetivo, Ámbito de aplicación, Procedimiento de aceptación, Procedimiento de asignación a una división de la clase 1, Ejemplos de informe de prueba) 13

11. SERIE DE PRUEBAS 1 (para determinar si una sustancia tiene propiedades explosivas) 31

12. SERIE DE PRUEBAS 2 (para determinar si una sustancia es demasiado insensible para su inclusión en la clase 1) 51

13. SERIE DE PRUEBAS 3 (para determinar si una sustancia es térmicamente estable y no es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba) 71

14. SERIE DE PRUEBAS 4 (para determinar si un objeto con o sin embalaje/envase o una sustancia embalada/envasada son demasiado peligrosos para el transporte) 127

15. SERIE DE PRUEBAS 5 (para determinar si una sustancia puede asignarse a la división 1.5) 133

16. SERIE DE PRUEBAS 6 (para asignar una sustancia u objeto a las divisiones 1.1, 1.2, 1.3 ó 1.4 o excluirlos de la clase 1) 147

17. SERIE DE PRUEBAS 7 (para determinar si un objeto puede asignarse a la división 1.6) 163

18. SERIE DE PRUEBAS 8 (para determinar si una emulsión, una suspensión o un gel de nitrato de amonio, para la fabricación de explosivos para voladuras (ENA), es suficientemente insensible para ser clasificado en la división 5.1 y para determinar si una sustancia puede ser transportada en cisternas) 183

PARTE II: PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS DE REACCIÓN ESPONTÁNEA DE LA DIVISIÓN 4.1 Y A LOS PERÓXIDOS ORGÁNICOS DE LA DIVISIÓN 5.2 205

20. INTRODUCCIÓN A LA PARTE II (Objetivo, Ámbito de aplicación, Procedimiento preliminar, Procedimiento de clasificación, Ejemplo de informe de prueba) 209

21. SERIE DE PRUEBAS A (para determinar si hay propagación de la detonación) 223

22. SERIE DE PRUEBAS B (para determinar si hay detonación en el bulto) 239

23. SERIE DE PRUEBAS C (para determinar si hay propagación de la deflagración) 243

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE GENERAL *(continuación)*

Sección **Página**

24. SERIE DE PRUEBAS D (para determinar si hay una rápida deflagración en el en el bulto) 255

25. SERIE DE PRUEBAS E (para determinar el efecto del calentamiento en espacio limitado) 259

26. SERIE DE PRUEBAS F (para determinar la potencia explosiva) 275

27. SERIE DE PRUEBAS G (para determinar si hay explosión térmica en el bulto) 299

28. SERIE DE PRUEBAS H (para determinar la temperatura de descomposición autoacelerada) 305

PARTE III: PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 2, LA CLASE 3, LA CLASE 4, LA DIVISION 5.1, LA CLASE 8 Y LA CLASE 9 329

30. INTRODUCCIÓN A LA PARTE III (Objetivo, Ámbito de aplicación) 335

31. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS Y CRITERIOS DE PRUEBA RELATIVOS A LOS AEROSOLES INFLAMABLES DE LA CLASE 2 337

32. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LOS EXPLOSIVOS LÍQUIDOS DESENSIBILIZADOS Y LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES DE LA CLASE 3 353

33. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 4 365

34. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS COMBURENTES DE LA DIVISIÓN 5.1 381

35. *Reservada para los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a la clase 6* 393

36. *Reservada para los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a la clase 7* 395

37. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS DE LA CLASE 8 397

38. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 9 401

PARTE IV: MÉTODOS DE PRUEBA RELATIVOS AL EQUIPO DE TRANSPORTE 415

40. INTRODUCCIÓN A LA PARTE IV 419

41. PRUEBA DINÁMICA DE RESISTENCIA A LOS CHOQUES LONGITUDINALES PARA CISTERNAS PORTÁTILES Y CONTENEDORES DE GAS DE ELEMENTOS MÚLTIPLES (CGEM) 421

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE GENERAL *(continuación)*

Página

APÉNDICES

Apéndice 1	CARACTERÍSTICAS DE LOS DETONADORES NORMALIZADOS	433
Apéndice 2	MÉTODO BRUCETON Y MÉTODO DE COMPARACIÓN DE MUESTRAS	437
Apéndice 3	CAVITACIÓN DE LAS MUESTRAS	441
Apéndice 4	ORGANISMOS NACIONALES QUE FACILITAN INFORMACIÓN SOBRE LAS PRUEBAS	445
Apéndice 5	EJEMPLO DE MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS SISTEMAS DE DESCOMPRESIÓN	447
Apéndice 6	PROCEDIMIENTOS DE DETECCIÓN	453
Apéndice 7	PRUEBA HSL DE COMPOSICIONES DETONANTES	459

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

NOTA: *La presente introducción general se aplica únicamente a las partes I a III del Manual de Pruebas y Criterios y a sus apéndices 1 a 7. En su segundo período de sesiones (10 de diciembre de 2004), el Comité de Expertos en Transporte de Mercaderías Peligrosas y en el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de productos químicos decidió añadir una nueva parte IV relativa a los métodos de prueba en relación con el equipo de transporte.*

1.1 Introducción

1.1.1 En la presente obra se hace una exposición de los sistemas de las Naciones Unidas para la clasificación de determinados tipos de mercancías peligrosas y se describen los métodos y procedimientos de prueba que se consideran más idóneos para proporcionar a las autoridades competentes la información necesaria para clasificar correctamente las sustancias y objetos que se han de transportar. El Manual de Pruebas y Criterios debe utilizarse en conjunción con la versión más reciente de las Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas (denominadas en adelante "las Recomendaciones") y la Reglamentación Modelo para el Transporte de Mercancías Peligrosas, anexo a las Recomendaciones (denominado en adelante "la Reglamentación Modelo").

1.1.2 Es de señalar que el presente Manual no es una formulación concisa de procedimientos de prueba que, infaliblemente, hagan posible una clasificación correcta de los productos. Se da por supuesto, en consecuencia, que la autoridad que entienda en las pruebas posee la aptitud necesaria al respecto y se deja a su arbitrio la decisión de clasificar un producto dado. Asimismo, dicha autoridad es libre de prescindir de determinadas pruebas, de modificar los detalles de éstas y de exigir la realización de pruebas complementarias -cuando ello esté justificado- para hacer una evaluación fiable y objetiva del riesgo que entrañe un producto. En algunos casos puede utilizarse un procedimiento de detección en pequeña escala para decidir si es, o no, necesario realizar pruebas de clasificación en mayor escala. En las introducciones a algunas series de pruebas y en el apéndice 6 se ofrecen ejemplos adecuados de estos procedimientos.

1.2 Estructura

1.2 Los procedimientos de clasificación, los métodos de prueba y los criterios se dividen en tres partes:

Parte I: los relativos a la asignación de explosivos a la clase 1.

Parte II: los relativos a la asignación de sustancias de reacción espontánea a la división 4.1 y de peróxidos orgánicos a la división 5.2.

Parte III: los relativos a la asignación de sustancias u objetos a la clase 2, la clase 3, la clase 4, la división 5.1, la clase 8 o la clase 9.

La parte III comprende algunos procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios que también figuran en la Reglamentación Modelo. Asimismo, hay varios apéndices que proporcionan datos comunes a diversos tipos de pruebas, acerca de organismos nacionales que pueden facilitar información sobre las pruebas, acerca de un método modelo de determinación de las dimensiones de los sistemas de escape de las cisternas portátiles para el transporte de peróxidos orgánicos y sustancias de reacción espontánea y acerca de procedimientos de detección.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

1.2.2 En el cuadro 1.1 se indican los códigos de identificación de las pruebas.

Cuadro 1.1: CÓDIGOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS

Parte del Manual	Serie de pruebas	Tipo	Número	Ejemplo de código de identificación de la prueba
I	1 a 8	a), b), etc.	i), ii), etc.[a]	2 a) i)
II	A a H	-	1,2, etc.	A.1
III	L a T	-	1, 2, etc.	L.1

[a] *Si sólo hay una prueba para un tipo de prueba, no se utilizan números romanos.*

1.2.3 Cada prueba tiene asignado un código de identificación único y comprende los elementos siguientes:

x.1 *Introducción*
x.2 *Aparatos y materiales*
x.3 *Procedimiento* (con las observaciones pertinentes y los datos que hayan de extraerse)
x.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*
x.5 *Ejemplos de resultados*

NOTA: *Normalmente no se dan ejemplos de resultados para las pruebas relativas a los objetos, ya que los resultados se aplican específicamente al objeto sometido a prueba y no permiten controlar la validez del procedimiento de prueba. Por lo que respecta a los resultados relativos a las sustancias, pueden diferir de los indicados en los ejemplos si la forma física, la composición, el grado de pureza, etc., de las mismas son diferentes. Por ello, los resultados citados no deben considerarse como normas.*

Figuras x.1, x.2, x.3, etc. (es decir, esquemas de los aparatos, etc.)

NOTA: *Salvo indicación en contrario, las dimensiones dadas en los esquemas están en milímetros.*

1.3 Orden de preponderancia de las características del riesgo

1.3.1 El cuadro que figura en 2.0.3.3 del capítulo 2.0 de la Reglamentación Modelo puede utilizarse para determinar la clase en que se debe incluir una sustancia, una mezcla o una solución que presente más de un riesgo, cuando tal sustancia, mezcla o solución no figure por su nombre en la lista de mercancías peligrosas enumeradas en el capítulo 3.2 de la Reglamentación Modelo. En el caso de las mercancías que presenten más de un riesgo y que no aparezcan expresamente por su nombre en el capítulo 3.2, se aplicarán las normas correspondientes al grupo de embalaje/envasado más riguroso indicado para un determinado riesgo, en vez de las correspondientes a los demás grupos de embalaje/envasado, independientemente del orden de preponderancia del riesgo indicado en el cuadro 2.0.3.3 del capítulo 2.0 de la Reglamentación Modelo.

1.3.2 En el cuadro de preponderancia del riesgo que figura en el capítulo 2.0 de la Reglamentación Modelo no se indica el orden de preponderancia de las características de riesgo de las sustancias y objetos que se relacionan a continuación, ya que prevalecen siempre sus características primarias:

- Sustancias y objetos de la clase 1;
- Gases de la clase 2;
- Explosivos líquidos insensibilizados de la clase 3;
- Sustancias de reacción espontánea y explosivos sólidos insensibilizados de la división 4.1;
- Sustancias pirofóricas de la división 4.2;
- Sustancias de la división 5.2;
- Sustancias de la división 6.1 con toxicidad por inhalación correspondiente al grupo de embalaje/ envasado I;
- Sustancias de la división 6.2; y
- Materiales de la clase 7.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

1.3.3 Las sustancias de reacción espontánea, salvo las del tipo G, que den un resultado positivo en la prueba de calentamiento espontáneo para la división 4.2, no deben clasificarse en esta división sino en la división 4.1 (véase el párrafo 2.4.2.3.1.1 de la Reglamentación Modelo). Los peróxidos orgánicos del tipo G que tengan propiedades de otra clase o división (por ejemplo, el Nº ONU 3149) deben clasificarse con arreglo a las disposiciones relativas a esa clase o división.

1.4 Seguridad

1.4.1 A fin de garantizar la seguridad del personal de laboratorio, el fabricante de un nuevo producto o cualquier otra persona que solicite su clasificación debe proporcionar todos los datos de que disponga acerca de la seguridad de dicho producto (por ejemplo, datos sobre su toxicidad).

1.4.2 En particular, cuando se sospeche que una sustancia tiene propiedades explosivas, es indispensable que, para garantizar la seguridad del personal de laboratorio, se efectúen pruebas preliminares antes de proceder a los ensayos con cantidades importantes. Esas pruebas servirán para determinar la sensibilidad de la sustancia a los estímulos mecánicos (choque y fricción) y al calor y las llamas.

1.4.3 En las pruebas que entrañen la detonación de sustancias u objetos potencialmente explosivos, debe respetarse, tras la iniciación, un plazo de seguridad suficiente, establecido por el organismo encargado de la prueba.

1.4.4 Deben adoptarse precauciones especiales al manipular muestras que hayan sido sometidas a pruebas, ya que éstas pueden haber provocado modificaciones que hagan la sustancia más sensible o inestable. Las muestras sometidas a prueba deben destruirse lo antes posible tras la realización de la misma.

1.5 Condiciones generales para las pruebas

1.5.1 Deben respetarse con el mayor rigor posible las condiciones estipuladas en las disposiciones relativas a las pruebas. Si éstas no especifican un parámetro, deben aplicarse las condiciones enunciadas en este Manual. Cuando no se especifiquen tolerancias en las disposiciones relativas a las pruebas, se entiende que la precisión depende del número de decimales en las dimensiones indicadas (por ejemplo, 1,1 representa un valor comprendido entre 1,05 y 1,15). Si las condiciones existentes durante una prueba se apartan de las prescritas, debe constar en el informe de la prueba la razón de esta desviación.

1.5.2 La composición de la muestra que es objeto de la prueba debe aproximarse lo más posible a la concentración de la sustancia destinada al transporte. El contenido de sustancia(s) activa(s) y de diluyente(s) debe indicarse en el informe de la prueba con una precisión de, por lo menos, ± 2% en masa. En dicho informe también debe indicarse con la mayor precisión posible la existencia de factores que puedan influir de modo considerable en el resultado de la prueba, como, por ejemplo, la humedad.

1.5.3 Todos los aparatos para la prueba que entren en contacto con la sustancia sometida a la prueba deben fabricarse, en lo posible, con materiales que no puedan afectar los resultados de la prueba (por ejemplo, catalizando la descomposición). Cuando no puedan excluirse estos efectos, deben tomarse precauciones especiales para impedir que los resultados queden afectados (por ejemplo, mediante la pasivación de los materiales). Las precauciones adoptadas deben indicarse en el informe.

1.5.4 Las pruebas deben efectuarse en las condiciones (temperatura, densidad, etc.) que son representativas de las condiciones de transporte previstas. Si las condiciones de transporte no se corresponden con las condiciones de prueba especificadas, podrá ser necesario realizar pruebas complementarias especialmente ideadas para tener en cuenta las condiciones de transporte previstas (por ejemplo, temperaturas más elevadas). Cuando proceda (por ejemplo, cuando el resultado dependa de la granulometría), deben indicarse en el informe de la prueba las condiciones físicas relativas a la muestra.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

1.6 Pruebas recomendadas

1.6.1 En el presente Manual se describen las pruebas y criterios que han de utilizarse para obtener la información necesaria a fin de lograr una clasificación correcta. En algunos casos, existe más de una prueba para una propiedad dada. Mediante una labor de comparación de algunas de estas pruebas, se ha podido determinar una prueba que puede recomendarse de entre un conjunto de pruebas equivalentes. Las pruebas recomendadas para la clasificación de sustancias y objetos explosivos (parte I del Manual) se enumeran en el cuadro 1.2 y para la clasificación de las sustancias de reacción espontánea y de los peróxidos orgánicos (parte II del Manual) en el cuadro 1.3. Todos los métodos de prueba indicados en la parte III del Manual son pruebas recomendadas ya que sólo hay una para cada propiedad. Las demás pruebas de un grupo se consideran como variantes y pueden seguir utilizándose con fines de clasificación.

1.6.2 Como consecuencia de la labor de comparación, se han suprimido algunas pruebas. No obstante, dado que algunos países disponen de bases de datos que utilizan como referencia el número de la prueba, no se ha modificado la numeración de las pruebas que figuran actualmente en el Manual, a menos que unas pruebas existentes se hayan asignado a otros tipos de prueba.

1.6.3 Lo que se pretende es disponer de una sola prueba, o de una combinación de pruebas, de las Naciones Unidas para cada propiedad. Ahora bien, actualmente es imposible conseguirlo en todos los casos mientras no se utilicen más extensamente las pruebas recomendadas.

1.6.4 Todo país u organismo que proponga nuevas pruebas para su inclusión en el Manual debe demostrar que la nueva prueba constituye una mejora apreciable con relación a la prueba recomendada existente. En tal caso, la nueva prueba puede incluirse como variante, hasta que los laboratorios de los demás países la hayan ensayado.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro 1.2: PRUEBAS RECOMENDADAS PARA SUSTANCIAS Y OBJETOS EXPLOSIVOS

Serie	Tipo	Código	Nombre
1	a)	1 a)	Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)
1	b)	1 b)	Prueba Koenen
1	c)	a c) i)	Prueba de tiempo/presión
2	a)	2 a)	Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)
2	b)	2 b)	Prueba Koenen
2	c)	2 c) i)	Prueba de tiempo/presión
3	a)	3 a) ii)	Prueba del martinete BAM
3	b)	3 b) i)	Prueba de la máquina de fricción BAM
3	c)	3 c)	Prueba de estabilidad térmica a 75ºC
3	d)	3 d)	Prueba de combustión en pequeña escala
4	a)	4 a)	Prueba de estabilidad térmica para objetos con o sin embalaje/envase
4	b)	4 b) i)	Prueba de caída en tubo de acero, para líquidos
4	b)	4 b) ii)	Prueba de caída desde doce metros, para objetos sin embalaje/envase y objetos y sustancias con embalaje/envase
5	a)	5 a)	Prueba de sensibilidad al cebo
5	b)	5 b) ii)	Prueba de transición de deflagración a detonación (Estados Unidos de América)
5	c)	5 c)	Prueba de reacción al fuego exterior, para sustancias de la división 1.5
6	a)	6 a)	Prueba con un solo bulto
6	b)	6 b)	Prueba con una pila de bultos
6	c)	6 c)	Prueba de reacción al fuego exterior (prueba de la hoguera)
6	d)	6 d)	Prueba con un bulto en espacio no limitado
7	a)	7 a)	Prueba de sensibilidad al cebo para sustancias DEI
7	b)	7 b)	Prueba de excitación con barrera interpuesta, para sustancias DEI
7	c)	7 c) ii)	Prueba de friabilidad
7	d)	7 d) i)	Prueba de impacto con bala, para sustancias DEI
7	e)	7 e)	Prueba de reacción al fuego exterior, para sustancias DEI
7	f)	7 f)	Prueba de calentamiento lento, para sustancias DEI
7	g)	7 g)	Prueba de reacción al fuego exterior, para objetos de la división 1.6
7	h)	7 h)	Prueba de calentamiento lento, para objetos de la división 1.6
7	j)	7 j)	Prueba de impacto con bala, para objetos de la división 1.6
7	k))	7 k)	Prueba con una pila de bultos, para objetos de la división 1.6
8	a)	8 a)	Prueba de estabilidad térmica para los ENA
8	b)	8 b)	Prueba de excitación de la detonación con barrera interpuesta para los ENA
8	c)	8 c)	Prueba de Koenen
8	d)	8 d)	Pruebas del tubo con venteo[a]

[a] *Estas pruebas proponen evaluar la adecuación para el transporte en cisternas.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro 1.3: PRUEBAS RECOMENDADAS PARA SUSTANCIAS DE REACCIÓN ESPONTÁNEA Y PERÓXIDOS ORGÁNICOS

Serie	Código	Nombre
A	A.6	Prueba de detonación (Naciones Unidas)
B	B.1	Prueba de detonación en un bulto
C	C.1	Prueba de tiempo/presión
C	C.2	Prueba de deflagración
D	D.1	Prueba de deflagración en un bulto
E	E.1	Prueba Koenen
E	E.2	Prueba del recipiente a presión (Países Bajos)
F	F.4	Prueba Trauzl modificada
G	G.1	Prueba de explosión térmica en un bulto
H	H.1	Prueba de determinación de la TDAA para bultos (Estados Unidos)
H	H.2	Prueba de almacenamiento adiabático (para bultos, RIG y cisternas)
H	H.4	Prueba de almacenamiento con acumulación de calor (para bultos, RIG y pequeñas cisternas)

1.7 Presentación de informes

1.7.1 Las clasificaciones para el capítulo 3.2 de la Reglamentación Modelo se efectúan sobre la base del examen de los datos presentados al Comité por los gobiernos, las organizaciones intergubernamentales y otras organizaciones internacionales en el formulario recomendado que se encuentra en la figura 1 de las Recomendaciones. Se requieren datos complementarios para la clasificación de :

- las sustancias y objetos de la clase 1 (véase 10.5);
- las sustancias de reacción espontánea de la división 4.1 (véase 20.5); y
- los peróxidos orgánicos de la división 5.2 (véase 20.5).

1.7.2 Cuando las pruebas se efectúan con sustancias u objetos embalados/envasados, el informe de la prueba debe indicar la cantidad de sustancia o el número de objetos por bulto y el tipo y las características del embalaje/envase.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

PARTE I

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LOS EXPLOSIVOS DE LA CLASE 1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE I

***NOTA 1**: El país u organización de origen de cada prueba se indica entre paréntesis después del nombre de la prueba.*

***NOTA 2**: La prueba que se recomienda para cada tipo de prueba se indica en negrillas y con un asterisco (véase la subsección 1.6 de la Introducción general).*

Sección		Página
10.	**INTRODUCCIÓN A LA PARTE I**	13
10.1	OBJETIVO	13
10.2	ÁMBITO DE APLICACIÓN	13
10.3	PROCEDIMIENTO DE ACEPTACIÓN	14
10.3.1	Observaciones generales	14
10.3.2	Tipos de pruebas	14
10.3.3	Aplicación de los métodos de prueba	17
10.4	PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN A UNA DIVISIÓN DE LA CLASE 1	18
10.4.1	Observaciones generales	18
10.4.2	Tipos de pruebas	18
10.4.3	Aplicación de los métodos de prueba	23
10.5	EJEMPLOS DE INFORMES DE PRUEBA	24
11.	**SERIE DE PRUEBAS 1**	31
11.1	INTRODUCCIÓN	31
11.2	MÉTODOS DE PRUEBA	31
11.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS	31
11.4	SERIE 1, TIPO a): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	32
11.4.1	**Prueba 1 a): * Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)**	32
11.5	SERIE 1, TIPO b): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	35
11.5.1	**Prueba 1 b): * Prueba Koenen (A)**	35
11.6	SERIE 1, TIPO c): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	41
11.6.1	**Prueba 1 c) i): * Prueba de tiempo/presión (GB)**	41
11.6.2	Prueba 1 c) ii): Prueba de inflamación interior (EE.UU.)	48
12.	**SERIE DE PRUEBAS 2**	51
12.1	INTRODUCCIÓN	51
12.2	MÉTODOS DE PRUEBA	51
12.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS	51
12.4	SERIE 2, TIPO a): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	52
12.4.1	**Prueba 2 a): * Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)**	52
12.5	SERIE 2, TIPO b): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	55
12.5.1	**Prueba 2 b): * Prueba Koenen (A)**	55
12.6	SERIE 2, TIPO c): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	61
12.6.1	**Prueba 2 c) i): * Prueba de tiempo/presión (GB)**	61
12.6.2	Prueba 2 c) ii): Prueba de inflamación interior (EE.UU.)	68

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE I *(continuación)*

Sección			Página
13.	**SERIE DE PRUEBAS 3**		71
13.1	INTRODUCCIÓN		71
13.2	MÉTODOS DE PRUEBA		71
13.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		71
13.4	SERIE 3, TIPO a): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		72
13.4.1	Prueba 3 a) i):	Prueba del martinete de la Oficina de Explosivos (EE.UU)	72
13.4.2	**Prueba 3 a) ii):**	*** Prueba del martinete BAM (A)**	77
13.4.3	Prueba 3 a) iii):	Prueba Rotter (GB)	85
13.4.4	Prueba 3 a) iv):	Prueba del martinete de 30 kg (F)	93
13.4.5	Prueba 3 a) v):	Prueba del martinete tipo 12 modificado (C)	97
13.4.6	Prueba 3 a) vi):	Prueba de sensibilidad al impacto (RUS)	101
13.5	SERIE 3, TIPO b): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		108
13.5.1	**Prueba 3 b) i):**	*** Prueba de la máquina de fricción BAM (A)**	108
13.5.2	Prueba 3 b) ii):	Prueba de fricción por rotación (GB)	113
13.5.3	Prueba 3 b) iv):	Prueba de sensibilidad a la fricción (RUS)	116
13.6	SERIE 3, TIPO c): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		121
13.6.1	**Prueba 3 c):**	*** Prueba de estabilidad térmica a 75ºC (F/EE.UU.)**	121
13.7	SERIE 3, TIPO d): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		124
13.7.1	**Prueba 3 d):**	***Prueba de combustión en pequeña escala (F/EE.UU.)**	124
14.	**SERIE DE PRUEBAS 4**		127
14.1	INTRODUCCIÓN		127
14.2	MÉTODOS DE PRUEBA		127
14.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		127
14.4	SERIE 4, TIPO a): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		127
14.4.1	**Prueba 4) a):**	*** Prueba de estabilidad térmica para objetos con o sin embalaje/envase (EE.UU.)**	127
14.5	SERIE 4, TIPO b): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		129
14.5.1	**Prueba 4 b) i):**	*** Prueba de caída en tubo de acero, para líquidos (F)**	129
14.5.2	**Prueba 4 b) ii):**	*** Prueba de caída desde doce metros, para objetos con o sin embalaje/envase y sustancias embaladas/envasadas (EE.UU.)**	131

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE I *(continuación)*

Sección			Página
15.	**SERIE DE PRUEBAS 5**		133
15.1	INTRODUCCIÓN		133
15.2	MÉTODOS DE PRUEBA		133
15.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		133
15.4	SERIE 5, TIPO a):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	134
15.4.1	**Prueba 5) a):**	*** Prueba de sensibilidad al cebo (A/EE.UU.)**	134
15.5	SERIE 5, TIPO b):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	138
15.5.1	Prueba 5 b) i):	Prueba de transición de deflagración a detonación (F)	138
15.5.2	**Prueba 5 b) ii):**	*** Prueba de transición de deflagración a detonación (EE.UU.)**	140
15.5.3	Prueba 5 b) iii):	Prueba de transición de deflagración a detonación (RUS)	142
15.6	SERIE 5, TIPO c):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	144
15.6.1	**Prueba 5) c):**	*** Prueba de reacción al fuego exterior, para las sustancias de la división 1.5 (Naciones Unidas)**	144
16.	**SERIE DE PRUEBAS 6**		147
16.1	INTRODUCCIÓN		147
16.2	MÉTODOS DE PRUEBA		147
16.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		148
16.4	SERIE 6, TIPO a):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	149
16.4.1	**Prueba 6 a):**	*** Prueba con un solo bulto (Naciones Unidas)**	149
16.5	SERIE 6, TIPO b):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	152
16.5.1	**Prueba 6 b):**	*** Prueba con una pila de bultos (Naciones Unidas)**	152
16.6	SERIE 6, TIPO c):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	154
16.6.1	**Prueba 6 c):**	*** Prueba de reacción al fuego exterior (prueba de la hoguera) (Naciones Unidas)**	154
16.7	SERIE 6, TIPO d):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	160
16.7.1	**Prueba 6 d):**	*** Prueba con un solo bulto en espacio no limitado**	160
17.	**SERIE DE PRUEBAS 7**		163
17.1	INTRODUCCIÓN		163
17.2	MÉTODOS DE PRUEBA		164
17.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		164
17.4	SERIE 7, TIPO a):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	165
17.4.1	**Prueba 7) a):**	*** Prueba de sensibilidad al cebo, para sustancias DEI (A/EE.UU.)**	165
17.5	SERIE 7, TIPO b):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	166
17.5.1	**Prueba 7 b):**	*** Prueba de excitación con barrera interpuesta, para sustancias DEI (EE.UU.)**	166
17.6	SERIE 7, TIPO c):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	169
17.6.1	Prueba 7 c) i):	Prueba de impacto con el proyectil "Susan" (EE.UU.)	169
17.6.2	**Prueba 7 c) ii):**	*** Prueba de friabilidad (F)**	173
17.7	SERIE 7, TIPO d):	DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	174
17.7.1	**Prueba 7 d) i):**	*** Prueba de impacto con bala, para sustancias DEI (EE.UU.)**	174
17.7.2	Prueba 7 d) ii):	Prueba de friabilidad (F)	175

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE I *(continuación)*

Sección			Página
17.8	SERIE 7, TIPO e): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		176
17.8.1	**Prueba 7 e):**	*** Prueba de reacción al fuego exterior, para sustancias DEI (Naciones Unidas)**	176
17.9	SERIE 7, TIPO f): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		177
17.9.1	**Prueba 7 f):**	*** Prueba de calentamiento lento, para sustancias DEI (EE.UU.)**	177
17.10	SERIE 7, TIPO g): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		178
17.10.1	**Prueba 7 g):**	***Prueba de reacción al fuego exterior, para objetos de la división 1.6 (Naciones Unidas)**	178
17.11	SERIE 7, TIPO h): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		179
17.11.1	**Prueba 7 h):**	*** Prueba de calentamiento lento, para objetos de la división 1.6 (EE.UU.)**	179
17.12	SERIE 7, TIPO j): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		180
17.12.1	**Prueba 7 j):**	*** Prueba de impacto con bala, para objetos de la división 1.6 (EE.UU.)**	180
17.13	SERIE 7, TIPO k): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		181
17.13.1	**Prueba 7 k):**	*** Prueba con una pila de bultos, para objetos de la división 1.6 (Naciones Unidas)**	181
18.	**SERIE DE PRUEBAS 8**		183
18.1	INTRODUCCIÓN		183
18.2	MÉTODOS DE PRUEBA		183
18.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS		183
18.4	SERIE 8, TIPO a): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		184
18.4.1	**Prueba 8 a):**	**Prueba de estabilidad térmica para emulsiones, suspensiones o geles de nitrato amónico**	184
18.5	SERIE 8, TIPO b): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		188
18.5.1	**Prueba 8 b):**	**Prueba de excitación con barrera interpuesta para los ENA**	188
18.6	SERIE 8, TIPO c): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		193
18.6.1	**Prueba 8 c):**	**Prueba de Koenen**	193
18.7	SERIE 8, TIPO d): DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS		199
18.7.1	**Prueba 8 d) i):**	*** Prueba del tubo con escape**	199
18.7.2	**Prueba 8 d) ii):**	*** Prueba modificada del tubo con escape**	202

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 10

INTRODUCCIÓN A LA PARTE I

10.1 Objetivo

10.1.1 En la parte I del presente Manual se expone el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de explosivos. Se describen los procedimientos y criterios de prueba que se consideran más útiles para proporcionar a las autoridades competentes la información necesaria para lograr una clasificación correcta de las sustancias y objetos explosivos con fines de transporte. Este texto debe utilizarse en conjunción con los diagramas-cuestionarios de clasificación de las figuras 10.1, 10.2, 10.3 y 10.4, las condiciones generales relativas a las pruebas de la subsección 1.5 y los métodos de prueba descritos en las secciones 11 a 18 de este Manual.

10.1.2 Las mercancías de la clase 1 se asignan a una de las seis divisiones, según el tipo de riesgo que presentan (véase el párrafo 2.1.1.4 de la Reglamentación Modelo), y a uno de los trece grupos de compatibilidad que determinan las clases de sustancias y objetos explosivos que se consideran compatibles. El esquema general de clasificación de una sustancia u objeto que se examina con miras a su inclusión en la clase 1 se representa en la figura 10.1. La evaluación se efectúa en dos etapas. En la primera, se determina si una sustancia u objeto puede explosionar y si su estabilidad y sensibilidad, tanto químicas como físicas, son aceptables para el transporte. Para lograr evaluaciones uniformes por parte de las autoridades competentes, se recomienda que, mediante el diagrama-cuestionario de la figura 10.2, se analicen sistemáticamente los resultados de las pruebas correspondientes con arreglo a los criterios de prueba apropiados. Si la sustancia u objeto se acepta provisionalmente en la clase 1, hay que pasar seguidamente a la segunda etapa, que consiste en asignar esa sustancia u objeto a la división apropiada utilizando el diagrama-cuestionario de la figura 10.3. La asignación a un grupo de compatibilidad no suele hacerse sobre la base de los resultados de la prueba, salvo en el caso de los grupos N y S, para los que sí se necesitan los resultados de las pruebas. Por lo que al grupo S se refiere, la autoridad competente puede renunciar a las pruebas si puede efectuarse una clasificación por analogía sobre la base de los resultados de pruebas correspondientes a un objeto comparable.

10.1.3 Los procedimientos de prueba permiten evaluar el riesgo de las sustancias y objetos explosivos, de manera que la autoridad competente pueda asignarles la clasificación apropiada con fines de transporte.

10.2 Ámbito de aplicación

10.2.1 Los nuevos productos a los que se atribuyan propiedades explosivas o que se destinen a funcionar como explosivos deben ser objeto, en primer lugar, de un examen con miras a su inclusión en la clase 1. Para las sustancias tales como las sustancias de reacción espontánea de la división 4.1 o los peróxidos orgánicos de la división 5.2, habrá que remitirse a la parte II del presente Manual. En este contexto, se entiende por nuevo producto todo objeto o sustancia que, a juicio de la autoridad competente, corresponda a una de las definiciones siguientes:

a) Una nueva sustancia o una nueva combinación o mezcla de sustancias, destinadas a un uso explosivo o pirotécnico, que difieran considerablemente de otras combinaciones o mezclas ya clasificadas;

b) Una nueva sustancia u objeto, no destinado a uso explosivo, que tiene, o se sospecha tiene, propiedades explosivas (véase el párrafo 2.1.1.5 de la Reglamentación Modelo);

c) Un objeto de nuevo diseño o un objeto que contenga una nueva sustancia explosiva o una nueva combinación o mezcla de sustancias explosivas; o

d) Un embalaje/envase de nuevo diseño para una sustancia u objeto explosivos, incluido un nuevo tipo de embalaje/envase interior o una nueva disposición de objetos (una

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

modificación relativamente menor del embalaje/envase interior o exterior puede tener un carácter crítico y convertir un riesgo menor en un riesgo de explosión de toda la masa).

El procedimiento de clasificación debe llevarse a cabo antes de que se presente un nuevo producto para el transporte.

10.2.2 El fabricante de un nuevo producto, o la persona que solicite su clasificación, debe proporcionar información suficiente sobre los nombres y características de todas las sustancias explosivas que contenga el producto, y debe comunicar los resultados de todas las pruebas pertinentes que se hayan realizado.

10.3 Procedimiento de aceptación

10.3.1 *Observaciones generales*

10.3.1.1 El procedimiento de aceptación sirve para determinar si procede o no incluir un producto en la clase 1 tal como se presenta para su transporte. Para ello es preciso comprobar si una sustancia aceptada provisionalmente para la clase 1 es demasiado insensible para su inclusión en dicha clase o demasiado peligrosa para su transporte, o si el objeto o los objetos, embalados/envasados o no, son demasiado peligrosos para el transporte.

10.3.2 *Tipos de pruebas*

10.3.2.1 Los métodos de prueba utilizados para decidir la inclusión provisional en la clase 1 se agrupan en cuatro series, numeradas de 1 a 4, destinadas a proporcionar la información necesaria para contestar a las preguntas de la figura 10.2.

10.3.2.2 Para responder a la pregunta "¿Es una sustancia explosiva?" (casilla 4, figura 10.2), hay que basarse en las definiciones nacionales e internacionales de lo que es una sustancia explosiva y en los resultados de los tres tipos de pruebas de la serie 1, destinadas a determinar los posibles efectos explosivos. Los tres tipos de pruebas son los siguientes:

Tipo 1 a): una prueba de excitación por una onda de choque, con una carga multiplicadora determinada y en espacio limitado, destinada a determinar la capacidad de la sustancia de propagar una detonación;

Tipo 1 b): una prueba para determinar el efecto del calentamiento en espacio limitado;

Tipo 1 c): una prueba para determinar el efecto de la inflamación en espacio limitado.

10.3.2.3 Las pruebas de la serie 2 sirven para responder a la pregunta "¿Es la sustancia demasiado insensible para ser aceptada en la clase 1?" (casilla 6, figura 10.2). En general, el aparato básico que se utiliza es el mismo que en la serie de pruebas 1, pero con criterios menos rigurosos (por ejemplo, en las pruebas de excitación con barrera interpuesta, el intervalo utilizado es superior a cero). Se emplean los tres tipos de pruebas siguientes:

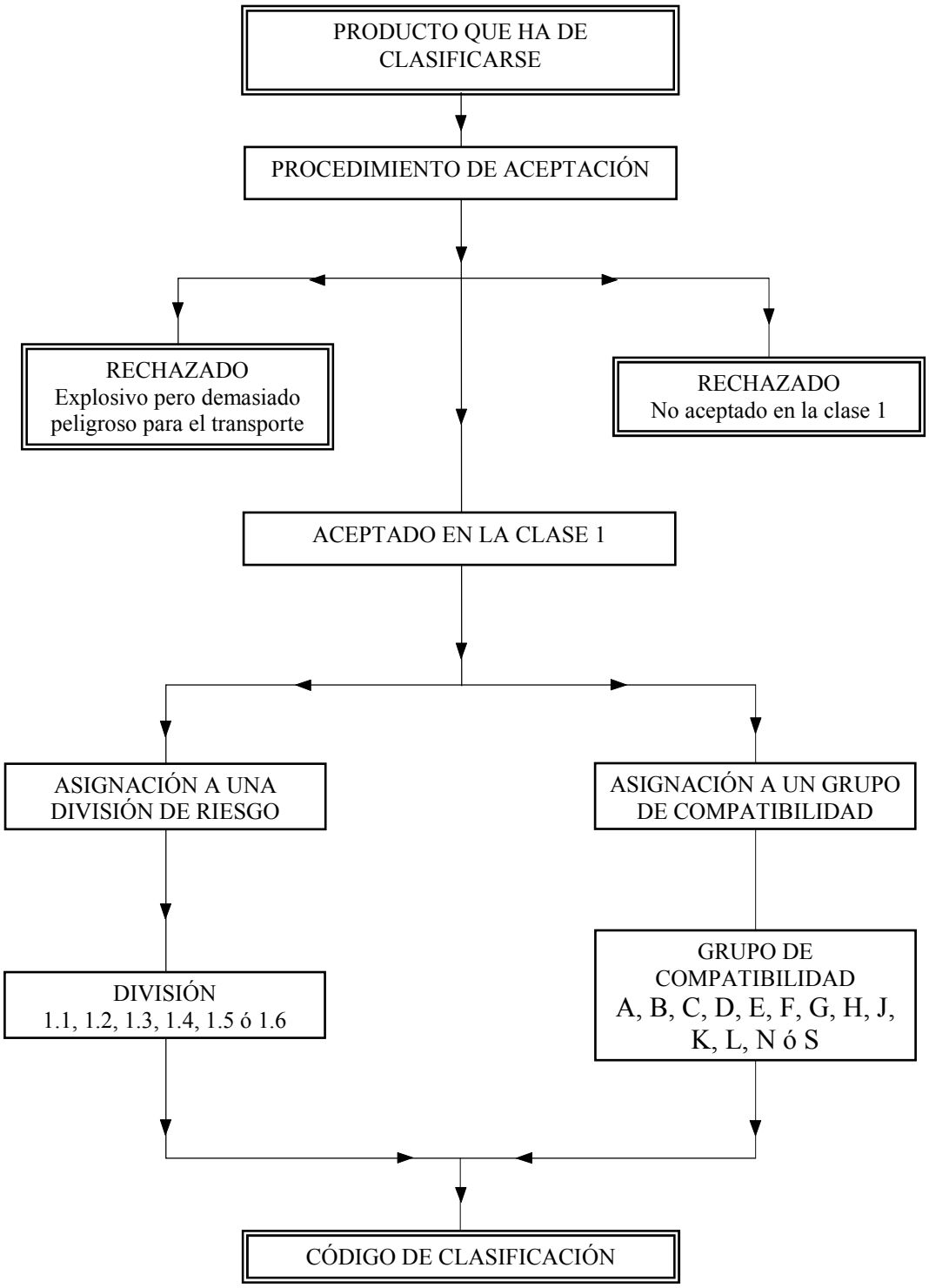
Tipo 2 a): una prueba de excitación por una onda de choque con sistema de iniciación definido y en espacio limitado, para determinar la sensibilidad al choque;

Tipo 2 b): una prueba para determinar el efecto del calentamiento en espacio limitado; y

Tipo 2 c): una prueba para determinar el efecto de la inflamación en espacio limitado.

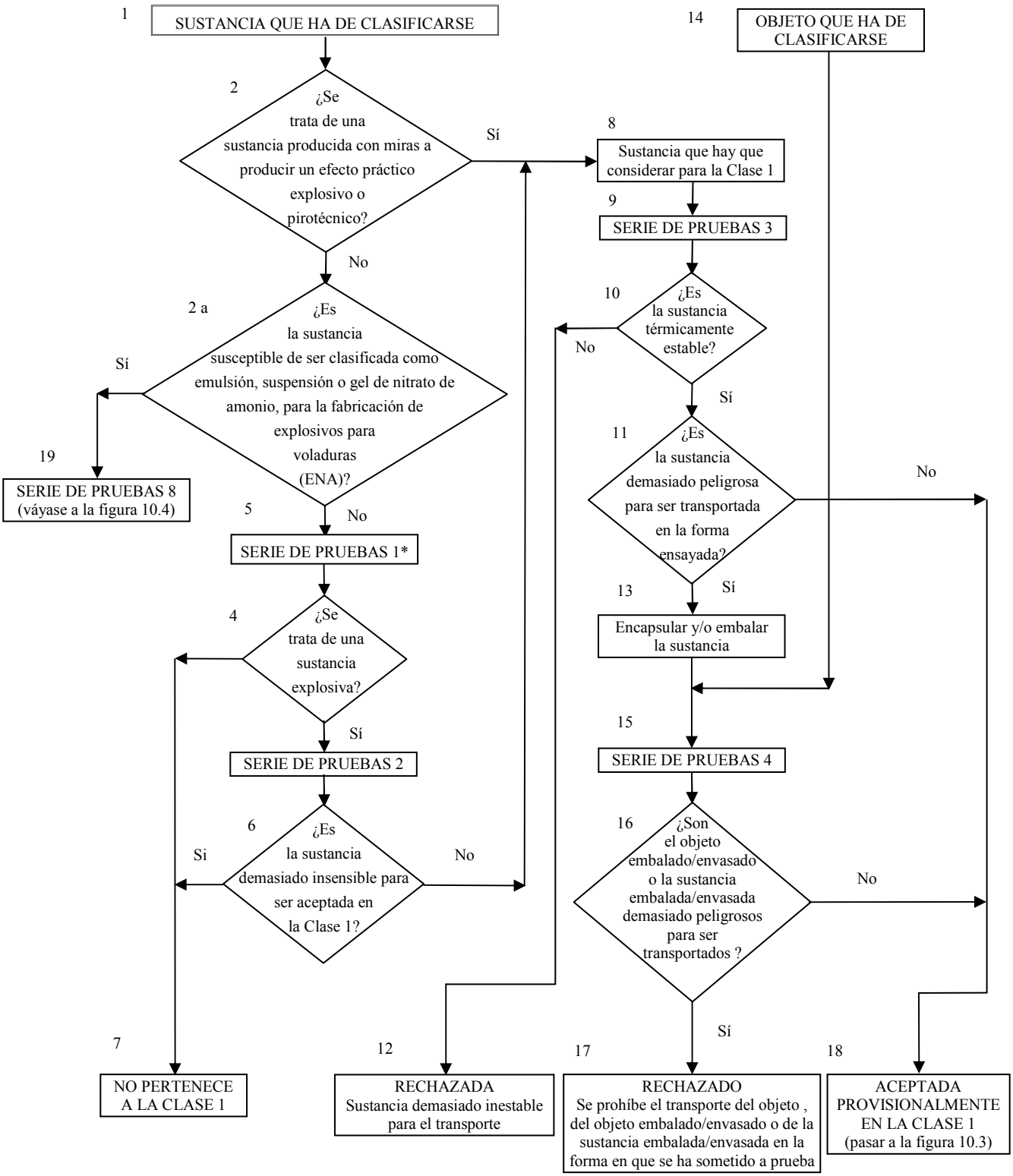
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.1: ESQUEMA GENERAL DEL PROCEDIMINETO DE CLASIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA U OBJETO EN LA CLASE 1



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.2 : PROCEDIMIENTO PARA LA ACEPTACIÓN PROVISIONAL DE UNA SUSTANCIA U OBJETO EN LA CLASE 1



* *A efectos de clasificación, comiéncese con las pruebas de la serie 2.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

10.3.2.4 Las pruebas de la serie 3 sirven para responder a la pregunta "¿Es la sustancia térmicamente estable?" (casilla 10, figura 10.2) y a la pregunta "¿Es la sustancia demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba?" (casilla 11, figura 10.2). Esto entraña la realización de pruebas para determinar la sensibilidad de la sustancia a los estímulos mecánicos (choque y fricción) y al calor y las llamas. Se utilizan los cuatro tipos de pruebas siguientes:

Tipo 3 a): una prueba del martinete para determinar la sensibilidad al choque;

Tipo 3 b): una prueba de fricción o de fricción con choque para determinar la sensibilidad a la fricción;

Tipo 3 c): una prueba a temperatura elevada para determinar la estabilidad térmica; y

Tipo 3 d): una prueba de inflamación para determinar la reacción de una sustancia al fuego.

10.3.2.5 Las pruebas de la serie 4 sirven para responder a la pregunta "¿Son el objeto, el objeto embalado/envasado o la sustancia embalada/envasada demasiado peligrosos para el transporte?" (casilla 16, figura 10.2). Las condiciones que pueden presentarse durante el transporte incluyen las temperaturas elevadas, las tasas elevadas de humedad relativa, las bajas temperaturas, las vibraciones, los choques y las caídas. Los dos tipos de pruebas utilizados son los siguientes:

Tipo 4 a): una prueba de estabilidad térmica para los objetos; y

Tipo 4 b): una prueba para determinar el riesgo resultante de una caída.

10.3.3 ***Aplicación de los métodos de prueba***

10.3.3.1 La numeración de las series de pruebas 1 a 4 corresponde a la secuencia de evaluación de los resultados y no al orden en que se efectúan las pruebas. ***Para garantizar la seguridad del personal de laboratorio, es importante que se realicen algunas pruebas preliminares con pequeñas cantidades de material antes de efectuar ensayos con cantidades normales***. Los resultados de esas pruebas preliminares también pueden utilizarse en el procedimiento de clasificación.

10.3.3.2 El procedimiento de aceptación para las sustancias destinadas a tener un efecto explosivo se inicia con la ejecución de las pruebas de los tipos 3a), 3b), 3c) y 3d) a fin de determinar si la sustancia es demasiado sensible para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba. Si resulta térmicamente inestable, es decir, si no supera la prueba del tipo 3c), no se autoriza su transporte. Si no supera las pruebas de los tipos 3a), 3b) o 3d), se la puede encapsular o desensibilizar de algún otro modo, o embalar/envasar, para reducir su sensibilidad a los estímulos externos. Es el caso, por ejemplo, de los explosivos primarios humidificados con agua o encapsulados en forma de detonadores. Los nuevos objetos resultantes deben someterse a la serie de pruebas 4, y los líquidos o los sólidos embalados/envasados deben someterse a una prueba del tipo 4b), para determinar si ofrecen o no un nivel de seguridad para el transporte compatible con las prescripciones relativas a la clase 1. Las sustancias insensibilizadas deben someterse nuevamente a la serie de pruebas 3 con los mismos fines. Si una sustancia concebida para producir un efecto explosivo supera todas las pruebas de la serie 3 o si un objeto concebido para tener un efecto explosivo supera todas las pruebas de la serie 4, puede aplicarse el procedimiento de asignación a la división correspondiente.

10.3.3.3 Aunque la serie de pruebas 1 indica si una sustancia no concebida para producir un efecto explosivo tiene, de hecho, propiedades explosivas potenciales, es más conveniente comenzar el procedimiento de prueba con las pruebas de la serie 3. Estas pruebas se efectúan con muestras de proporciones relativamente pequeñas, reduciéndose así los riesgos para el personal encargado de los ensayos. Si de esta última serie de pruebas resulta que la sustancia, en la forma en que se la ha ensayado, es demasiado sensible para el transporte, deben aplicarse los procedimientos reseñados en el párrafo 10.3.3.2 a fin de reducir su sensibilidad a los estímulos externos. Si de la serie de pruebas 3 resulta que la sustancia no es demasiado sensible para el transporte, el paso siguiente consiste en realizar la serie de pruebas 2, por la que se determina si la sustancia es demasiado insensible para su inclusión en la clase 1. En esta etapa del procedimiento de aceptación no es verdaderamente necesario efectuar la serie de pruebas 1, ya que la serie 2 responde a la pregunta pertinente relativa al grado de insensibilidad de la sustancia. Con la serie de pruebas 1 se responde a las preguntas relativas a la naturaleza explosiva de la sustancia. El procedimiento de

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

asignación a una división de la clase 1 debe aplicarse a las sustancias que no superen la serie de pruebas 2, pero sí superen la serie 3, es decir, que no sean demasiado insensibles para su inclusión en la clase 1 ni sean térmicamente inestables o demasiado peligrosas para el transporte en la forma en que fueron sometidas a prueba. Es importante señalar que, si se la embala/envasa convenientemente, una sustancia que no haya superado la serie de pruebas 2 puede aún ser excluida de la clase 1, a condición de que el producto no esté proyectado para producir un efecto explosivo y de que no se observe riesgo de explosión en la serie de pruebas 6 del procedimiento de asignación.

10.3.3.4 Todos los objetos con o sin embalaje/envase que contengan sustancias que no han superado las pruebas de tipo 3a), 3b) o 3d) deben ser sometidos a la serie de pruebas 4. Si el objeto con o sin embalaje/envase supera la prueba de tipo 4a), se lo somete a la prueba 4b). Las sustancias embaladas/envasadas se someten solamente a la prueba 4b). Si el producto no supera la prueba 4a) o 4b), debe ser rechazado. No obstante, puede ser ensayado de nuevo si previamente se lo modifica. Si la autoridad competente sospecha que el producto puede ser afectado por estímulos distintos de los especificados en las pruebas de tipo 4a) y 4b), con efectos posiblemente peligrosos, puede solicitar que se le amplíe la información o que se efectúen pruebas complementarias (véase la nota correspondiente al párrafo 2.1.3.3.1 de la Reglamentación Modelo).

10.3.3.5 Si los objetos contienen elementos inertes de control que resulten costosos, éstos pueden sustituirse por otros elementos inertes que tengan masas y volúmenes similares.

10.4 Procedimiento de asignación a una división de la clase 1

10.4.1 *Observaciones generales*

10.4.1.1 Las mercancías de la clase 1 se asignan a una de las seis divisiones, según el tipo de riesgo que presenten (véase el párrafo 2.1.1.4 de la Reglamentación Modelo). El procedimiento de asignación (figura 10.3) se aplica a todas las sustancias u objetos susceptibles de ser incluidos en la clase 1, salvo los que se asignen de oficio a la división 1.1. Cada sustancia u objeto debe asignarse a la división que corresponda a los resultados de las pruebas a las que se ha sometido la sustancia u objeto en la forma en que se ha presentado para el transporte. También pueden tenerse en cuenta otros resultados de pruebas, así como los datos procedentes de accidentes reales. Como se indica en la casilla 36 de la figura 10.3, la autoridad competente puede excluir un objeto de la clase 1 sobre la base de los resultados de las pruebas y de la definición de la clase 1.

10.4.2 *Tipos de pruebas*

10.4.2.1 Los métodos de prueba utilizados para la asignación a una división se agrupan en tres series -que llevan los números 5 a 7- destinadas a proporcionar la información necesaria para responder a las preguntas de la figura 10.3. Una autoridad nacional no debe modificar las pruebas de las series 5, 6 y 7 si no está en condiciones de justificar esta medida en el ámbito internacional.

10.4.2.2 Los resultados de los tres tipos de pruebas de la serie 5 se utilizan para responder a la pregunta "¿Es una sustancia explosiva muy insensible que presenta un riesgo de explosión de toda la masa?" (casilla 21, figura 10.3). Esos tipos son los siguientes:

Tipo 5 a): una prueba de excitación por una onda de choque para determinar la sensibilidad a un estímulo mecánico intenso;

Tipo 5 b): pruebas térmicas para determinar la tendencia a la transición de deflagración a detonación; y

Tipo 5 c): una prueba para determinar si una sustancia explosiona cuando se somete, en gran cantidad, a un fuego intenso.

10.4.2.3 Los resultados de cuatro tipos de pruebas de la serie 6 se utilizan para determinar cuál de las divisiones 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 corresponde mejor al comportamiento de un producto cuando una carga es afectada por un fuego de origen interno o externo o por una explosión interna (casillas 26, 28, 30, 32 y 33 de

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

la figura 10.3). También se emplean esos resultados para determinar si un producto puede asignarse al grupo de compatibilidad S de la división 1.4 y si debe o no quedar excluido de la clase 1 (casillas 35 y 36 de la figura 10.3). Esos cuatro tipos de prueba son los siguientes:

Tipo 6 a): una prueba con un solo bulto para determinar si se produce una explosión de toda la masa;

Tipo 6 b): una prueba con bultos de una sustancia explosiva o de objetos explosivos, u objetos explosivos no embalados/envasados, para determinar si una explosión se propaga de un bulto a otro o de un objeto no embalado/envasado a otro;

Tipo 6 c): una prueba con bultos de sustancia explosiva o de objetos explosivos, u objetos explosivos no embalados/envasados, para determinar si hay explosión de toda la masa o riesgo de proyecciones peligrosas, radiación térmica y/o combustión violenta o cualquier otro efecto peligroso en caso de incendio; y

Tipo 6 d): una prueba con un bulto, en espacio no limitado, de objetos explosivos a los que se aplique la disposición especial 347 del capítulo 3.3 de la Reglamentación Modelo, para determinar si fuera del bulto hay efectos peligrosos resultantes de la inflamación o cebado accidentales del contenido.

10.4.2.4 Las pruebas de la serie 7 permiten responder a la pregunta "¿Es un objeto explosivo extremadamente insensible?" (casilla 40, figura 10.3) y todo objeto susceptible de incluirse en la división 1.6 debe superar cada una de las diez pruebas de que consta la serie. Los seis primeros tipos de prueba (7a) a 7f)) se utilizan para determinar si se trata de una sustancia detonante extremadamente insensible (DEI) y los cuatro tipos restantes (7g), 7h), 7j) y 7k)) se utilizan para determinar si un objeto que contiene una sustancia DEI puede asignarse a la división 1.6. Los diez tipos de prueba son los siguientes:

Tipo 7 a): una prueba de excitación por onda de choque para determinar la sensibilidad a un estímulo mecánico intenso;

Tipo 7 b): una prueba de excitación por onda de choque, con una carga multiplicadora determinada y en un espacio limitado, para determinar la sensibilidad a una onda de choque;

Tipo 7 c): una prueba para determinar la sensibilidad de la sustancia explosiva al deterioro bajo el efecto de un choque;

Tipo 7 d): una prueba para determinar el grado de reacción de la sustancia explosiva al choque o a la penetración resultantes de una fuente de energía determinada;

Tipo 7 e): una prueba para determinar la reacción de la sustancia explosiva a un fuego exterior cuando la sustancia se encuentra en espacio limitado;

Tipo 7 f): una prueba para determinar la reacción de la sustancia explosiva en un entorno en el que la temperatura sube progresivamente hasta 365 °C;

Tipo 7 g): una prueba para determinar la reacción a un fuego exterior de un objeto tal como se presenta para el transporte;

Tipo 7 h): una prueba para determinar la reacción de un objeto en un entorno en el que la temperatura sube progresivamente hasta 365 °C;

Tipo 7 j): una prueba para determinar la reacción de un objeto al choque y a la penetración resultantes de una fuente de energía determinada;

Tipo 7 k): una prueba para determinar si la detonación de un objeto iniciará una detonación en un objeto contiguo idéntico.

10.4.2.5 Se responde a la pregunta "se trata de una sustancia susceptible de ser clasificada como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, para la fabricación de explosivos para voladuras (ENA)" (caso 2 a) de la figura 10.2) mediante pruebas de la serie 8, debiéndose someter cada sustancia susceptible de serlo a las tres pruebas de la serie. Los tres tipos de prueba son los siguientes:

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Tipo 8 a): prueba para determinar la estabilidad térmica;

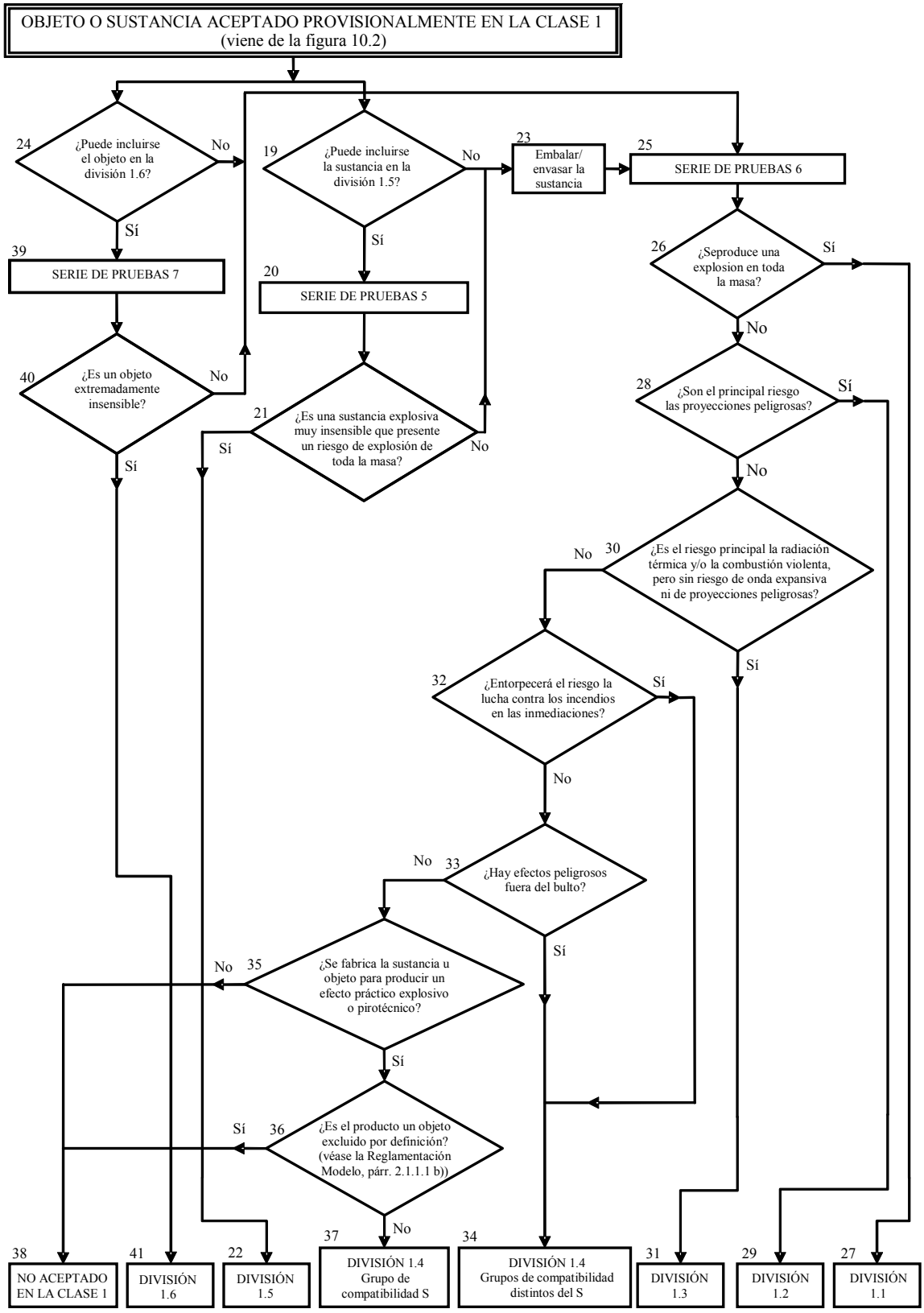
Tipo 8 b): prueba de excitación por onda de detonación para determinar la sensibilidad a una onda de choque violenta;

Tipo 8 c): prueba para determinar el efecto del calentamiento en espacio limitado

La serie de pruebas 8 d) figura en la presente sección como método dirigido a determinar si una sustancia puede ser transportada en cisterna.

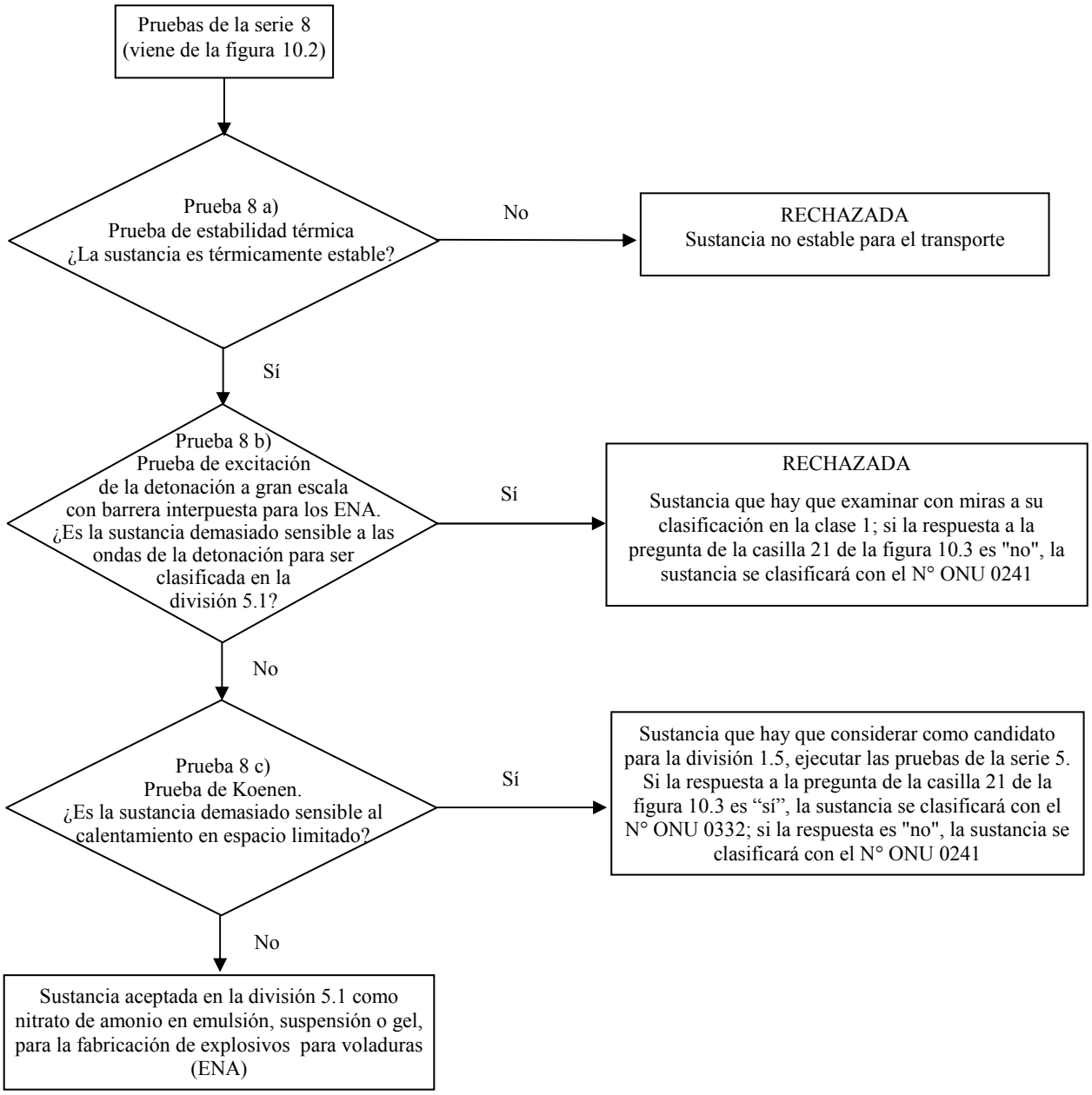
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.3: PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN A UNA DIVISIÓN DE LA CLASE 1



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.4: PROCEDIMIENTO PARA UNA EMULSIÓN, UNA SUSPENSIÓN O UN GEL DE NITRATO DE AMONIO, PARA LA FABRICACIÓN DE EXPLOSIVOS PARA VOLADURAS



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

10.4.3 ***Aplicación de los métodos de prueba***

10.4.3.1 En el Glosario del apéndice B de la Reglamentación Modelo se explican algunos términos utilizados en la asignación de sustancias a una división o grupo de compatibilidad (por ejemplo, explosión de la totalidad de la masa, sustancia pirotécnica, totalidad de la carga, totalidad del contenido, explosión, explosión de la totalidad del contenido, etc.).

10.4.3.2 La serie de pruebas 5 se utiliza para determinar si una sustancia puede asignarse a la división 1.5. Sólo pueden asignarse a esta división las sustancias que superen las tres pruebas.

10.4.3.3 La serie de pruebas 6 se aplica a los bultos de sustancias y objetos explosivos en el estado y la forma en que se presentan para el transporte. La disposición geométrica de los productos debe ajustarse al método de embalaje/envasado y a las condiciones reales de transporte y debe ser tal que produzca los resultados más desventajosos en las pruebas. Cuando los objetos explosivos deban transportarse sin embalaje/envase, las pruebas deben realizarse con los objetos no embalados/envasados. Todos los tipos de embalaje/envase que contengan sustancias u objetos deben someterse a las pruebas, a menos que:

a) El producto, incluido su posible embalaje/envase, pueda ser asignado sin ambigüedad a una división por la autoridad competente sobre la base de los resultados de otras pruebas o de la información disponible; o

b) El producto, incluido su posible embalaje/envase, se asigne a la división 1.1.

10.4.3.4 Las pruebas de los tipos 6 a), 6 b), 6 c) y 6 d) deben efectuarse por este orden. En cambio, no siempre es necesario realizar las cuatro pruebas. Puede omitirse el tipo 6 a) si los objetos explosivos se transportan sin embalaje/envase o cuando sólo hay un objeto dentro del bulto. También puede omitirse el tipo 6b) si en cada prueba de tipo 6a):

a) El exterior del bulto no resulta dañado por la detonación y/o inflamación internas; o

b) El contenido del bulto no explosiona o lo hace tan débilmente que cabe descartar la posibilidad de propagación del efecto explosivo de un bulto a otro en la prueba de tipo 6b).

Asimismo, se puede omitir la prueba 6c) si, en una prueba del tipo 6b), se produce una explosión prácticamente instantánea de la casi totalidad del contenido de la pila. En tal caso, el producto se asigna a la división 1.1.

La prueba de tipo 6 d) es una prueba que se utiliza para determinar si es procedente la clasificación en la división 1.4, grupo de compatibilidad S, y sólo se utiliza si se aplica la disposición especial 347 del capítulo 3.3 de la Reglamentación Modelo.

Los resultados de las series de pruebas 6 c) y 6 d) indican si es procedente la clasificación en la división 1.4, grupo de compatibilidad S; de lo contrario, la clasificación se hará en la división 1,4, pero en un grupo de compatibilidad distinto del S.

10.4.3.5 Si una sustancia da un resultado negativo (no se propaga la detonación) en una prueba de tipo a) de la serie 1, no es necesario efectuar la prueba 6a) con detonador. Si una sustancia da un resultado negativo (no hay deflagración o ésta es lenta) en una prueba c) de la serie 2, puede omitirse la prueba 6a).

10.4.3.6 Las pruebas de los tipos 7a) a 7f) deben utilizarse para determinar si el explosivo es una sustancia detonante extremadamente insensible; seguidamente, se utilizarán las pruebas 7g), 7h), 7j) y 7k) para determinar si los objetos que contienen la sustancia DEI puede asignarse a la división 1.6.

10.4.3.7 Los tipos de prueba 8 a) a 8 c) han de ser utilizados con el objeto de determinar si una emulsión, una suspensión o un gel de nitrato de amonio, para la fabricación de explosivos para voladuras

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

(ENA), puede ser asignada a la división 5.1. Las sustancias que no satisfacen alguna de las pruebas pueden considerarse susceptibles de pertenecer a la clase 1 conforme a la figura 10.4.

10.4.3.8 Si los objetos contienen elementos inertes de control que resulten costosos, éstos pueden sustituirse por otros elementos inertes que tengan masas y volúmenes similares.

10.5 Ejemplos de informes de prueba

10.5.1 En las figuras 10.5 a 10.8 se dan ejemplos de informes de prueba y de utilización de los diagramas-cuestionarios en la aplicación de los procedimientos de aceptación y asignación a la clase 1 al almizcle xileno (ONU 2956).

10.5.2 En la figura 10.9 se presenta un modelo de informe de prueba relativo a los objetos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.5: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ACEPTACIÓN EN LA CLASE 1

1.	**Nombre de la sustancia**:	5-terc-BUTIL-2,4,6-TRINITRO-m-XILENO (ALMIZCLE XILENO)
2.	**Datos generales**	
2.1	Composición:	terc-butil-2,4,6-trinitro-m-xileno al 99%
2.2	Fórmula molecular	$C_{12}\ H_{15}N_3O_6$
2.3	Forma física:	Polvo cristalino fino
2.4	Color:	Amarillo claro
2.5	Densidad aparente	840 kg/m^3
2.6	Granulometría:	< 1,7 mm
3.	**Casilla 2**:	¿Se fabrica la sustancia para producir un efecto práctico explosivo o pirotécnico?
3.1	Respuesta:	No
3.2	Casilla Terminal	Pasar a la casilla 3
4.	**Casilla 3**:	Serie de pruebas 1
4.1	Propagación de la detonación:	Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas) (prueba 1 a))
4.2	Condiciones de la muestra:	Temperatura ambiente
4.3	Observaciones:	Longitud de fragmentación 40 cm
4.4	Resultado:	Positivo ("+"), propagación de la detonación
4.5	Efecto del calentamiento en espacio limitado:	Prueba Koenen (prueba 1b))
4.6	Condiciones de la muestra:	Masa 22,6 g
4.7	Observaciones:	Diámetro límite 5,0 mm Tipo de fragmentación "F" (tiempo hasta la reacción, 52 s; duración de la reacción, 27 s)
4.8	Resultado	Positivo, hay algunos efectos explosivos durante el calentamiento en espacio limitado
4.9	Efecto de inflamación en espacio limitado:	Prueba de tiempo/presión (prueba 1 c) i))
4.10	Condiciones de la muestra:	Temperatura ambiente
4.11	Observaciones:	No hay inflamación
4.12	Resultado:	Negativo ("-"), no hay inflamación en espacio limitado
4.13	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 4
5.	**Casilla 4**:	¿Es una sustancia explosiva?
5.1	Respuesta en la serie de pruebas 1 :	Sí
5.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 5
6.	**Casilla 5**:	Serie de pruebas 2
6.1	Sensibilidad a la onda de choque	Prueba de excitación con barrera interpuesta Naciones Unidas) (prueba 2 a))
6.2	Condiciones de la muestra:	Temperatura ambiente
6.3	Observaciones:	No hay propagación
6.4	Resultado:	Negativo ("-"), no es sensible a la onda de choque
6.5	Efecto del calentamiento en espacio limitado:	Prueba Koenen (prueba 2 b))
6.6	Condiciones de la muestra:	Masa 22,6 g
6.7	Observaciones:	Diámetro límite 5,0 mm Tipo de fragmentación "F" (tiempo hasta la reacción, 52 s; duración de la reacción, 27 s)

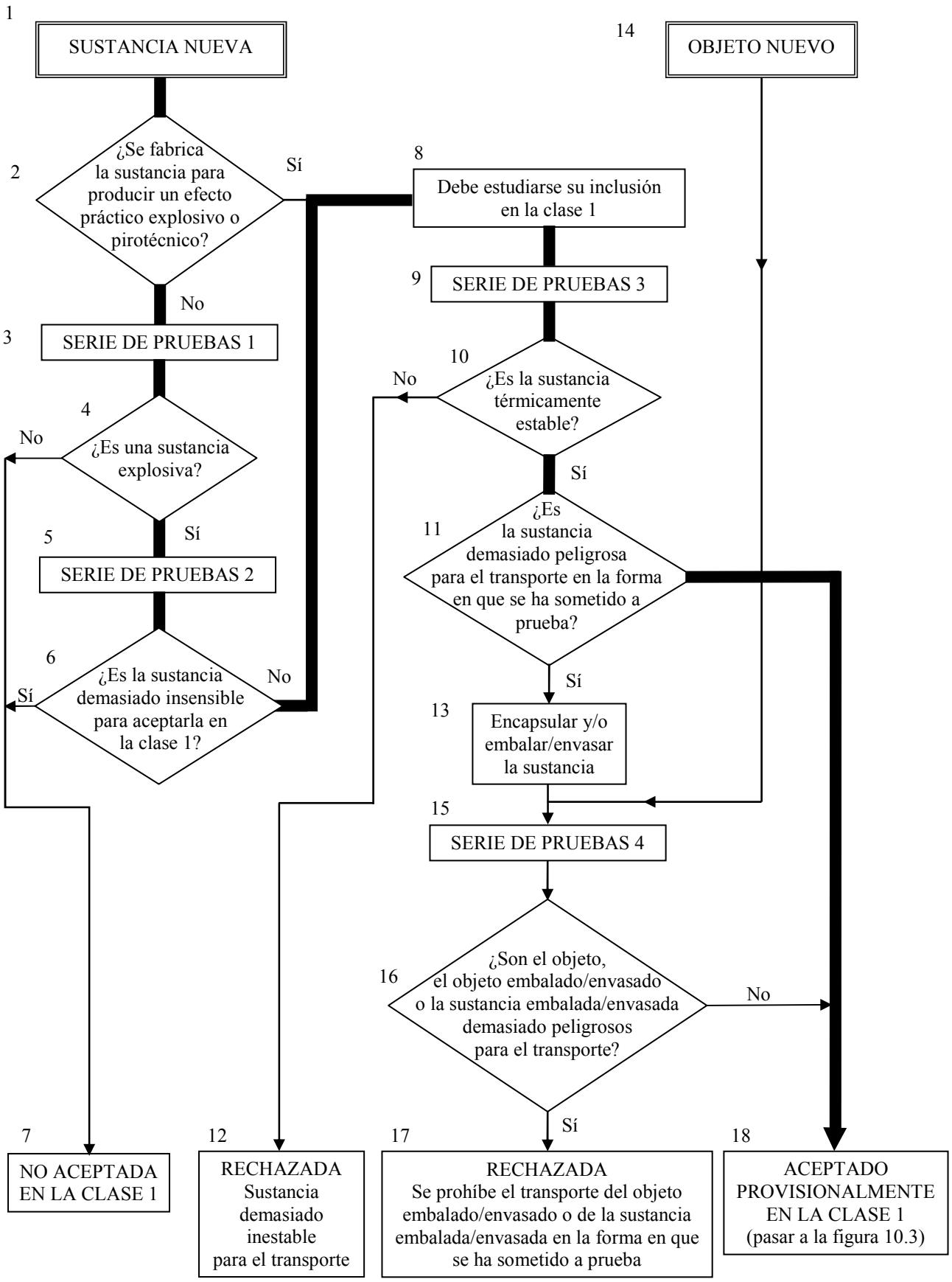
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.5: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ACEPTACIÓN EN LA CLASE 1 *(cont.)*

6.8	Resultado:	Positivo ("+"), efecto violento del calentamiento en espacio limitado
6.9	Efecto de la inflamación en espacio limitado	Prueba de tiempo/presión (prueba 2 c) i))
6.10	Condiciones de la muestra:	Temperatura ambiente
6.11	Observaciones:	No hay inflamación
6.12	Resultado:	Negativo ("-"), no hay reacción al producirse la inflamación en espacio limitado
6.13	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 6
7.	**Casilla 6**:	¿Es la sustancia demasiado insensible para aceptarla en la clase 1?
7.1	Respuesta en la serie de pruebas 2:	No
7.2	Conclusión	Seguir el examen de la sustancia para su inclusión en la clase 1 (casilla 8)
7.3	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 9
8.	**Casilla 9**:	Serie de pruebas 3
8.1	Estabilidad térmica:	Prueba de 48 horas a 75ºC (prueba 3c))
8.2	Condiciones de la muestra:	100 g de sustancia a 75ºC
8.3	Observaciones:	No hay inflamación, explosión, calentamiento espontáneo o descomposición visible
8.4	Resultado:	Negativo ("-"), térmicamente estable
8.5	Sensibilidad a la onda de choque:	Prueba del martinete BAM (prueba 3 a) ii))
8.6	Condiciones de la muestra	Tal como se recibió
8.7	Observaciones:	Energía límite de impacto, 25 J
8.8	Resultado	Negativo, no es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba
8.9	Sensibilidad a la fricción:	Prueba de la máquina de fricción BAM (prueba 3 b) i))
8.10	Condiciones de la muestra	Tal como se recibió
8.11	Observaciones:	Carga límite > 360 N
8.12	Resultado:	Negativo ("-"), no es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba
8.13	Facilidad de transición de deflagración a detonación:	Prueba de combustión en pequeña escala (prueba 3 d))
8.14	Condiciones de la muestra:	Temperatura ambiente
8.15	Observaciones:	Se inflama y quema lentamente
8.16	Resultado	Negativo ("-"), no es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba
8.17	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 10
9.	**Casilla 10**	¿Es la sustancia térmicamente estable?
9.1	Respuesta en la prueba 3c):	Sí
9.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 11
10.	**Casilla 11**:	¿Es la sustancia demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba?
10.1	Respuesta en la serie de pruebas 3:	No
10.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 18
11.	**Conclusión**:	ACEPTADA PROVISIONALMENTE EN LA CLASE 1
11.1	Casilla terminal:	Aplicar el procedimiento de asignación a la clase 1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.6: PROCEDIMIENTO DE ACEPTACIÓN PROVISIONAL DEL ALMIZCLE XILENO EN LA CLASE 1



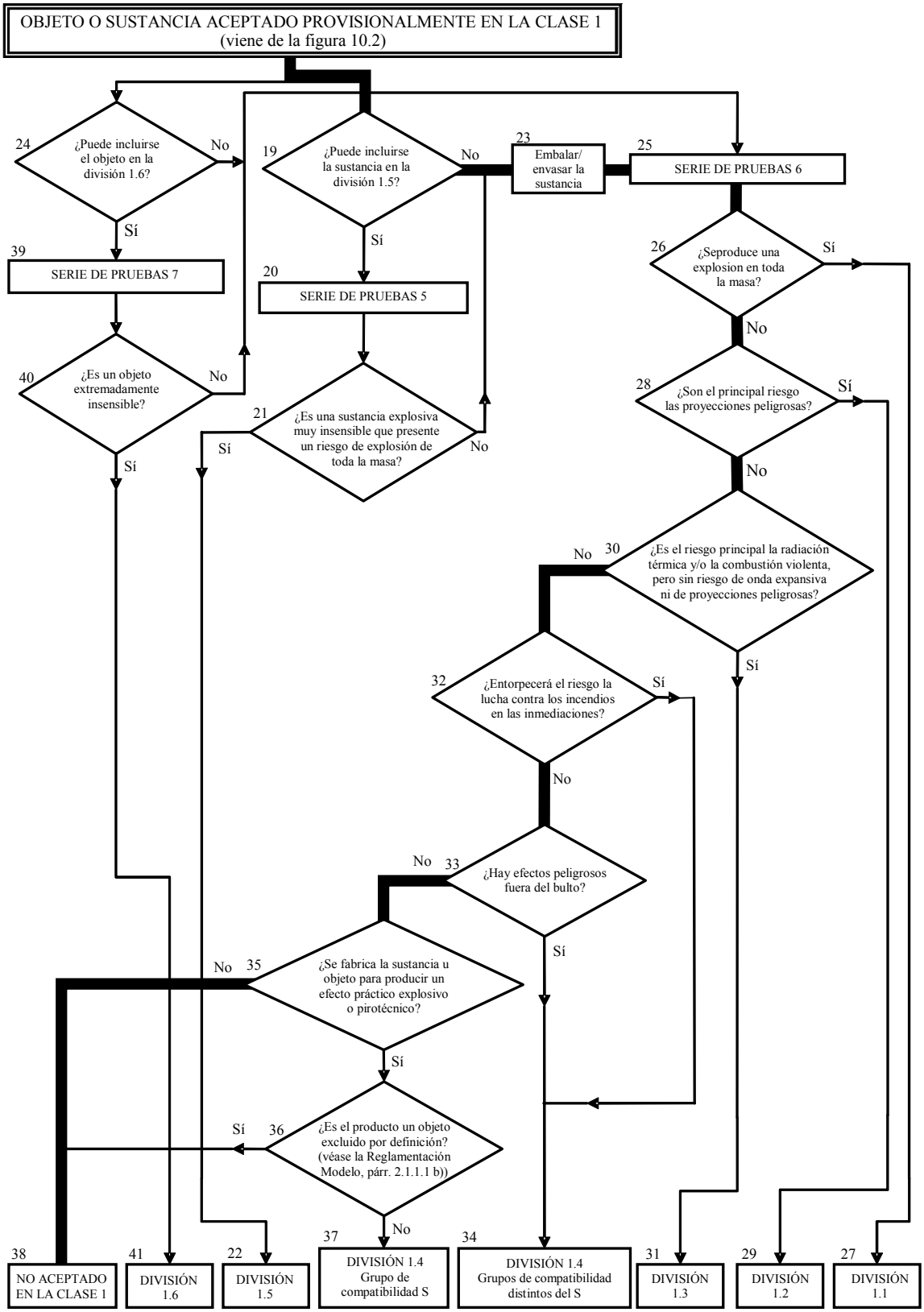
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.7: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN A LA CLASE 1

1.	**Casilla 19** :	¿Puede incluirse la sustancia en la división 1.5?
1.1	Respuesta:	No
1.2	Resultado:	Embalar/envasar la sustancia (casilla 23)
1.3	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 25
2.	**Casilla 25**:	Serie de pruebas 6
2.1	Efecto de la iniciación en el interior del bulto:	Prueba 6 a) con detonador
2.2	Condiciones de la muestra:	Temperatura ambiente, bidón de cartón de 50 kg
2.3	Observaciones:	Sólo hay una descomposición localizada aredeor del detonador
2.4	Resultado:	No hay reacción significativa
2.5	Efecto de la inflamación en el interior del bulto:	Prueba 6 a) con inflamador
2.6	Condiciones de la muestra:	Temperatura ambiente, bidón de cartón de 50 kg
2.7	Observaciones:	Sólo hay una descomposición localizada alrededor del inflamador
2.8	Resultado:	No hay reacción significativa
2.9	Efecto de propagación entre bultos:	No se requiere la prueba 6b), ya que no se producen efectos fuera del bulto en la prueba 6 a)
2.10	Efecto de un fuego intenso:	Prueba 6 c)
2.11	Condiciones de la prueba:	3 bidones de cartón de 50 kg montados en un bastidor de acero sobre fuego de láminas de madera entrecruzadas
2.12	Observaciones:	Sólo hay una combustión lenta con emisión de humo negro
2.13	Resultado:	No hay efectos que puedan entorpecer la lucha contra incendio
2.14	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 26
3.	**Casilla 26**:	¿Se produce una explosión de toda la masa?
3.1	Respuesta en la serie de pruebas 6:	No
3.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 28
4.	**Casilla 28**:	¿Son el riesgo principal las proyecciones peligrosas?
4.1	Respuesta en la serie de pruebas 6:	No
4.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 30
5.	**Casilla 30**:	¿Es el riesgo principal la radiación térmica y/o la combustión violenta, pero sin riesgo de onda expansiva ni de proyecciones peligrosas?
5.1	Respuesta en la serie de pruebas 6:	No
5.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 32
6.	**Casilla 32**:	¿Existe, no obstante, un pequeño riesgo en caso de inflamación o de iniciación?
6.1	Respuesta en la serie de pruebas 6 :	No
6.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 35
7.	**Casilla 35**:	¿Se fabrica la sustancia u objeto para producir un efecto práctico explosivo o pirotécnico?
7.1	Respuesta:	No
7.2	Casilla terminal:	Pasar a la casilla 38
8.	**Conclusión**:	NO ACEPTADA EN LA CLASE 1
8.1	Casilla terminal:	Estudiar su clasificación en otra clase o división

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.8: PROCEDIMIENTO DE EXCLUSIÓN DEL ALMIZCLE XILENO DE LA CLASE 1



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 10.9: MODELO DE FORMULARIO PARA EL INFORME DE PRUEBA RELATIVO A LOS OBJETOS

Método de prueba		Fecha del informe		Número de referencia	
Nombre del producto		Número de lote		Fecha de fabricación	

CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONTENIDO (adjuntar esquemas, etc.)

EMBALAJE/ENVASE (cuando proceda)

PRETRATAMIENTO O ACONDICIONAMIENTO (cuando proceda)

CONFIGURACIÓN DE LA PRUEBA (incluida cualquier variación o desviación con respecto a los procedimientos descritos en el Manual)

CONDICIONES DE LA PRUEBA

Temperatura ambiente: ºC Humedad relativa: %

OBSERVACIONES

RESULTADO DE LA PRUEBA

CONCLUSIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 11

SERIE DE PRUEBAS 1

11.1 Introducción

11.1.1 Para responder a la pregunta "¿Es una sustancia explosiva?" (casilla 4 de la figura 10.2), hay que tomar como base las definiciones nacionales e internacionales de lo que es una sustancia explosiva y los resultados de tres tipos de pruebas destinadas a evaluar los posibles efectos explosivos. La respuesta a la pregunta de la casilla 4 es "sí" si se obtiene un resultado positivo en cualquiera de los tres tipos de pruebas.

11.2 Métodos de prueba

La serie 1 comprende tres tipos de pruebas:

Tipo a): para determinar la propagación de la detonación;
Tipo b): para determinar el efecto del calentamiento en espacio limitado; y
Tipo c): para determinar el efecto de la inflamación en espacio limitado.

En el cuadro 11.1 se enumeran los métodos de prueba que se utilizan en la actualidad.

Cuadro 11.1: MÉTODOS DE PRUEBA DE LA SERIE 1

Código	Nombre de la prueba	Sección
1 a)	Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)[a]	11.4.1
1 b)	Prueba Koenen[a]	11.5.1
1 c) i)	Prueba de tiempo/presión[a]	11.6.1
1 c) ii)	Prueba de inflamación interior	11.6.2

[a] *Prueba recomendada*.

11.3 Condiciones de las pruebas

11.3.1 Como la densidad aparente de la sustancia tiene efectos importantes en los resultados de la prueba de tipo 1 a), siempre debe constar esa densidad. La densidad aparente de los sólidos debe determinarse por medición del volumen del tubo y de la masa de la muestra.

11.3.2 Si se trata de una mezcla cuyos componentes pueden separarse durante el transporte, la prueba debe efectuarse poniendo el inflamador en contacto con el componente potencialmente más explosivo.

11.3.3 Las pruebas deben efectuarse a la temperatura ambiente, a menos que la sustancia deba transportarse en condiciones que puedan alterar su estado físico o su densidad.

11.3.4 Si se proyecta transportar líquidos en contenedores cisterna o recipientes intermedios para graneles con una capacidad superior a 450 litros, debe efectuarse una versión cavitada de la prueba 1 a) (véase la disposición especial 26 del capítulo 3.3 de la Reglamentación Modelo).

11.3.5 En el caso de las sustancias orgánicas y de las mezclas de sustancias orgánicas cuya energía de descomposición sea igual o superior a 800 J/g, no es necesario realizar la prueba de tipo 1 a), si el resultado de la prueba del mortero balístico Mk.IIId (F.1), de la prueba del mortero balístico (F.2) o de la prueba Trauzl (BAM) (F.3), con iniciación por un detonador normalizado Nº 8 (véase el apéndice 1), es negativo (-). En este caso, el resultado de la prueba de tipo 1 a), se considera negativo (-). Si el resultado de las pruebas F.1, F.2 ó F.3 es "Considerable", se estimará que el resultado de la prueba 1, tipo a), es "+". En este caso, el resultado "-" sólo puede obtenerse mediante la realización de la prueba 1, tipo a).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

11.4 Serie 1, tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

11.4.1 *Prueba 1 a): Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)*

11.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar si una sustancia, en espacio limitado en un tubo de acero, es capaz de propagar una detonación si se la somete a la detonación producida por una carga multiplicadora.

11.4.1.2 *Aparatos y materiales*

11.4.1.2.1 Sólidos

El aparato que se utiliza para sólidos aparece representado esquemáticamente en la figura 11.4.1.1. La muestra se aloja en un tubo de acero al carbono, estirado en frío y sin costuras, de 48 ± 2 mm de diámetro exterior, 4,0 ± 0,1 mm de espesor de pared y 400 ± 5 mm de longitud. Si la sustancia sometida a prueba puede reaccionar con el acero, la pared interior del tubo puede ir revestida de resina de fluorocarbono. El extremo inferior del tubo está cerrado por dos capas de polietileno laminado, de 0,08 mm de espesor, sujetas con tiras de goma elástica y cinta aislante (para lograr la deformación plástica). Para las muestras que afectan al polietileno, pueden utilizarse láminas de politetrafluoretileno. La carga multiplicadora consiste en 160 g de ciclonita/cera (95/5) o de pentrita/TNT (50/50), de 50 ± 1 mm de diámetro con una densidad de 1.600 ± 50 kg/cm^3 que da una longitud de unos 50 mm. La carga de ciclonita/cera puede prensarse en una o varias piezas, siempre que la carga total corresponda a las especificaciones, y la carga de pentrita/TNT es moldeada. En el extremo superior del tubo de acero va montada una placa testigo de acero dulce, de 150 ± 10 mm de lado y 3,2 ± 0,2 mm de espesor, que está separada del tubo por dos elementos de 1,6 ± 0,2 mm de espesor.

11.4.1.2.2 Líquidos

Para los líquidos se utiliza el mismo aparato que para los sólidos. Cuando se efectúe una versión cavitada de la prueba (véase 11.3.4), puede utilizarse uno de los métodos de cavitación mencionados en el apéndice 3.

11.4.1.3 *Procedimiento*

11.4.1.3.1 Se llena completamente el tubo con la muestra. La densidad correcta de las muestras sólidas se consigue golpeando suavemente el tubo hasta que deje de percibirse que la sustancia sigue asentándose. Se determina la masa de la muestra y, para los sólidos, se calcula la densidad aparente utilizando el volumen interior medido del tubo. La densidad debe aproximarse lo más posible a la densidad de transporte.

11.4.1.3.2 El tubo se coloca en posición vertical y la carga multiplicadora se pone en contacto directo con la lámina que sella el extremo inferior del tubo. Se coloca el detonador contra la carga multiplicadora y se activa. Deben efectuarse dos ensayos si no hay detonación en el primero.

11.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Los resultados de la prueba se evalúan sobre la base del tipo de fragmentación del tubo y de la perforación de la placa testigo. Para la clasificación debe utilizarse la prueba que de la evaluación más rigurosa. Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia propaga la detonación:

- si el tubo se ha fragmentado completamente; o
- si la placa testigo ha resultado perforada.

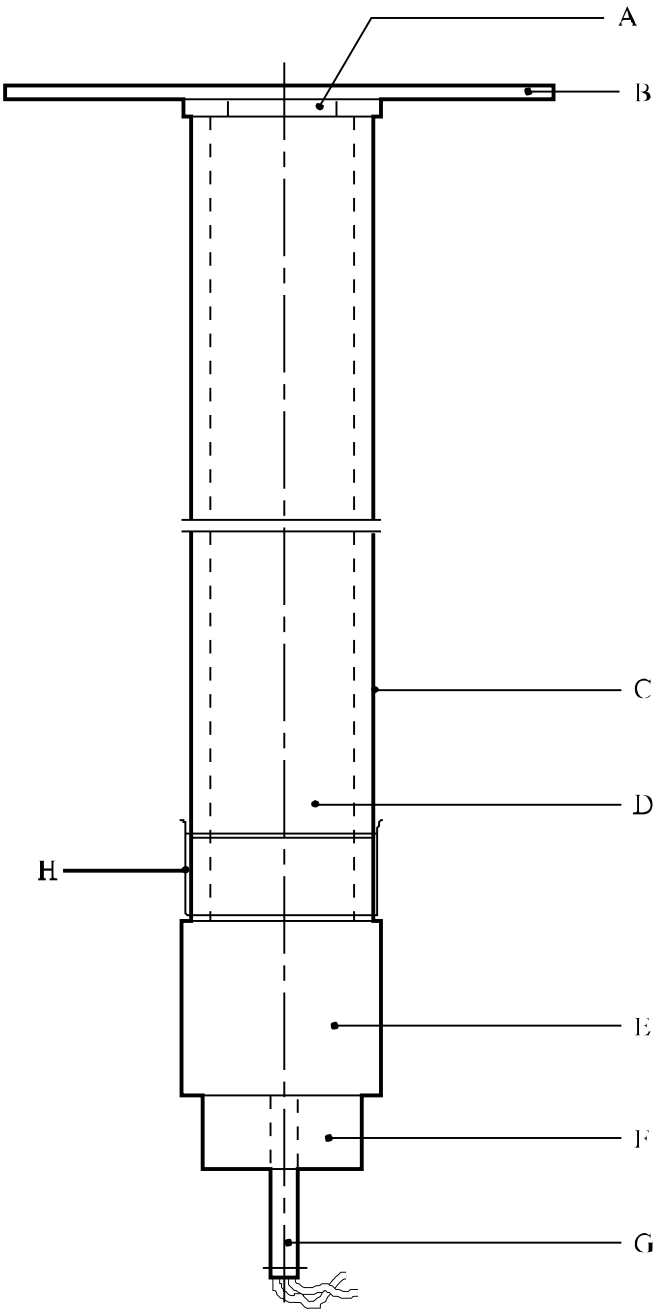
En todos los demás casos, se considera que el resultado es negativo (-) y que la sustancia no propaga la detonación.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

11.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad aparente (kg/m^3)**	**Longitud de fragmentación (cm)**	**Placa testigo**	**Resultado**
Nitrato amónico, pepitas	800	40	Abovedada	+
Nitrato amónico, 200 µm	540	40	Perforada	+
Nitrato amónico/fueloil (94/6)	880	40	Perforada	+
Nitrometano	1.130	40	Perforada	+
Nitrometano/metanol (55/45)	970	20	Abovedada	-
Pentrita/lactosa (20/80)	880	40	Perforada	+
Pentrita/lactosa (10/90)	830	17	Sin daños	-
Perclorato amónico, 200 µm	1.190	40	Perforada	+
TNT, moldeado	1.510	40	Perforada	+
TNT, en copos	710	40	Perforada	+
Agua	1.000	< 40	Abovedada	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Elementos separadores	(B)	Placa testigo
(C)	Tubo de acero	(D)	Sustancia sometida a prueba
(E)	Carga multiplicadora de ciclonita/cera o pentrita/TNT	(F)	Receptáculo del detonador
(G)	Detonador	(H)	Membrana de plástico

Figura 11.4.1.1: PRUEBA DE EXCITACIÓN CON BARRERA INTERPUESTA (Naciones Unidas)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

11.5 Serie 1, tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

11.5.1 *Prueba 1 b): Prueba Koenen*

11.5.1.1 *Introducción*

Se utiliza esta prueba para determinar la sensibilidad de las sustancias sólidas y líquidas a los efectos de un calentamiento intenso en un espacio muy limitado.

11.5.1.2 *Aparatos y materiales*

11.5.1.2.1 El aparato consiste en un tubo de acero no reutilizable, con dispositivo de cierre reutilizable, instalado en un dispositivo de calentamiento y de protección. El tubo se obtiene por estampado de una chapa fina de acero, conforme a las especificaciones de la norma DC04 (EN 10027-1), o de las normas equivalentes A620 (AISI/SAE/ASTM) o SPCEN (JIS G 3141). Las dimensiones se indican en la figura 11.5.1.1. El extremo abierto del tubo termina en una brida. La placa de cierre, a través de cuyo orificio salen los gases resultantes de la descomposición de la sustancia que se somete a prueba, es de acero al cromo, resistente al calor, y puede obtenerse con los siguientes diámetros de orificio: 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 5,0 - 8,0 - 12.0 y 20,0 mm. En la figura 11.5.1.1 se indican las dimensiones del collar roscado y de la tuerca (dispositivo de cierre).

Para el control de la calidad de los tubos de acero, el 1% de los tubos de cada lote de fabricación se someterá a control de calidad y se comprobarán los siguientes datos:

a) La masa de los tubos deberá ser de 26,5 ± 1,5 g, y la masa de los tubos que vayan a utilizarse en una secuencia de ensayos no diferirá en más de un 1 g;

b) La longitud de los tubos será de 75 ± 0,5 mm;

c) El espesor de la pared de los tubos, medido a una distancia de 20 mm del fondo, deberá ser de 0,5 ± 0,05 mm; y

d) La presión de rotura determinada por una carga cuasi estática aplicada por medio de un fluido incompresible deberá ser de 30 ± 3 MPa.

11.5.1.2.2 Para el calentamiento se utilizan cuatro quemadores alimentados con propano a partir de una bombona de gas industrial provista de un regulador de presión, de un medidor de caudal y un colector. Pueden utilizarse otros gases combustibles, a condición de que proporcionen la velocidad de calentamiento prescrita. Se regula la presión del gas para dar una velocidad de calentamiento de 3,3 ± 0,3 K/s, valor medido mediante un procedimiento de calibración. Éste consiste en calentar un tubo (provisto de una placa con un orificio de 1,5 mm) que contiene 27 cm^3 de ftalato de dibutilo. Se registra el tiempo necesario para elevar la temperatura del líquido (medida con un termopar de 1mm de diámetro colocado en posición central a 43 mm por debajo del borde del tubo) de 135°C a 285°C y se calcula la velocidad de calentamiento.

11.5.1.2.3 Como es probable que el tubo resulte destruido en la prueba, el calentamiento se efectúa en una caja protectora, constituida por elementos soldados, cuya configuración y dimensiones se indican en la figura 11.5.1.2. El tubo se suspende entre dos varillas a las que sirven de apoyo unos orificios existentes en paredes opuestas de la caja. En la misma figura se representa la disposición de los quemadores. Estos se encienden simultáneamente mediante una llama piloto o un dispositivo eléctrico de encendido. ***Se coloca el aparato en un lugar protegido***. Deben tomarse las precauciones necesarias para que a las llamas de los quemadores no les afecte ninguna corriente de aire. En la sala de pruebas debe instalarse un aparato para la extracción de los gases o humos resultantes de los ensayos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

11.5.1.3 *Procedimiento*

11.5.1.3.1 Normalmente, la sustancia se somete a prueba en el mismo estado en que se haya recibido, si bien puede ser necesario someter a prueba la sustancia pulverizada. Para los sólidos, la masa de material que ha de utilizarse para cada prueba se determina mediante un ensayo previo en dos etapas. Un tubo tarado se llena con 9 cm^3 de sustancia y ésta debe ser compactada[1] con una fuerza de 80 N aplicada a toda la sección transversal del tubo. Si se trata de material compresible, se añade más y se compacta hasta que el tubo quede lleno hasta 55 mm del borde. Se determina la masa total de material utilizado hasta ese nivel y se añaden dos porciones adicionales, cada una compactada con una fuerza de 80 N. A continuación, se añade material, compactándolo, o se retira el excedente, según los casos, de manera que el tubo quede lleno hasta 15 mm del borde.

Se efectúa un segundo ensayo previo, empezando por añadir material compactado igual al tercio de la masa total medida en el primer ensayo. Se añaden dos porciones adicionales, compactadas con una fuerza de 80 N, y se ajusta el nivel de la sustancia en el tubo hasta 15 mm del borde, añadiendo o quitando material según sea necesario. La cantidad de sólidos determinada en el segundo ensayo se utiliza para cada ensayo, efectuándose el llenado en tres porciones iguales, cada una comprimida a 9 cm^3. (Esta operación puede facilitarse mediante la utilización de anillas separadoras). Los líquidos y geles se introducen en el tubo hasta 60 mm del borde; en el caso de los geles, se cuidará de que no queden espacios vacíos. Se monta el collar roscado desde abajo en el tubo, se inserta la placa con el orificio apropiado y se aprieta la tuerca, a mano, tras aplicarle algún lubricante a base de disulfuro de molibdeno. Es indispensable comprobar que entre la brida y la placa, o en las roscas, no queda ningún resto de la sustancia.

11.5.1.3.2 Con las placas cuyo orifico tenga de 1,0 a 8,0 mm de diámetro, deben utilizarse tuercas con orificio de 10,0 mm de diámetro; si el diámetro del orificio es de más de 8,0 mm, el de la tuerca debe ser de 20,0 mm. Cada tubo se utiliza para una prueba solamente. Por el contrario, las placas con orificio, los collares roscados y las tuercas pueden utilizarse repetidas veces, a condición de que no hayan sufrido ningún deterioro.

11.5.1.3.3 A continuación, se coloca el tubo en un tornillo de banco de montaje bien firme, y se aprieta la tuerca con una llave. Seguidamente, se suspende el tubo entre las dos varillas en la caja protectora. Se evacua la zona de la prueba, se abre el suministro de gas y se encienden los quemadores. El tiempo transcurrido hasta la primera reacción y la duración de ésta pueden aportar datos adicionales útiles para interpretar los resultados. Si no estalla el tubo, debe prolongarse el calentamiento durante cinco minutos como mínimo antes de dar por terminado el ensayo. Después de cada ensayo, deben recogerse y pesarse los fragmentos del tubo, si hubo fragmentación.

11.5.1.3.4 Pueden distinguirse los siguientes efectos:

"O": tubo intacto;
"A": combadura del fondo del tubo;
"B": combadura del fondo y de la pared del tubo;
"C": rajadura del fondo del tubo;
"D": rajadura de la pared del tubo;
"E": hendimiento del tubo en dos[2] fragmentos;
"F": fragmentación del tubo en tres[2] o más trozos, en su mayoría grandes, que en algunos casos pueden estar unidos entre sí por una tira estrecha;
"G": fragmentación del tubo en muchos trozos, en su mayoría pequeños, y dispositivo de cierre intacto;
"H": fragmentación del tubo en numerosos trozos muy pequeños; combadura o fragmentación del dispositivo de cierre.

---

[1] ***Por razones de seguridad (por ejemplo, la sustancia es sensible a la fricción), en algunos casos la sustancia no debe ser compactada****. Si la forma física de la muestra puede modificarse por compresión o si la muestra comprimida no cumple las condiciones de transporte (por ejemplo, los materiales fibrosos), pueden utilizarse métodos de llenado más representativos.*

[2] *La parte superior del tubo que queda en el dispositivo de cierre se cuenta como un fragmento.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

En la figura 11.5.1.3 se dan ejemplos de los efectos de los tipos "D", "E" y "F". Si un ensayo da los efectos de los tipos "O" a "E", se considera que "no ha habido explosión". Si se producen los efectos de los tipos "F", "G" o "H", se considera que ha habido "explosión".

11.5.1.3.5 Se inicia la serie de pruebas efectuando un solo ensayo, con una placa cuyo orificio sea de 20 mm. Si se observa, en este caso, el resultado "explosión", se prosigue la serie de ensayos utilizando tubos sin placa con orificio ni tuerca, pero con collar roscado (orificio de 24,0 mm). Si con 20 mm no ha habido explosión, se prosigue la serie -efectuándose en cada caso un solo ensayo- con placas cuyos respectivos orificios tienen 12,0 - 8,0 - 5,0 - 3,0 - 2,0 - 1,5 y, por último, 1,0 mm de diámetro, hasta que se produzca, con una de estas medidas, el resultado "explosión". Seguidamente, se efectúan ensayos con diámetros crecientes, según la secuencia indicada en el párrafo 11.5.1.2.1, hasta que sólo se consigan resultados negativos en tres ensayos al mismo nivel. El diámetro límite de una sustancia es el diámetro máximo del orificio con el que se obtiene el resultado "explosión". De no obtenerse ese resultado con un diámetro de 1,0 mm, se indica que el diámetro límite es inferior a 1,0 mm.

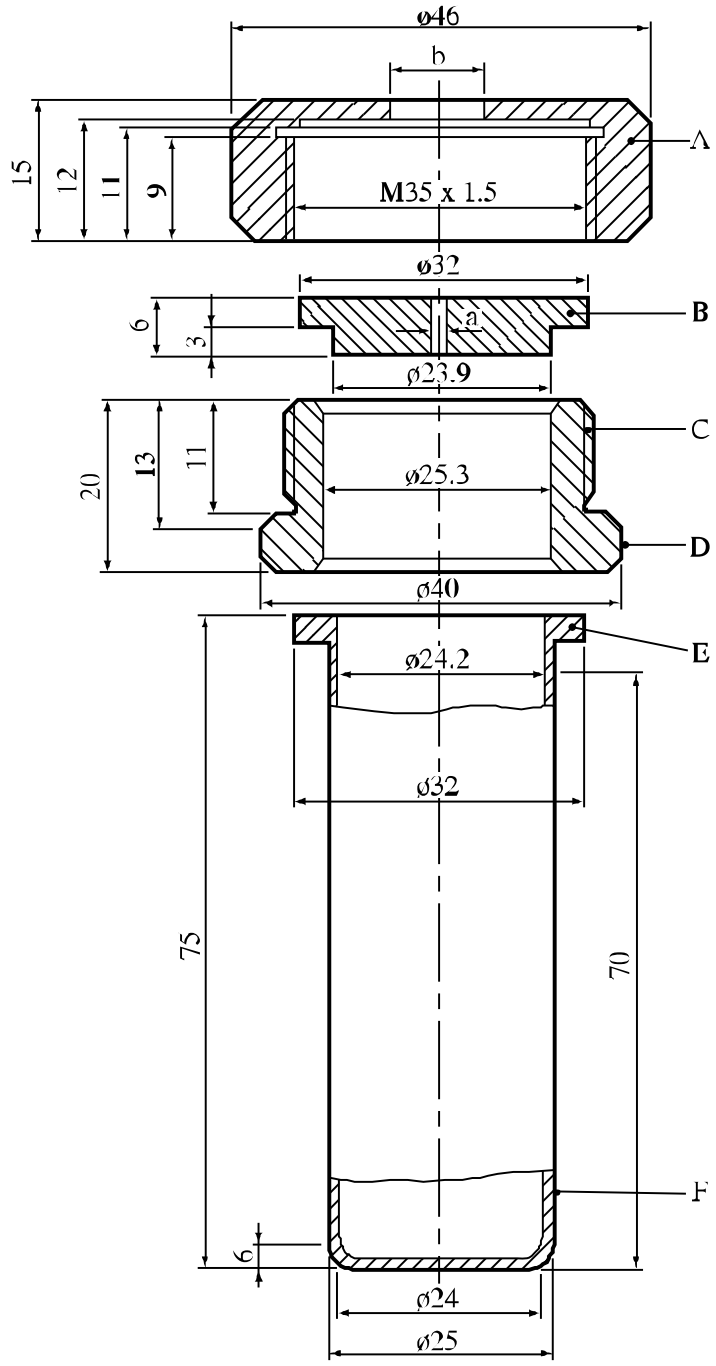
11.5.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia reacciona al calentamiento en espacio limitado si el diámetro límite es igual o superior a 1,0 mm. Se considera que el resultado es negativo (-) y que la sustancia no reacciona al calentamiento en espacio limitado si el diámetro límite es inferior a 1,0 mm.

11.5.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Diámetro límite (mm)**	**Resultado**
1,3-Dinitrobenceno (cristalino)	< 1,0	-
2,4-Dinitrotolueno (cristalino)	< 1,0	-
Nitrato amónico (cristalino)	1,0	+
Nitrato amónico (pepitas de densidad elevada)	1,0	+
Nitrato amónico (pepitas de baja densidad)	1,0	+
Nitrato de guanidina (cristalino)	1,5	+
Nitrato de urea (cristalino)	< 1,0	-
Nitroguanidina (cristalina)	1,0	+
Nitrometano	< 1,0	-
Perclorato amónico	3,0	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Tuerca (b = 10,0 ó 20,0 mm) ajustable con llave del 41	(B) Placa de orificio (a = 1,0 a 20,0 mm de diámetro)
(C) Collar roscado	(D) Tuerca ajustable con llave del 36
(E) Brida	(F) Tubo

Figura 11.5.1.1: TUBO Y ACCESORIOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

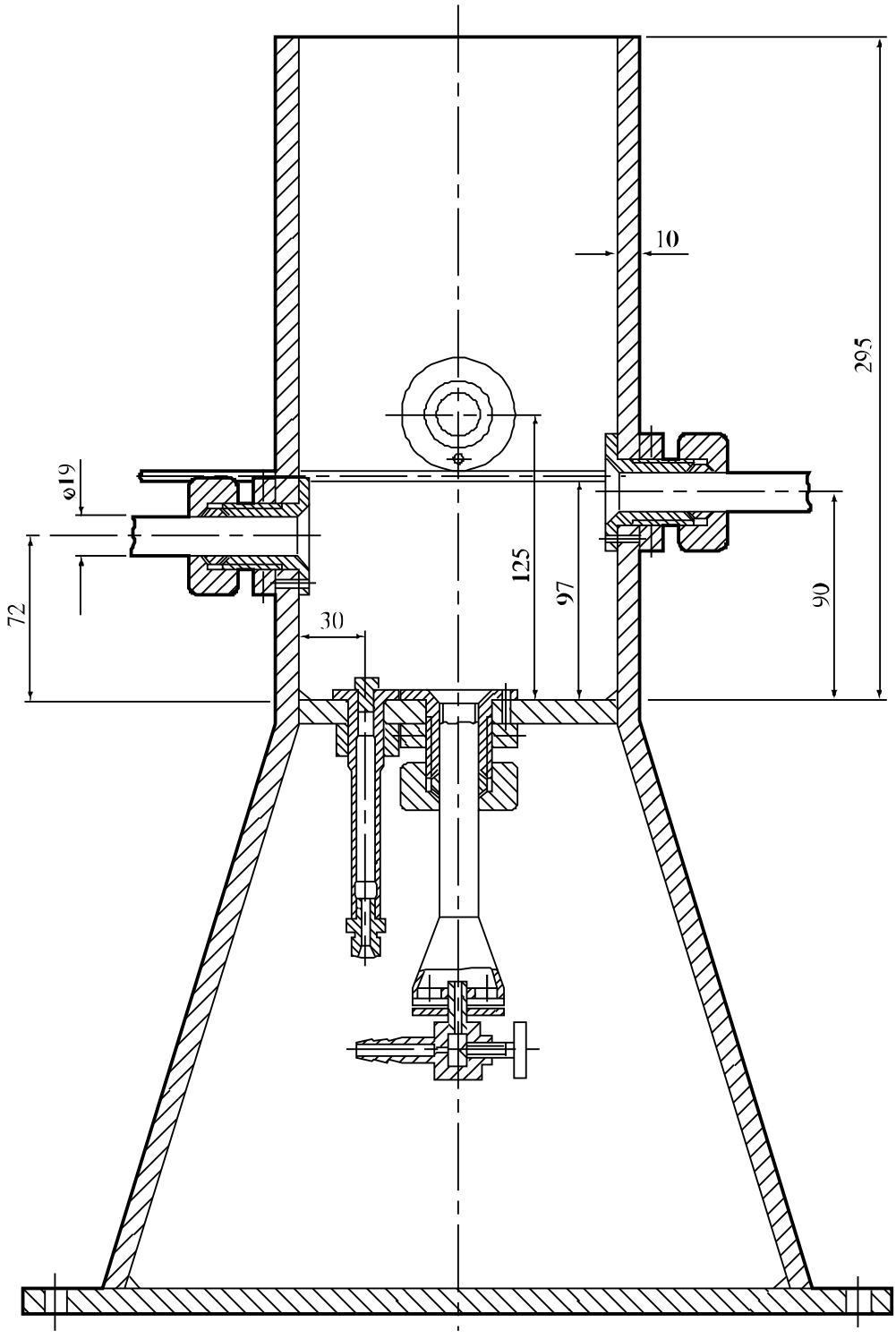


Figura 11.5.1.2: CAJA DE CALENTAMIENTO Y PROTECCIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

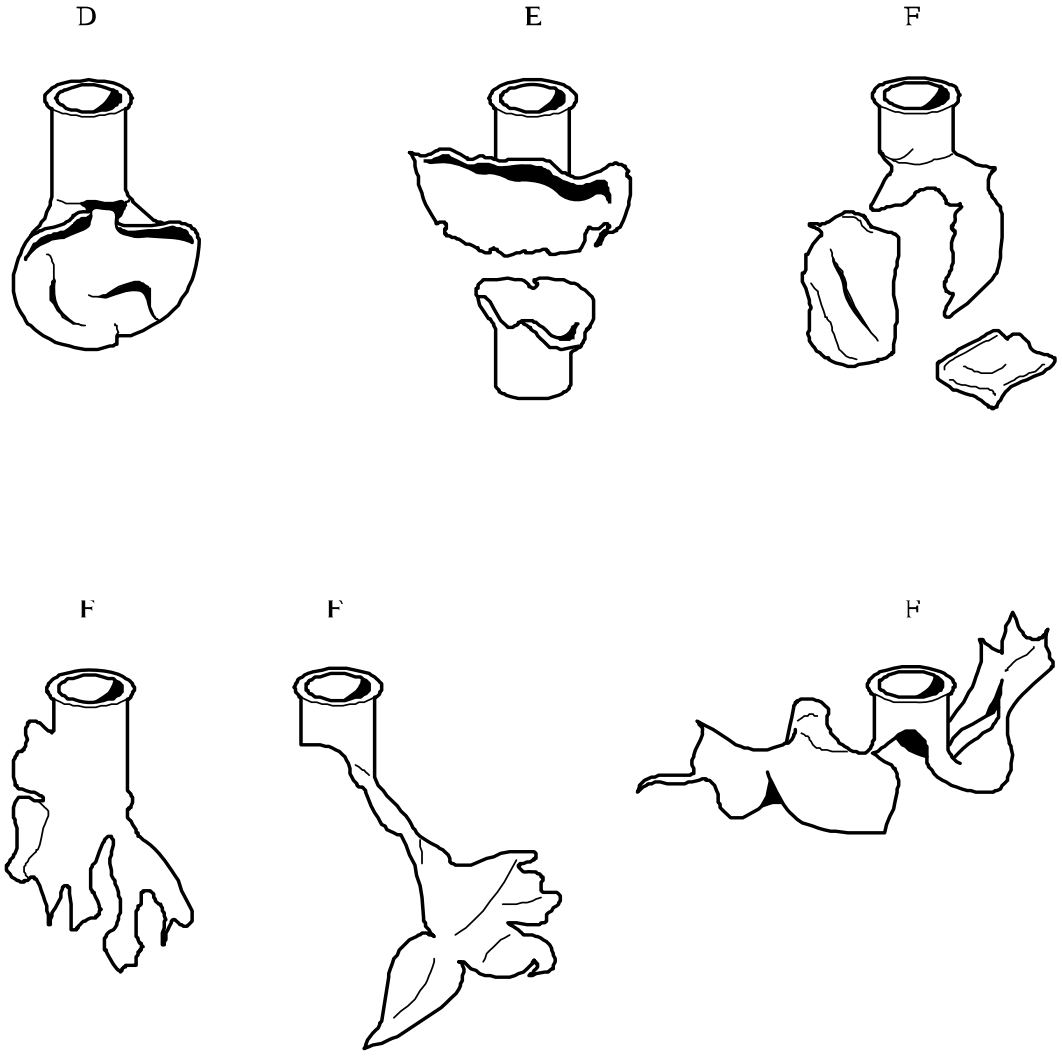


Figura 11.5.1.3: EJEMPLOS DE TIPOS DE FRAGMENTACIÓN D, E Y F

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

11.6 Serie 1, tipo c): Disposiciones relativas a las pruebas

11.6.1 *Prueba 1 c) i): Prueba de tiempo/presión*

11.6.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar los efectos de la inflamación de la sustancia[3] en un espacio limitado, con miras a averiguar si la inflamación puede provocar una deflagración de violencia explosiva a las presiones que pueden alcanzarse con determinadas sustancias en los bultos comerciales normales.

11.6.1.2 *Aparatos y materiales*

11.6.1.2.1 El aparato que se utiliza en esta prueba (figura 11.6.1.1) consiste en un recipiente cilíndrico a presión, de acero, de 89 mm de longitud y 60 mm de diámetro exterior. Diametralmente opuestos, tiene dos rebajos maquinados (que reducen a 50 mm su sección transversal), por donde se sujeta el aparato para ajustarle el tapón de activación y el de salida de gases. El recipiente, cuyo diámetro interior es de 20 mm, tiene en ambos extremos sendas muescas de 19 mm de profundidad, con rosca de una pulgada conforme a las normas británicas de fileteado para tubos de gas (BSP). En la superficie curva del aparato, y a manera de espita, va enroscada una toma de presión, a 35 mm de uno de los extremos y en ángulos de 90° con los rebajos maquinados. El taladro en que se aloja, de 12 mm de profundidad, tiene una rosca que se adapta al fileteado de ½ pulgada (conforme a las normas antes citadas) existente en el extremo de la espita. Se intercala una arandela con junta de estanqueidad a los gases. La toma de presión sobresale 55 mm del cuerpo del recipiente y tiene un diámetro interior de 6 mm. En el otro extremo tiene un rebajo roscado al que se acopla un transductor de presión de diafragma. Puede utilizarse cualquier dispositivo de medida de presión, a condición de que resista a los gases calientes y a los productos de descomposición y pueda responder a un aumento de presión de 690 a 2.070 kPa en menos de 5 ms.

11.6.1.2.2 El extremo del recipiente más alejado de la toma de presión está cerrado con un tapón de activación que tiene dos electrodos, uno de los cuales va aislado del tapón y el otro está puesto a tierra en este último. El otro extremo del recipiente va cerrado por una cápsula de seguridad de aluminio de 0,2 mm de espesor (con presión de rotura de, aproximadamente, 2.200 kPa), y que se mantiene fija mediante un tapón que tiene un orificio de 20 mm de diámetro. Cada tapón va provisto de una arandela de plomo blando de modo que se asegure una buena estanqueidad. Durante la prueba, el aparato se mantiene en la posición correcta mediante un soporte (figura 11.6.1.2), que se compone de una placa de apoyo de acero dulce, de 235 mm × 184 mm × 6 mm, y de un tubo hueco de sección cuadrada de 70 × 70 × 4 mm y de 185 mm de longitud.

11.6.1.2.3 En uno de los extremos de éste, se cortan hasta cierta altura dos de las caras paralelas, con lo que el resultado es una pieza constituida por un tubo de sección cuadrada de 86 mm de longitud que tiene por base dos patas planas. Se cortan éstas de manera que su arista inferior forme un ángulo de 60° con el plano horizontal, y se sueldan a la placa de apoyo.

11.6.1.2.4 En uno de los lados del extremo superior del tubo se maquina una muesca de 22 mm de ancho y de 46 mm de fondo, en la que se introducirá la toma de presión en el momento de unir el aparato de ensayo -con el tapón de activación hacia abajo- al soporte de sección cuadrada. En la cara inferior interna de éste se suelda, a modo de elemento separador, una cuña de acero de 30 mm de ancho y 6 mm de espesor. La cara opuesta lleva dos tornillos de orejetas de 7 mm, que sujetan firmemente el recipiente. Al mismo tiempo, éste va apoyado, por su parte inferior, en dos tiras de acero de 12 mm de ancho y 6 mm de espesor, soldadas a las patas del tubo de sección cuadrada.

11.6.1.2.5 El dispositivo de inflamación se compone de una cabeza de encendido eléctrico, del tipo que se utiliza en los detonadores de baja tensión, y de un trozo cuadrado de lienzo cebado de 13 mm de lado. Pueden utilizarse otras cabezas de encendido de características equivalentes. El lienzo cebado consiste en

---

[3] *Cuando se prueban líquidos energéticos térmicamente estables, como el nitrometano (ONU 1261), pueden obtenerse resultados variables porque la sustancia puede dar dos máximos de presión.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

una tela de lino recubierta por ambos lados con una composición pirotécnica de nitrato de potasio, silicio y pólvora negra sin azufre[4].

11.6.1.2.6 Para los sólidos, el procedimiento de preparación del dispositivo de inflamación comienza separando los contactos planos de latón de la cabeza de encendido del aislador (véase la figura 11.6.1.3). A continuación, se corta la parte descubierta del aislador. Luego, la cabeza de encendido se une al tapón de activación, soldándose los bornes de éste con los contactos de latón, de manera que la parte superior de la cabeza de encendido sobresalga 13 mm de la cara superior del tapón de activación. Se perfora en el centro un trozo de lienzo cebado cuadrado de 13 mm de lado; éste se coloca sobre la cabeza de encendido y se enrolla sobre ésta, sujetándolo con un hilo fino de algodón.

11.6.1.2.7 Para la prueba con sustancias líquidas, los cables se sueldan con los contactos de la cabeza de encendido. Luego, se introducen los cables en el interior de un trozo de 8 mm de longitud de tubo de caucho silicónico, de 5 mm de diámetro exterior y 1 mm de diámetro interior; y seguidamente se hace subir el tubo hasta los contactos de la cabeza de encendido, según se indica en la figura 11.6.1.4. A continuación, el trozo de lienzo cebado se enrolla sobre la cabeza de encendido, y se utiliza una funda de cloruro de polivinilo o material equivalente para recubrir el lienzo cebado y el tubo de caucho silicónico. La funda se fija herméticamente enrollando un alambre fino sobre el tubo y la funda. Luego, se sueldan los cables a los bornes del tapón de activación de tal manera que la parte superior de la cabeza de encendido sobresalga 13 mm sobre la cara superior del tapón.

11.6.1.3 *Procedimiento*

11.6.1.3.1 Una vez montado el aparato, con el transductor de presión pero sin la cápsula de seguridad, y sujetándolo con el tapón de activación hacia abajo, se introduce en él una muestra de 5,0 g[5] de la sustancia de que se trate, de manera que quede en contacto con el dispositivo de inflamación. Normalmente, no se comprime la sustancia para alojarla en el aparato, a menos que sea necesario apretarla ligeramente para conseguir introducir en el recipiente el total de 5,0 g que pesa la muestra. Si, incluso retacándola ligeramente, no resulta posible introducir la muestra en su totalidad, se activa la sustancia tras llenar el recipiente por completo (en tal supuesto, se anota el peso de la muestra utilizada). Seguidamente, se colocan la arandela de plomo y la cápsula de seguridad de aluminio y se enrosca al máximo el tapón de ventilación. Así preparado, se monta el recipiente -colocado de manera que la cápsula de seguridad quede arriba- en el soporte de ensayo, que conviene alojar en una campana de humos blindada o en cubículo a propósito. Se conecta un explosor de dinamo a los bornes exteriores del tapón de activación, y se procede a efectuar ésta. La señal producida por el transductor de presión se capta mediante instrumentos con los que sea posible analizar la curva tiempo/presión resultante y obtener un registro permanente de ella (por ejemplo, un registrador de señales transitorias acoplado a un registrador de banda de papel).

11.6.1.3.2 El ensayo se efectúa tres veces. Se anota el tiempo que tarde la presión en pasar de 690 a 2.070 kPa por encima de la presión atmosférica. A efectos de clasificación se retiene el tiempo más corto.

11.6.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Para interpretar los resultados de la prueba, se determina si se ha alcanzado la presión manométrica de 2.070 kPa y, en caso afirmativo, el tiempo necesario para que la presión pase de 690 a 2.070 kPa.

---

[4] *Esta composición puede obtenerse del organismo nacional del Reino Unido encargado de proporcionar la información sobre las pruebas (véase el apéndice 4).*

[5] ***Si los ensayos previos efectuados para determinar la seguridad en la manipulación (por ejemplo, calentamiento en una llama) o los ensayos de inflamación en espacio no limitado (por ejemplo, una prueba del tipo d) de la serie 3) indican que es probable que se produzca una reacción rápida, debe reducirse el tamaño de la muestra a 0,5 g*** *hasta que se averigüe la intensidad de la reacción en espacio limitado. Si es necesario utilizar una muestra de 0,5 g, debe aumentarse gradualmente el tamaño de la misma hasta llegar a 0,5 g, a menos que se logre antes un resultado positivo.*

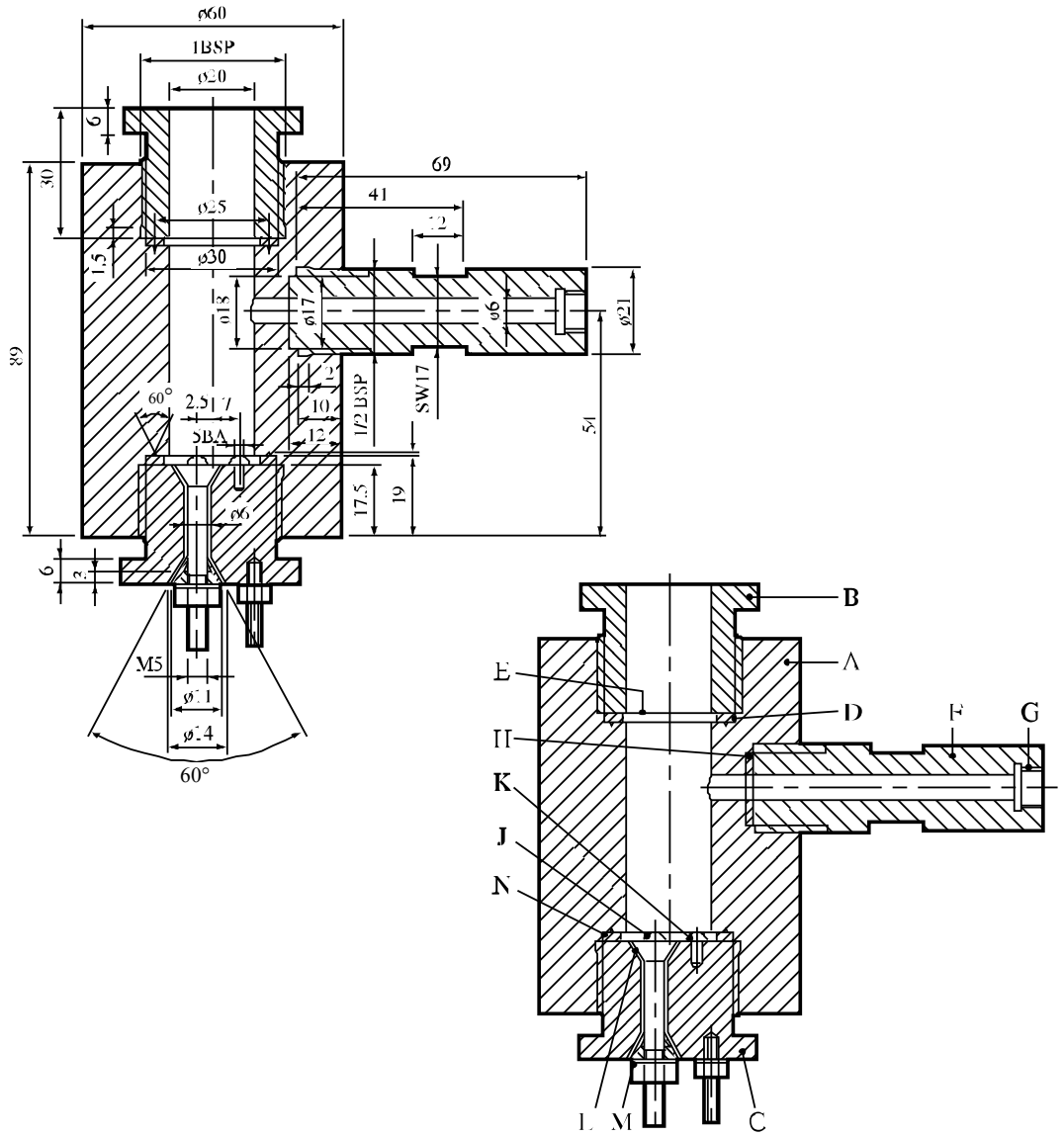
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia es capaz de deflagrar si la presión máxima alcanzada en la prueba es igual o superior a 2.070 kPa. Se considera que el resultado es negativo (-) y que no es probable que se produzca una deflagración si la presión máxima alcanzada en cualquiera de los ensayos es inferior a 2.070 kPa. Cabe señalar que el hecho de que no se produzca inflamación no significa, necesariamente, que la sustancia no tenga propiedades explosivas.

11.6.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Presión máxima (kPa)**	**Tiempo de aumento de presión (690 a 2.070 kPa) (ms)**	**Resultado**
Ácido picrámico	> 2 070	500	+
Azida de bario	> 2 070	< 5	+
Nitrato amónico (pepitas de densidad elevada)	< 2 070	-	-
Nitrato amónico (pepitas de baja densidad)	< 2 070	-	-
Nitrato de guanidina	> 2 070	606	+
Nitrato de isopropilo	> 2 070	10	+
Nitrato de urea	> 2 070	400	+
Nitrito de isobutilo	> 2 070	80	+
Nitroguanidina	> 2 070	400	+
Perclorato amónico (2 μm)	> 2 070	5	+
Perclorato amónico (30 μm)	> 2 070	15	+
Picramato de sodio	> 2 070	400	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cuerpo del recipiente a presión	(B)	Tapón de sujeción de la cápsula de seguridad
(C)	Tapón de activación	(D)	Arandela de plomo blando
(E)	Cápsula de seguridad	(F)	Toma de presión
(G)	Rosca del transductor de presión	(H)	Arandela de cobre
(J)	Electrodo aislado	(K)	Electrodo puesto a tierra
(L)	Aislamiento	(M)	Tobera de acero
(N)	Ranura de recalado de la arandela		

Figura 11.6.1.1: APARATO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

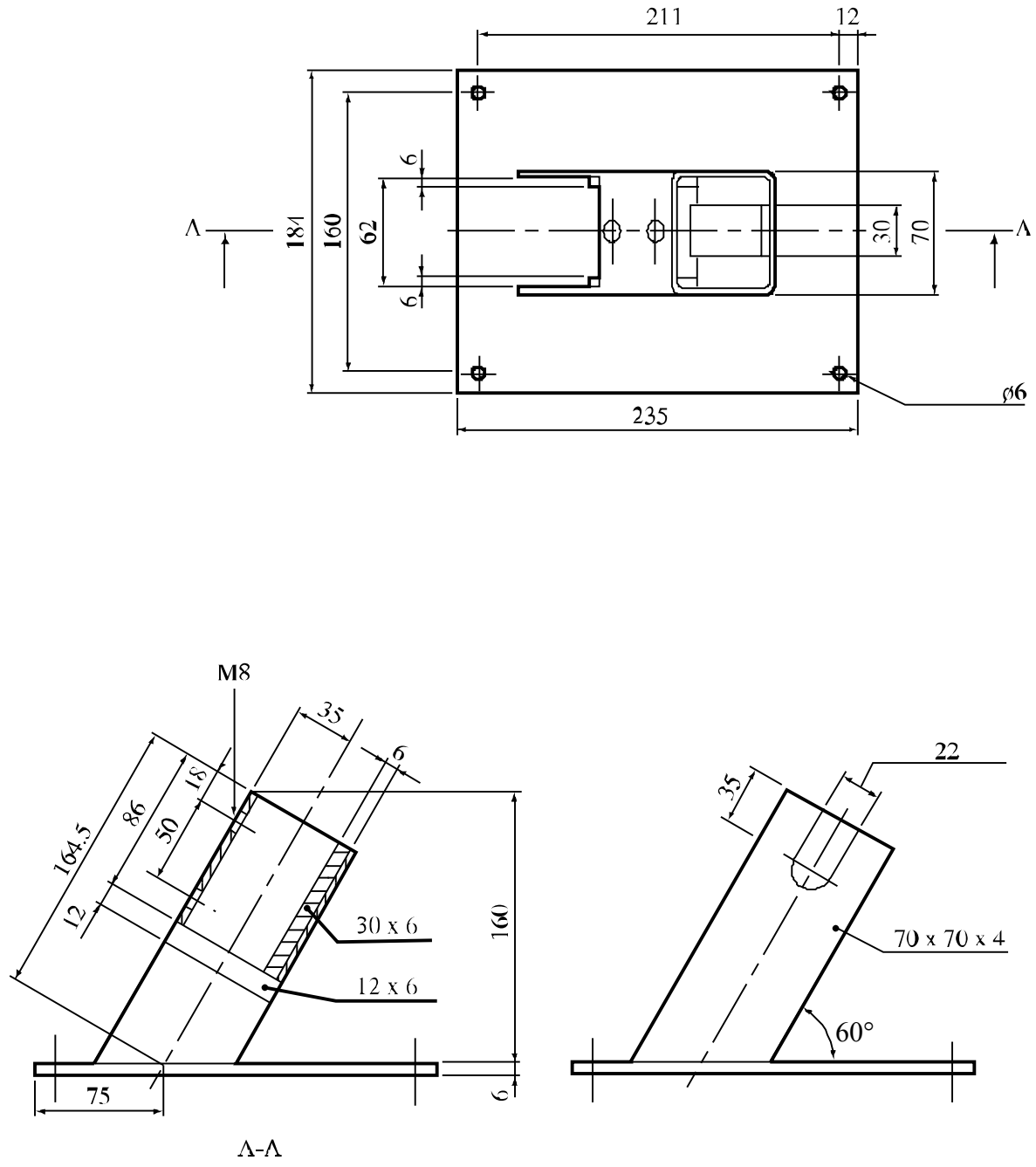
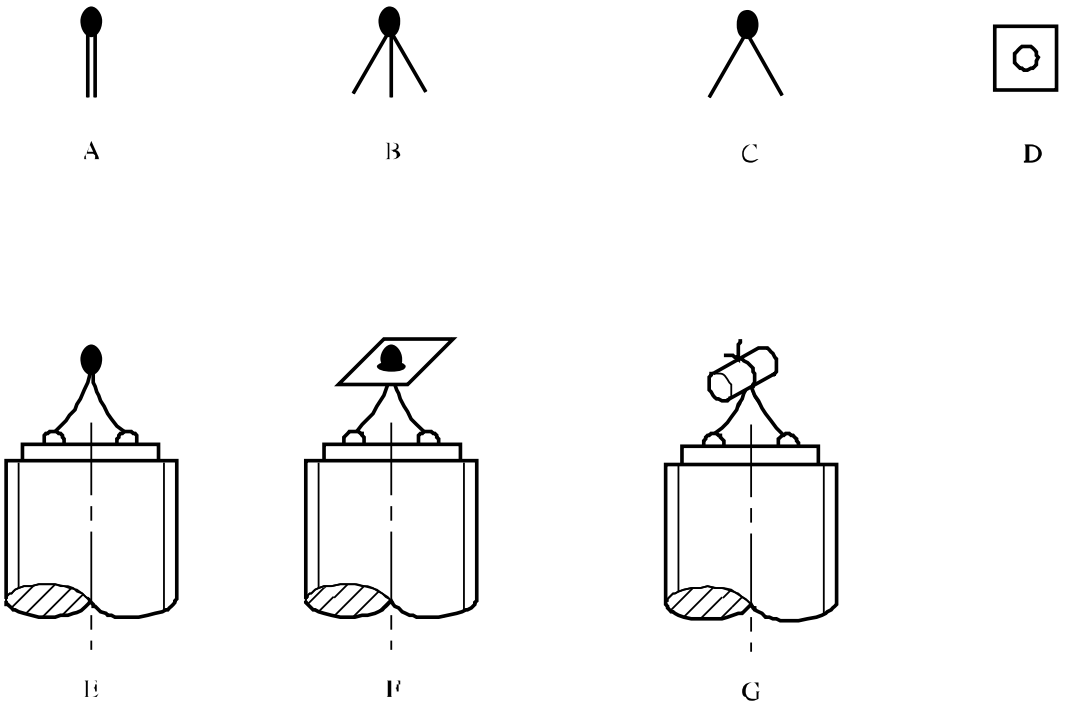


Figura 11.6.1.2: SOPORTE

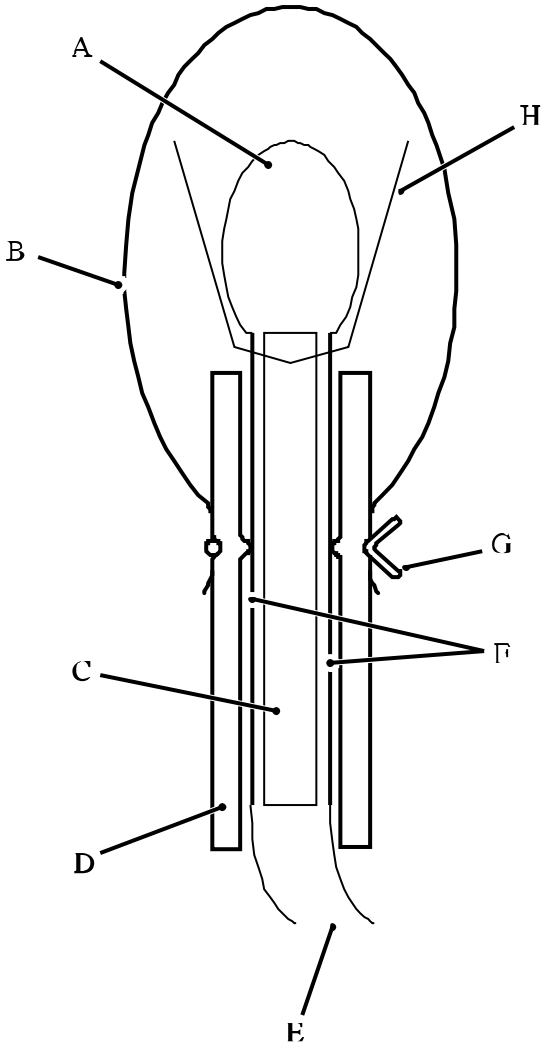
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cabeza de encendido eléctrico, tal como viene de fábrica
(B)	Contactos de hoja de latón separados del cartón aislador
(C)	Cabeza de encendido, sin cartón aislador
(D)	Lienzo cebado, SR252, de 13 mm de lado, agujereado en el centro
(E)	Cabeza de encendido soldada a las clavijas del tapón de activación
(F)	Lienzo colocado en la cabeza de encendido
(G)	Lienzo enrollado, sujeto con un hilo

Figura 11.6.1.3: DISPOSITIVO DE INFLAMACIÓN PARA SÓLIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cabeza de encendido
(B)	Funda de cloruro de polivinilo
(C)	Cartón aislador
(D)	Tubo de caucho silicónico
(E)	Cables de encendido
(F)	Contactos de hoja de latón
(G)	Alambre para sellar herméticamente
(H)	Lienzo cebado

Figura 11.6.1.4: DISPOSITIVO DE INFLAMACIÓN PARA LÍQUIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

11.6.2 *Prueba 1 c) ii): Prueba de inflamación interior*

11.6.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la tendencia de una sustancia a experimentar una transición de deflagración a detonación.

11.6.2.2 *Aparatos y materiales*

En la figura 11.6.2.1 se representa el aparato de ensayo. La muestra de la sustancia objeto de la prueba se aloja en un tubo de acero al carbono (A53, calidad B) de "3 pulgadas, ficha 80", de 74 mm de diámetro interior y 7,6 mm de espesor de pared, cada uno de cuyos extremos se cierra con un tapón hembra roscado de acero forjado, de "3.000 lb". En el centro del tubo, se coloca un inflamador de pólvora negra (cernida en su totalidad en un tamiz Nº 20 de 0,84 mm, y que quede retenida, también en su totalidad, en un tamiz Nº 50 de 0,297 mm). El artefacto del inflamador consiste en un receptáculo cilíndrico (de 21 mm de diámetro y 64 mm de longitud) de acetato de celulosa (de 0,54 mm de espesor), que se mantiene fijo mediante dos capas de cinta de ese mismo material, reforzada con hilo de nilón. Dicho receptáculo contiene un pequeño circuito en bucle, de 0,30 mm de diámetro, constituido por un hilo de resistencia (0,35 ohmios) de 25 mm de longitud, de una aleación de cromoníquel. El bucle va conectado a dos hilos conductores aislados, de cobre estañado, de 0,7 mm de diámetro (1,3 mm con el aislamiento). Estos hilos conductores atraviesan la pared del tubo por unos pequeños orificios, que se taponan con un aislamiento de resina epoxídica.

11.6.2.3 *Procedimiento*

La muestra, a temperatura ambiente, se introduce en el tubo hasta una altura de 23 cm. En el centro de éste se coloca el inflamador, cuyos cables se hacen pasar a través de los orificios existentes en la pared del tubo y, una vez atirantados, se aíslan con resina epoxídica en dichos orificios. Seguidamente, se introduce el resto de la muestra, y se enrosca el tapón del extremo superior. En el caso de las muestras gelatinosas, se embute la sustancia de manera que su densidad en el interior del tubo sea la más próxima posible a la que tiene normalmente en condiciones de transporte. Cuando se trate de muestras en forma de granos, la densidad correcta es la que se obtiene golpeando repetidas veces el tubo con suavidad contra una superficie dura. El tubo se coloca en posición vertical y el inflamador se activa con una corriente de 15 amperios, procedente de un transformador de 20 voltios. Se efectúan tres ensayos con cada muestra, a menos que la transición de deflagración a detonación se produzca antes.

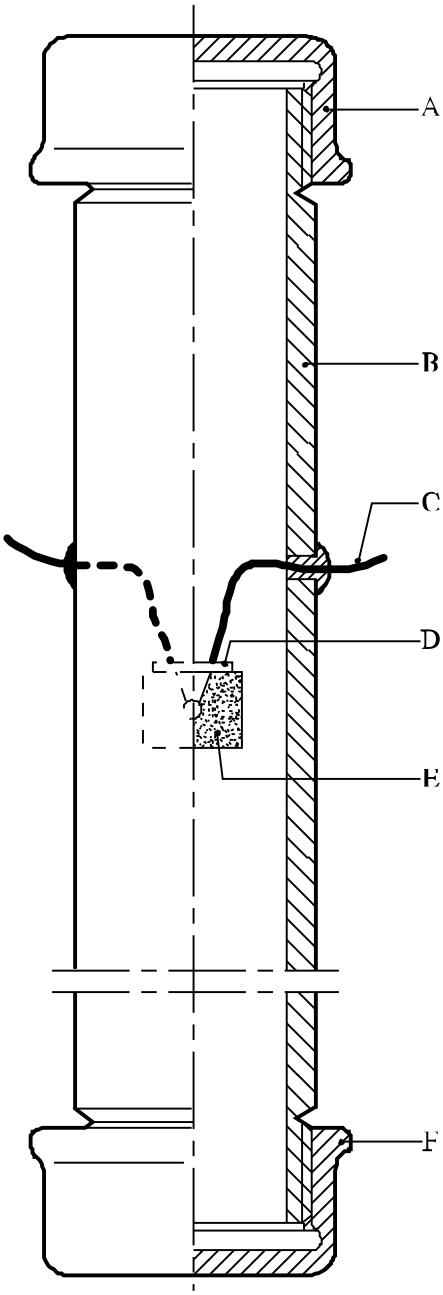
11.6.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) cuando el tubo o, al menos, uno de los tapones roscados se fragmentan en al menos dos pedazos separados. Se considera que los resultados son negativos (-) cuando el tubo simplemente se abre o se raja o cuando el tubo o los tapones se deforman hasta el punto de que estos últimos salgan despedidos.

11.6.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Gel acuoso	+
Nitrato amónico/fueloil, aluminizado	+
Nitrato amónico (pepitas; poroso; baja densidad)	-
Nitrocarbonitrato	-
Perclorato amónico (45 µm)	+
TNT (gránulos)	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tapón de acero forjado	(B)	Tubo de acero
(C)	Cables del inflamador	(D)	Junta de estanqueidad
(E)	Inflamador	(F)	Tapón hembra, de acero forjado

Figura 11.6.2.1: PRUEBA DE INFLAMACIÓN INTERIOR

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 12

SERIE DE PRUEBAS 2

12.1 Introducción

12.1.1 Para responder a la pregunta "¿Es la sustancia demasiado insensible para aceptarla en la clase 1?" (casilla 6 de la figura 10.2), hay que tomar como base tres tipos de pruebas que permiten evaluar los posibles efectos explosivos. La respuesta a la pregunta de la casilla 6 es "no" si se obtiene un resultado positivo (+) en cualquiera de los tres tipos de prueba.

12.2 Métodos de prueba

La serie 2 comprende tres tipos de pruebas:

Tipo a): para determinar la sensibilidad a la onda de choque;
Tipo b): para determinar el efecto del calentamiento en espacio limitado; y
Tipo c): para determinar el efecto de la inflamación en espacio limitado.

En el cuadro 12.1 se enumeran los métodos de prueba que se utilizan en la actualidad.

Cuadro 12.1: MÉTODOS DE PRUEBA DE LA SERIE 2

Código	Nombre de la prueba	Sección
2 a)	Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)[a]	12.4.1
2 b)	Prueba Koenen[a]	12.5.1
2 c) i)	Prueba de tiempo/presión[a]	12.6.1
2 c) ii)	Prueba de inflamación interior	12.6.2

[a] *Prueba recomendada*.

12.3 Condiciones de las pruebas

12.3.1 Como la densidad aparente de la sustancia tiene efectos importantes en los resultados de la prueba de tipo 2 a), siempre debe constar esa densidad. La densidad aparente de los sólidos debe determinarse por medición del volumen del tubo y de la masa de la muestra.

12.3.2 Si se trata de una mezcla cuyos componentes pueden separarse durante el transporte, la prueba debe efectuarse poniendo el inflamador en contacto con el componente potencialmente más explosivo.

12.3.3 Las pruebas deben efectuarse a la temperatura ambiente, a menos que la sustancia deba transportarse en condiciones que puedan alterar su estado físico o su densidad.

12.3.4 En el caso de las sustancias orgánicas y de las mezclas de sustancias orgánicas con una energía de descomposición de 800 J/g o más, no será necesario realizar la prueba de tipo 2 a), si el resultado de la prueba del mortero balístico Mk.IIId (F.1), de la prueba del mortero balístico (F.2) o de la prueba Trauzl (BAM) (F.3), con iniciación por un detonador normalizado Nº 8 (véase el apéndice 1), es negativo (-). En este caso, el resultado de la prueba de tipo 2 a), se considera negativo (-) Si el resultado de las pruebas F.1, F.2 o F.3 es "Considerable", se estimará que el resultado de la prueba 2, tipo a), es positivo (+). En este caso, el resultado negativo sólo puede obtenerse mediante la realización de la prueba de tipo 2 a).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

12.4 Serie 2, tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

12.4.1 *Prueba 2 a): Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)*

12.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de una sustancia a una onda de detonación en espacio limitado en un tubo de acero.

12.4.1.2 *Aparatos y materiales*

El aparato aparece representado esquemáticamente en la figura 12.4.1.1. La muestra se aloja en un tubo de acero al carbono, estirado en frío y sin costura, de 48 ± 2 mm de diámetro exterior, 4,0 ± 0,1 mm de espesor de pared y 400 ± 5 mm de longitud. Si la sustancia sometida a ensayo puede reaccionar con el acero, la pared interior del tubo puede ir revestida de resina de fluorocarbono. El extremo inferior del tubo está cerrado por dos capas de polietileno laminado, de 0,08 mm de espesor, sujetas con tiras de goma elástica y cinta aislante (para lograr la deformación plástica). Para las muestras que afectan al polietileno, pueden utilizarse láminas de politetrafluoretileno. La carga multiplicadora consiste en 160 g de ciclonita/cera (95/5) o de pentrita/TNT (50/50), de 50 ± 1 mm de diámetro con una densidad de 1.600 ± 50 kg/cm^3, que da una longitud de unos 50 mm. La carga de ciclonita/cera puede prensarse en una o varias piezas, siempre que la carga total corresponda a las especificaciones, y la carga de pentrita/TNT sea moldeada. Se requiere un separador de metacrilato de polimetilo de 50 ± 1 mm de diámetro y 50 ± 1 mm de longitud. En el extremo superior del tubo de acero va montada una placa testigo cuadrada de acero dulce, de 150 ± 10 mm de lado y 3,2 ± 0,2 mm de espesor, que está separada del tubo por dos elementos de 1,6 ± 0,2 mm de espesor.

12.4.1.3 *Procedimiento*

12.4.1.3.1 Se llena completamente el tubo con la muestra. La densidad correcta de las muestras sólidas se consigue golpeando suavemente el tubo hasta que deje de percibirse que la sustancia sigue asentándose. Se determina la masa de la muestra y, para los sólidos, se calcula la densidad aparente utilizando el volumen interior medido del tubo. La densidad debe aproximarse lo más posible a la densidad de transporte.

12.4.1.3.2 El tubo se coloca en posición vertical y el separador de metacrilato de polimetilo se pone en contacto directo con la lámina que sella el extremo inferior del tubo. Una vez que la carga multiplicadora queda en contacto con el separador, se coloca el detonador contra la carga multiplicadora y se activa. Deben efectuarse dos ensayos si no hay detonación en el primero.

12.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Los resultados de la prueba se evalúan sobre la base del tipo de fragmentación del tubo y de la perforación de la placa testigo. Para la clasificación debe utilizarse la prueba que dé la evaluación más rigurosa Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia propaga la detonación:

a) Si el tubo se ha fragmentado completamente; o

b) Si la placa testigo ha resultado perforada.

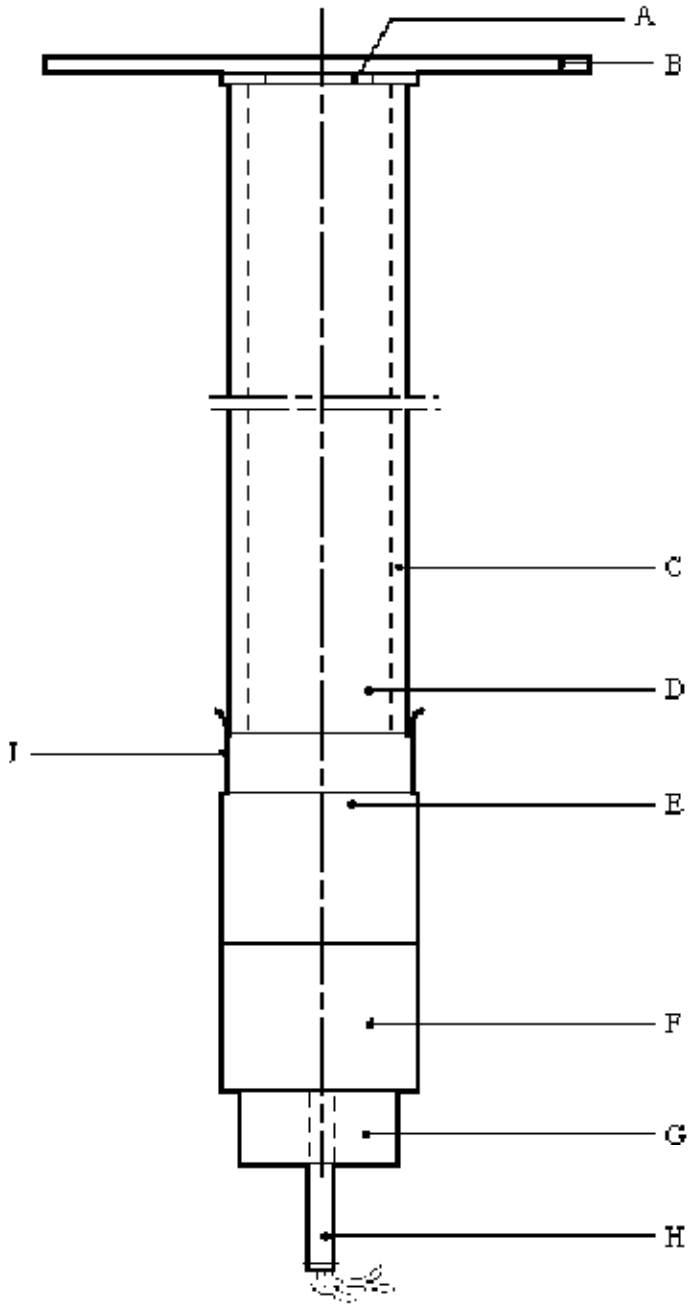
En todos los demás casos, se considera que el resultado es negativo (-) y que la sustancia no propaga la detonación.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

12.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad aparente (kg/m^3)**	**Longitud de fragmentación (cm)**	**Placa testigo**	**Resultado**
Nitrato amónico (pepitas)	800	25	Abovedada	-
Nitrato amónico, 200 µm	540	40	Perforada	+
Nitrato amónico/fueloil (94/6)	880	40	Perforada	+
Nitrometano	1 130	0	Sin daños	-
Pentrita/lactosa (20/80)	880	40	Perforada	+
Perclorato amónico, 200 µm	1 190	0	Sin daños	-
TNT, moldeado	1 510	20	Sin daños	-
TNT, en copos	710	40	Perforada	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Elementos separadores	(B)	Placa testigo
(C)	Tubo de acero	(D)	Sustancia sometida a prueba
(E)	Separador de metacrilato de polimetilo	(F)	Carga multiplicadora de ciclonita/cera o pentrita/TNT
(G)	Soporte del detonador	(H)	Detonador
(J)	Membrana de plástico		

Figura 12.4.1.1: PRUEBA DE EXCITACIÓN CON BARRERA INTERPUESTA (NACIONES UNIDAS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

12.5 Serie 2, tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

12.5.1 *Prueba 2 b): Prueba Koenen*

12.5.1.1 *Introducción*

Se utiliza esta prueba para determinar la sensibilidad de las sustancias sólidas y líquidas a un calentamiento intenso en un espacio muy limitado.

12.5.1.2 *Aparatos y materiales*

12.5.1.2.1 El aparato consiste en un tubo de acero no reutilizable, con dispositivo de cierre reutilizable, instalado en un dispositivo de calentamiento y de protección. El tubo se obtiene por estampado de una chapa fina de acero conforme a las especificaciones de la norma DC04 (EN 10027-1), o de la normas equivalentes A620 (AISI/SAE/ASTM) o SPCEN (JIS G 3141). Las dimensiones se indican en la figura 12.5.1.1. El extremo abierto del tubo termina en una brida. La placa de cierre, a través de cuyo orificio salen los gases resultantes de la descomposición de la sustancia que se somete a prueba, es de acero al cromo, resistente al calor, y puede obtenerse con los siguientes diámetros de orificio: 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 5,0 - 8,0 - 12,0 y 20,0 mm. En la figura 12.5.1.1 se indican las dimensiones del collar roscado y de la tuerca (dispositivo de cierre).

Para el control de la calidad de los tubos de acero, el 1% de los tubos de cada lote de fabricación se someterá a control de calidad y se comprobarán los siguientes datos:

a) La masa de los tubos deberá ser de 26,5 ± 1,5 g, y la masa de los tubos que vayan a utilizarse en una secuencia de ensayos no diferirá en más de un 1 g;

b) La longitud de los tubos será de 75 ± 0,5 mm;

c) El espesor de la pared de los tubos, medido a una distancia de 20 mm del fondo, deberá ser de 0,5 ± 0,05 mm; y

d) La presión de rotura determinada por una carga cuasi estática aplicada por medio de un fluido incompresible deberá ser de 30 ± 3 MPa.

12.5.1.2.2 Para el calentamiento se utilizan cuatro quemadores alimentados con propano a partir de una bombona de gas industrial provista de un regulador de presión, de un medidor de caudal y un colector. Pueden utilizarse otros gases combustibles, a condición de que proporcionen la velocidad de calentamiento prescrita. Se regula la presión del gas para dar una velocidad de calentamiento de 3,3 ± 0,3 K/s, valor medido mediante un procedimiento de calibración. Éste consiste en calentar un tubo (provisto de una placa con un orificio de 1,5 mm) que contiene 27 cm^3 de ftalato de dibutilo. Se registra el tiempo necesario para elevar la temperatura del líquido (medida con un termopar de 1 mm de diámetro colocado en posición central a 43 mm por debajo del borde del tubo) de 135 °C a 285 ºC y se calcula la velocidad de calentamiento.

12.5.1.2.3 Como es probable que el tubo resulte destruido en la prueba, el calentamiento se efectúa en una caja protectora, constituida por elementos soldados, cuya configuración y dimensiones se indican en la figura 12.5.1.2. El tubo se suspende entre dos varillas a las que sirven de apoyo unos orificios existentes en paredes opuestas de la caja. En la misma figura se representa la disposición de los quemadores. Estos se encienden simultáneamente mediante una llama piloto o un dispositivo eléctrico de encendido. ***Se coloca el aparato en un lugar protegido***. Debe preverse lo necesario para que a las llamas de los quemadores no les afecte ninguna corriente de aire. En la sala de pruebas debe instalarse una aparato para la extracción de los gases o humos resultantes de los ensayos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

12.5.1.3 *Procedimiento*

12.5.1.3.1 Normalmente, la sustancia se somete a prueba en el mismo estado en que se haya recibido, si bien puede ser necesario someter a prueba la sustancia pulverizada. Para los sólidos, la masa de material que ha de utilizarse para cada prueba se determina mediante un ensayo previo en dos etapas. Un tubo tarado se llena con 9 cm^3 de sustancia y ésta debe ser compactada[1] con una fuerza de 80 N aplicada a toda la sección transversal del tubo. Si se trata de material compresible, se añade más y se compacta hasta que el tubo queda lleno hasta 55 mm del borde. Se determina la masa total de material utilizado hasta ese nivel y se añaden dos porciones adicionales, cada una compactada con una fuerza de 80 N. A continuación, se añade material, compactándolo, o se retira el excedente, según los casos, de manera que el tubo quede lleno hasta 15 mm del borde.

Se efectúa un segundo ensayo previo, empezando por añadir material compactado igual al tercio de la masa total medida en el primer ensayo. Se añaden dos porciones adicionales, compactadas con una fuerza de 80 N, y se ajusta el nivel de la sustancia en el tubo hasta 15 mm del borde, añadiendo o quitando material según sea necesario. La cantidad de sólidos determinada en el segundo ensayo se utiliza para cada ensayo, efectuándose el llenado en tres porciones iguales, cada una comprimida a 9 cm^3. (Esta operación puede facilitarse mediante la utilización de anillas separadoras). Los líquidos y geles se introducen en el tubo hasta 60 mm del borde; en el caso de los geles, se cuidará de que no queden espacios vacíos. Se monta el collar roscado desde abajo en el tubo, se inserta la placa con el orificio apropiado y se aprieta la tuerca, a mano, tras aplicarle algún lubricante a base de disulfuro de molibdeno. Es indispensable comprobar que entre la brida y la placa, o en las roscas, no ha quedado ningún resto de la sustancia.

12.5.1.3.2 Con las placas cuyo orificio tenga de 1,0 a 8,0 mm de diámetro, deben utilizarse tuercas con orificio de 10,0 mm de diámetro; si el diámetro del orificio es de más de 8,0 mm, el de la tuerca debe ser de 20,0 mm. Cada tubo se utiliza para una prueba solamente. Por el contrario, las placas con orificio, los collares roscados y las tuercas pueden utilizarse repetidas veces, a condición de que no hayan sufrido ningún deterioro.

12.5.1.3.3 A continuación, se coloca el tubo en un tornillo de banco, de montaje bien firme, y se aprieta la tuerca con una llave. Seguidamente, se suspende el tubo entre las dos varillas en la caja protectora. Se evacua la zona de la prueba, se abre el suministro de gas y se encienden los quemadores. El tiempo transcurrido hasta la primera reacción y la duración de ésta pueden aportar datos adicionales útiles para interpretar los resultados. Si no estalla el tubo, debe prolongarse el calentamiento durante cinco minutos como mínimo antes de dar por terminado el ensayo. Después de cada ensayo, deben recogerse y pesarse los fragmentos del tubo, si hubo fragmentación.

12.5.1.3.4 Pueden distinguirse los siguientes efectos:

"O": tubo intacto;
"A": combadura del fondo del tubo;
"B": combadura del fondo y de la pared del tubo;
"C": rajadura del fondo del tubo;
"D": rajadura de la pared del tubo;
"E": hendimiento del tubo en dos[2] fragmentos;
"F": fragmentación del tubo en tres[2] o más trozos, en su mayoría grandes, que en algunos casos pueden estar unidos entre sí por una tira estrecha;
"G": fragmentación del tubo en muchos trozos, en su mayoría pequeños, y dispositivo de cierre intacto;
"H": fragmentación del tubo en numerosos trozos muy pequeños; combadura o fragmentación del dispositivo de cierre.

---

[1] ***Por razones de seguridad (por ejemplo, la sustancia es sensible a la fricción), en algunos casos la sustancia no debe ser compactada***. *Si la forma física de la muestra puede modificarse por compresión o si la muestra comprimida no cumple las condiciones de transporte (por ejemplo, los materiales fibrosos), pueden utilizarse métodos de llenado más representativos*.

[2] *La parte superior del tubo que queda en el dispositivo de cierre se cuenta como un fragmento.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

En la figura 12.5.1.3 se dan ejemplos de los efectos de los tipos "D", "E"y "F". Si un ensayo da los efectos de los tipos "O" a "E", se considera que "no ha habido explosión". Si se producen los efectos de los tipos "F", "G" o "H", se considera que ha habido "explosión".

12.5.1.3.5 Se inicia la serie de pruebas efectuando un solo ensayo, con una placa cuyo orificio sea de 20 mm. Si se observa, en este caso, el resultado "explosión", se prosigue la serie de ensayos utilizando tubos sin placa con orificio ni tuerca, pero con collar roscado (orificio de 24,0 mm). Si con 20 mm no ha habido explosión, se prosigue la serie -efectuándose en cada caso un solo ensayo- con placas cuyos respectivos orificios tienen 12,0 - 8,0 - 5,0 - 3,0 - 2,0 - 1,5 y por último, 1,0 mm de diámetro, hasta que se produzca, con una de estas medidas, el resultado "explosión". Seguidamente, se efectúan ensayos con diámetros crecientes, según la secuencia indicada en el párrafo 12.5.1.2.1, hasta que sólo se consigan resultados negativos en tres ensayos al mismo nivel. El diámetro límite de una sustancia es el diámetro máximo del orificio con el que se obtiene el resultado "explosión". De no obtenerse ese resultado con un diámetro de 1,0 mm, se indica que el diámetro límite es inferior a 1,0 mm.

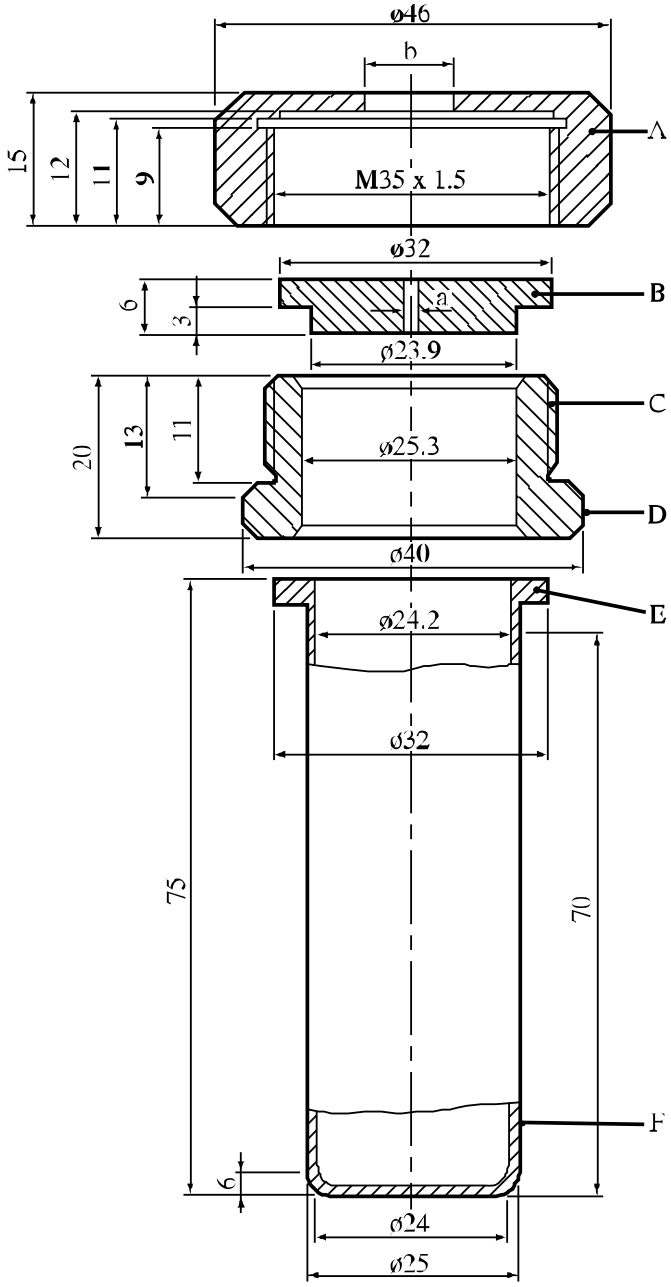
12.5.1.4 *Criterios de prueba y métodos de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia reacciona al calentamiento en espacio limitado si el diámetro límite es igual o superior a 2,0 mm. Se considera que el resultado es negativo (-) y que la sustancia no reacciona al calentamiento en espacio limitado si el diámetro límite es inferior a 2,0.

12.5.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancias	**Diámetro límite (mm)**	**Resultado**
Ácido pícrico (cristalino)	4,0	+
1,3-Dinitroresorcinol (cristalino)	2,5	+
Nitrato amónico (cristalino)	1,0	-
Nitrato de guanidina (cristalino)	1,5	-
Pentrita/cera (95/5)	5,0	+
Perclorato amónico	3,0	+
Picrato amónico (cristalino)	2,5	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tuerca (b = 10,0 ó 20,0 mm) ajustable con llave del 41	(B)	Placa de orificio (a = 1,0 a 20,0 mm de diámetro)
(C)	Collar roscado	(D)	Tuerca ajustable con llave del 36
(E)	Brida	(F)	Tubo

Figura 12.5.1.1: TUBO Y ACCESORIOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

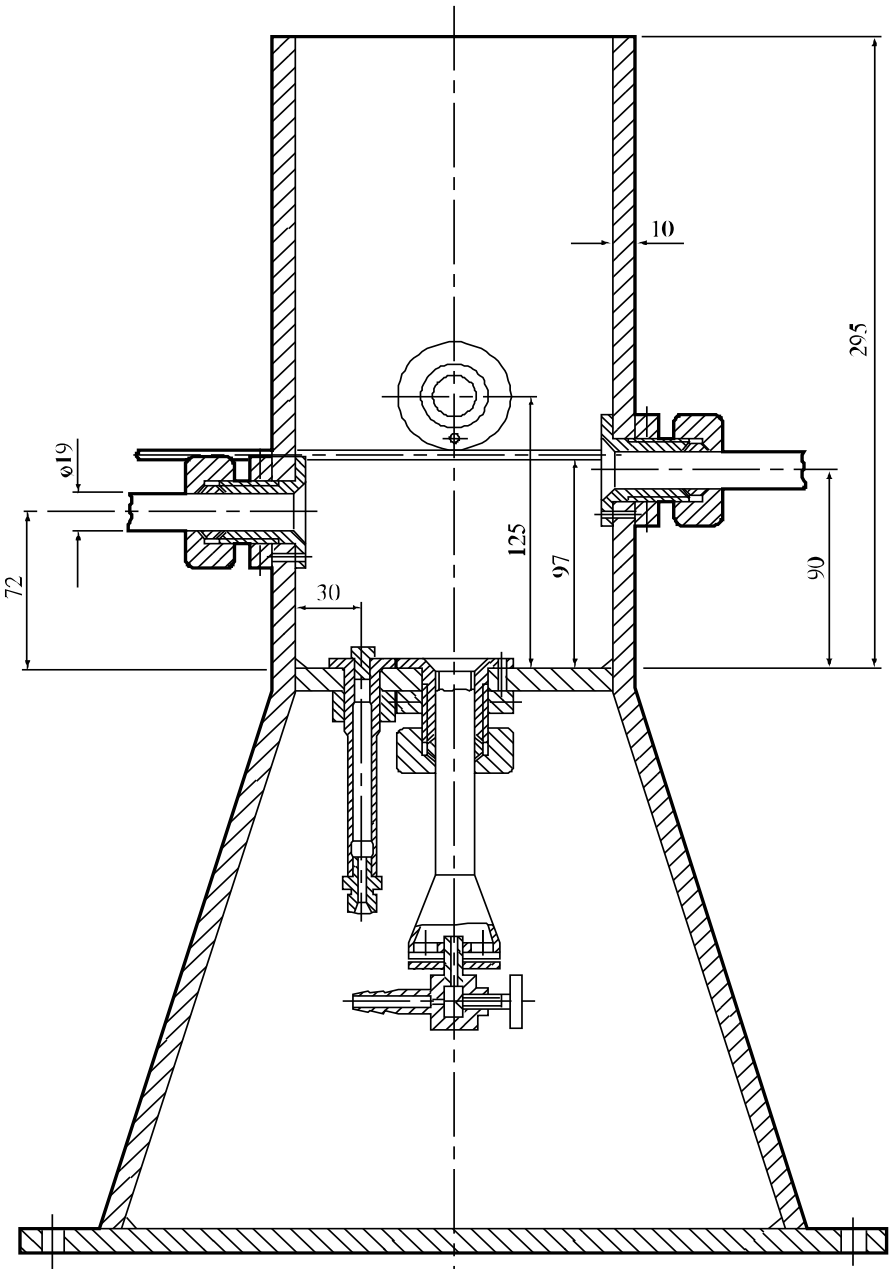


Figura 12.5.1.2: CAJA DE CALENTAMIENTO Y PROTECCIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

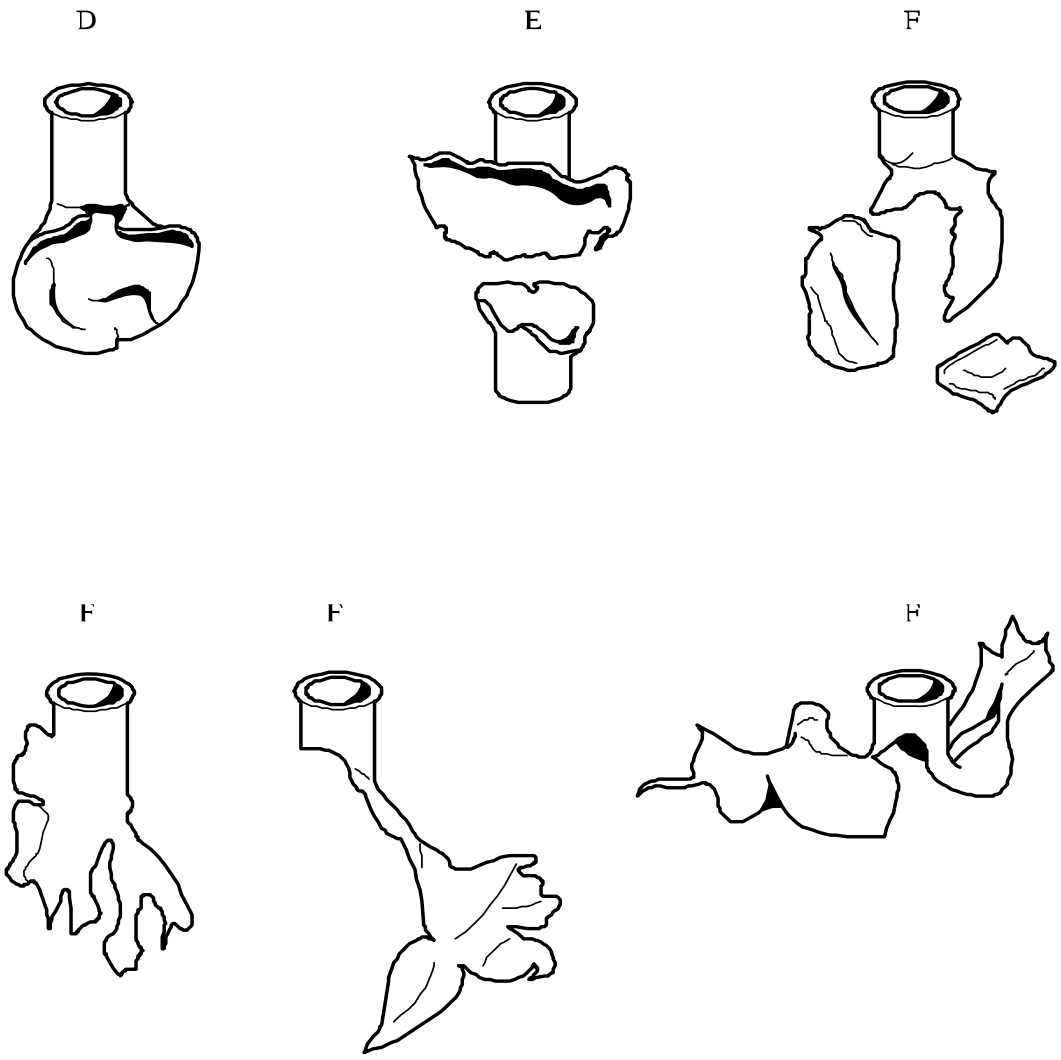


Figura 12.5.1.3: EJEMPLOS DE TIPOS DE FRAGMENTACIÓN D, E Y F

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

12.6 Serie 2, tipo c): Disposiciones relativas a las pruebas

12.6.1 *Prueba 2 c) i): Prueba de tiempo/presión*

12.6.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar los efectos de la inflamación de la sustancia[3] en un espacio limitado, con miras a averiguar si la inflamación puede provocar una deflagración de violencia explosiva a las presiones que pueden alcanzarse con determinadas sustancias en los bultos comerciales normales.

12.6.1.2 *Aparatos y materiales*

12.6.1.2.1 El aparato que se utiliza en esta prueba (figura 12.6.1.1) consiste en un recipiente cilíndrico a presión, de acero, de 89 mm de longitud y 60 mm de diámetro exterior. Diametralmente opuestos, tiene dos rebajos maquinados (que reducen a 50 mm su sección transversal), por donde se sujeta el aparato para ajustarle el tapón de activación y el de salida de gases. El recipiente, cuyo diámetro interior es de 20 mm, tiene en ambos extremos sendas muescas de 19 mm de profundidad, con rosca de una pulgada conforme a las normas británicas de fileteado para tubos de gas (BSP). En la superficie curva del aparato, y a manera de espita, va enroscada una toma de presión, a 35 mm de uno de los extremos y en ángulos de 90º con los rebajos maquinados. El taladro en que se aloja, de 12 mm de profundidad, tiene una rosca que se adapta al fileteado de ½ pulgada (conforme a las normas antes citadas) existente en el extremo de la espita. Se intercala una arandela con junta de estanqueidad a los gases. La toma de presión sobresale 55 mm del cuerpo del recipiente y tiene un diámetro interior de 6 mm. En el otro extremo tiene un rebajo roscado al que se acopla un transductor de presión de diafragma. Puede utilizarse cualquier dispositivo de medida de presión, a condición de que resista a los gases calientes y a los productos de descomposición y pueda responder a un aumento de presión de 690 a 2.070 kPa en menos de 5 ms.

12.6.1.2.2 El extremo del recipiente más alejado de la toma de presión está cerrado con un tapón de activación que tiene dos electrodos, uno de los cuales va aislado del tapón y el otro está puesto a tierra en este último. El otro extremo del recipiente va cerrado por una cápsula de seguridad de aluminio de 0,2 mm de espesor (con presión de rotura de, aproximadamente, 2.200 kPa), y que se mantiene fija mediante un tapón que tiene un orificio de 20 mm de diámetro. Cada tapón va provisto de una arandela de plomo blando de modo que se asegure una buena estanqueidad. Durante la prueba, el aparato se mantiene en la posición correcta mediante un soporte (figura 12.6.1.2), que se compone de una placa de apoyo de acero dulce, de 235 mm × 184 mm × 6 mm, y de un tubo hueco de sección cuadrada de 70 × 70 × 4 mm y de 185 mm de longitud.

12.6.1.2.3 En uno de los extremos de éste, se cortan hasta cierta altura dos de las caras paralelas, con lo que el resultado es una pieza constituida por un tubo de sección cuadrada de 86 mm de longitud que tiene por base dos patas planas. Se cortan éstas de manera que su arista inferior forme un ángulo de 60º con el plano horizontal, y se sueldan a la placa de apoyo.

12.6.1.2.4 En uno de los lados del extremo superior del tubo se maquina una muesca de 22 mm de ancho y 46 mm de fondo, en la que se introducirá la toma de presión en el momento de unir el aparato de ensayo -con el tapón de activación hacia abajo- al soporte de sección cuadrada. En la cara inferior interna de éste se suelda, a modo de elemento separador, una cuña de acero, de 30 mm de ancho y 6 mm de espesor. La cara opuesta lleva dos tornillos de orejetas de 7 mm, que sujetan firmemente el recipiente. Al mismo tiempo, éste va apoyado, por su parte inferior, en dos tiras de acero de 12 mm de ancho y 6 mm de espesor, soldadas a las patas del tubo de sección cuadrada.

12.6.1.2.5 El dispositivo de inflamación se compone de una cabeza de encendido eléctrico, del tipo que se utiliza en los detonadores de baja tensión, y de un trozo cuadrado de lienzo cebado, de 13 mm de lado. Pueden utilizarse otras cabezas de encendido de características equivalentes. El lienzo cebado consiste en

---

3 *Cuando se prueban líquidos energéticos térmicamente estables, como el nitrometano (ONU 1261), pueden obtenerse resultados variables porque la sustancia puede dar dos máximos de presión.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

una tela de lino recubierta por ambos lados con una composición pirotécnica de nitrato de potasio, silicio y pólvora negra sin azufre[4].

12.6.1.2.6 Para los sólidos, el procedimiento de preparación del dispositivo de inflamación comienza separando los contactos planos de latón de la cabeza de encendido del aislador (véase la figura 12.6.1.3). A continuación, se corta la parte descubierta del aislador. Luego, la cabeza de encendido se une al tapón de activación, soldándose los bornes de éste con los contactos de latón, de manera que la parte superior de la cabeza de encendido sobresalga 13 mm de la cara superior del tapón de activación. Se perfora en el centro un trozo de lienzo cebado cuadrado de 13 mm de lado; éste se coloca sobre la cabeza de encendido y se enrolla sobre ésta, sujetándoselo con un hilo fino de algodón.

12.6.1.2.7 Para la prueba con sustancias líquidas, los cables se sueldan con los contactos de la cabeza de encendido. Luego, se introducen los cables en el interior de un trozo de 8 mm de longitud de tubo de caucho silicónico, de 5 mm de diámetro exterior y 1 mm de diámetro interior; y seguidamente, se hace subir el tubo hasta los contactos de la cabeza de encendido, según se indica en la figura 12.6.1.4. A continuación, el trozo de lienzo cebado se enrolla sobre la cabeza de encendido, y se utiliza una funda de cloruro de polivinilo o material equivalente para recubrir el lienzo cebado y el tubo de caucho silicónico. La funda se fija herméticamente enrollando un alambre fino sobre el tubo y la funda. Luego, se sueldan los cables a los bornes del tapón de activación de tal manera que la parte superior de la cabeza de encendido sobresalga 13 mm sobre la cara superior del tapón.

12.6.1.3 *Procedimiento*

12.6.1.3.1 Una vez montado el aparato, con el transductor de presión pero sin la cápsula de seguridad, y sujetándolo con el tapón de activación hacia abajo, se introduce en él una muestra de 5,0 g[5] de la sustancia de que se trate, de manera que quede en contacto con el dispositivo de inflamación. Normalmente, no se comprime la sustancia para alojarla en el aparato, a menos que sea necesario apretarla ligeramente para conseguir introducir en el recipiente el total de 5,0 g que pesa la muestra. Si, incluso retacándola ligeramente, no resulta posible introducir la muestra en su totalidad, se activa la sustancia tras llenar el recipiente por completo (en tal supuesto, se anota el peso de la muestra utilizada). Seguidamente, se colocan la arandela de plomo y la cápsula de seguridad de aluminio, y se enrosca al máximo el tapón de ventilación. Así preparado, se monta el recipiente -colocado de manera que la cápsula de seguridad quede arriba- en el soporte de ensayo, que conviene alojar en una campana de humos blindada o en un cubículo a propósito. Se conecta un explosor de dinamo a los bornes exteriores del tapón de activación, y se procede a efectuar ésta. La señal producida por el transductor de presión se capta mediante instrumentos con los que sea posible analizar la curva tiempo/presión resultante y obtener un registro permanente de ella (por ejemplo, un registrador de señales transitorias acoplado a un registrador de banda de papel).

12.6.1.3.2 El ensayo se efectúa tres veces. Se anota el tiempo que tarde la presión en pasar de 690 a 2.070 kPa por encima de la presión atmosférica. A efectos de clasificación se retiene el tiempo más corto.

12.6.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Para interpretar los resultados de la prueba, se determina si se ha alcanzado la presión manométrica de 2.070 kPa y, en caso afirmativo, el tiempo necesario para que la presión pase de 690 a 2.070 kPa.

---

[4] *Esta composición puede obtenerse del organismo nacional del Reino Unido encargado de proporcionar información sobre las pruebas (véase el apéndice 4).*

[5] ***Si los ensayos previos efectuados para determinar la seguridad en la manipulación (por ejemplo, calentamiento en una llama) o los ensayos de inflamación en espacio no limitado (por ejemplo, una prueba del tipo d) de la serie 3) indican que es probable que se produzca una reacción rápida, debe reducirse el tamaño de la muestra a 0,5 g*** hasta que se averigüe la intensidad de la reacción en espacio limitado. Si es necesario utilizar una muestra de 0,5 g, debe aumentarse gradualmente el tamaño de la misma hasta llegar a 5,0 g, a menos que se logre antes un resultado positivo.

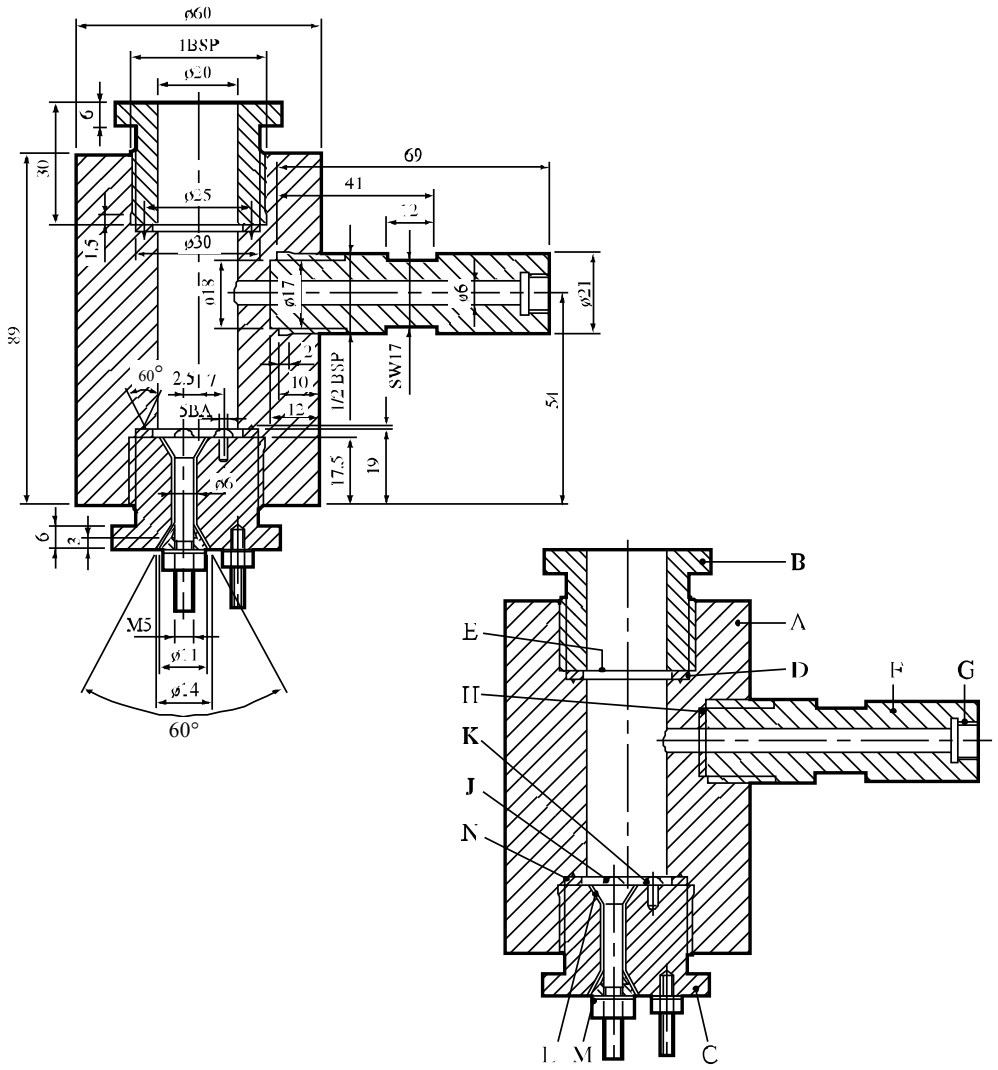
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia es capaz de deflagrar si la presión máxima alcanzada en la prueba es igual o superior a 2.070 kPa. Se considera que el resultado es negativo (-) y que no es probable que se produzca una deflagración si la presión máxima alcanzada en cualquiera de los ensayos es inferior a 2.070 kPa. Cabe señalar que el hecho de que no se produzca inflamación no significa, necesariamente, que la sustancia no tenga propiedades explosivas.

12.6.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Presión máxima (kPa)**	**Tiempo de aumento de presión (690 a 2.070 kPa) (ms)**	**Resultado**
Ácido picrámico	> 2 070	500	-
Ázida de bario	> 2 070	< 5	+
Nitrato amónico (pepitas de densidad elevada)	< 2 070	-	-
Nitrato amónico (pepitas de baja densidad)	< 2 070	-	-
Nitrato de guanidina	> 2 070	606	-
Nitrato de isopropilo	> 2 070	10	+
Nitrato de urea	> 2 070	400	-
Nitrito de isobutilo	> 2 070	80	-
Nitroguanidina	> 2 070	400	-
Perclorato amónico (2 μm)	> 2 070	5	+
Perclorato amónico (30 μm)	> 2 070	15	+
Picramato de sodio	> 2 070	400	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cuerpo del recipiente a presión	(B)	Tapón de sujeción de la cápsula de seguridad
(C)	Tapón de activación	(D)	Arandela de plomo blando
(E)	Cápsula de seguridad	(F)	Toma de presión
(G)	Rosca del transductor de presión	(H)	Arandela de cobre
(J)	Electrodo aislado	(K)	Electrodo puesto a tierra
(L)	Aislamiento	(M)	Tobera de acero
(N)	Ranura de recalado de la arandela		

Figura 12.6.1.1: APARATO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

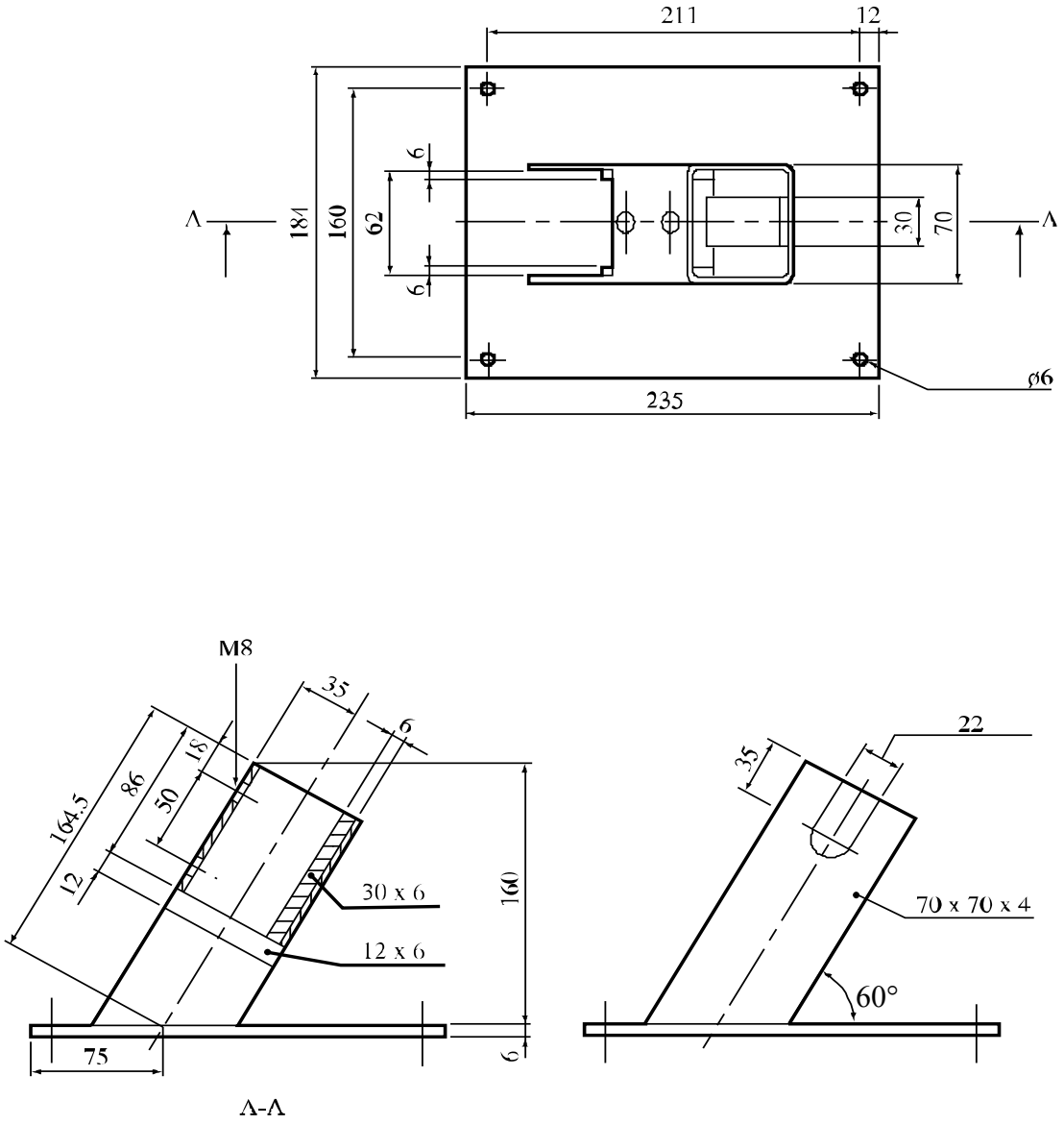
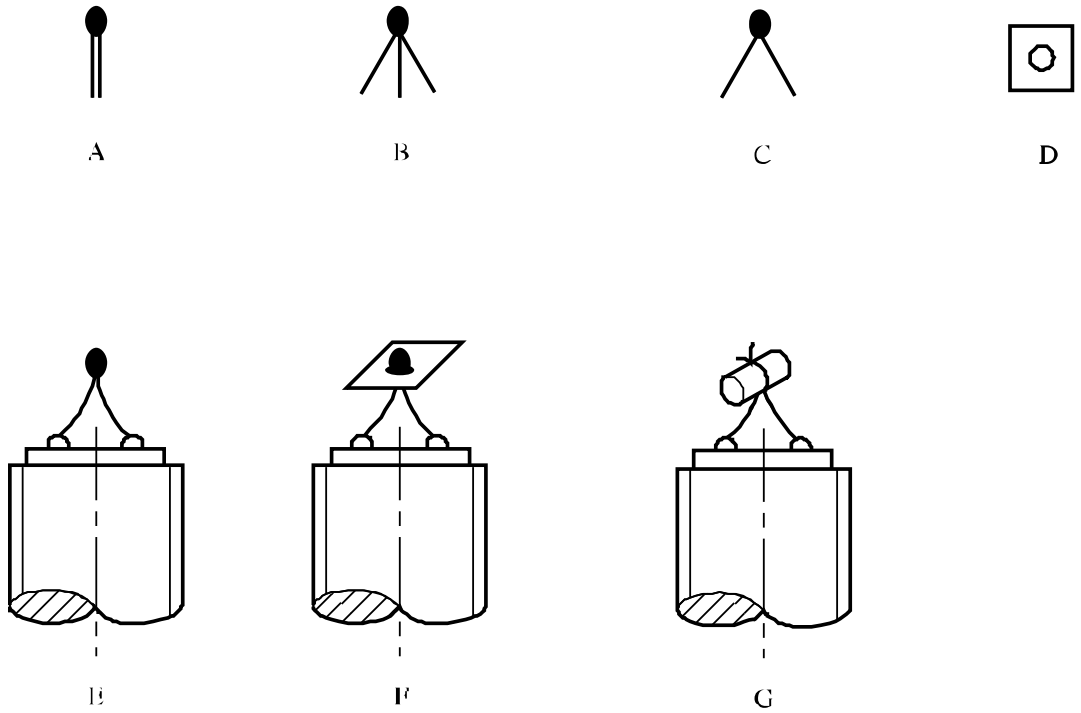


Figura 12.6.1.2: SOPORTE

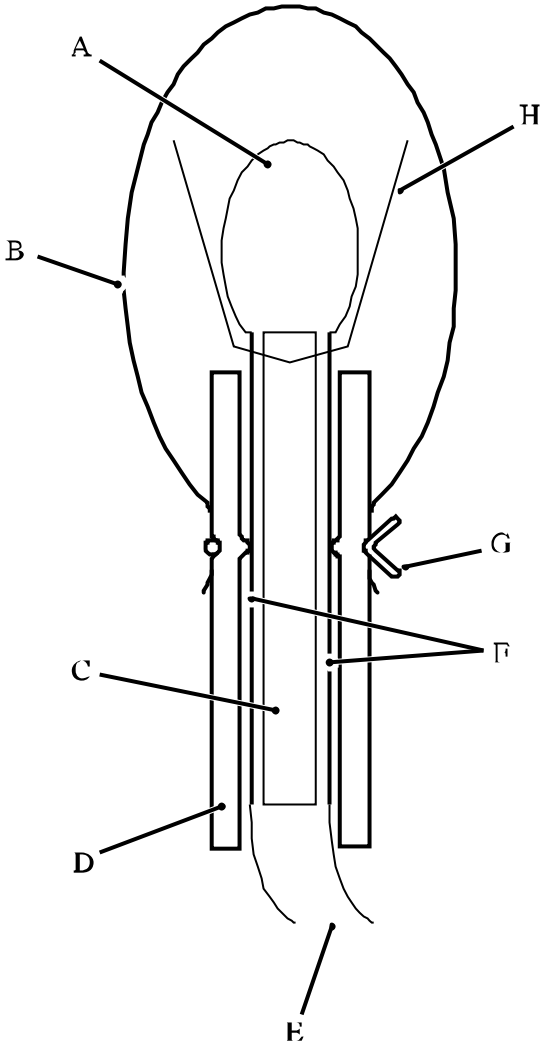
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cabeza de encendido eléctrico, tal como viene de fábrica
(B)	Contactos de hoja de latón separados del cartón aislador
(C)	Cabeza de encendido, sin cartón aislador
(D)	Lienzo cebado, SR252, de 13 mm de lado, agujereado en el centro
(E)	Cabeza de encendido soldada a las clavijas del tapón de activación
(F)	Lienzo colocado en la cabeza de encendido
(G)	Lienzo enrollado, sujeto con un hilo

Figura 12.6.1.3: DISPOSITIVO DE INFLAMACIÓN PARA SÓLIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cabeza de encendido
(B)	Funda de cloruro de polivinilo
(C)	Cartón aislador
(D)	Tubo de caucho silicónico
(E)	Cables de encendido
(F)	Contactos de hoja de latón
(G)	Alambre para sellar herméticamente
(H)	Lienzo cebado

Figura 12.6.1.4: DISPOSITIVO DE INFLAMACIÓN PARA LÍQUIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

12.6.2 *Prueba 2 c) ii): Prueba de inflamación interior*

12.6.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la tendencia de una sustancia a experimentar una transición de deflagración a detonación.

12.6.2.2 *Aparatos y materiales*

En la figura 12.6.2.1 se representa el aparato de ensayo. La muestra de la sustancia objeto de la prueba se aloja en un tubo de acero al carbono (A53, calidad B) de "3 pulgadas, ficha 80", de 74 mm de diámetro interior y 7,6 mm de espesor de pared, cada uno de cuyos extremos se cierra con un tapón hembra roscado de acero forjado, de "3.000 lb". En el centro del tubo, se coloca un inflamador de pólvora negra (cernida en su totalidad en un tamiz Nº 20, de 0,84 mm, y que quede retenida, también en su totalidad, en un tamiz Nº 50, de 0,297 mm). El artefacto del inflamador consiste en un receptáculo cilíndrico (de 21 mm de diámetro y 32 mm de longitud) de acetato de celulosa (de 0,54 mm de espesor), que se mantiene fijo mediante dos capas de cinta de ese mismo material, reforzada con hilo de nilón. Dicho receptáculo contiene un pequeño circuito en bucle, de 0,30 mm de diámetro, constituido por un hilo de resistencia (0,35 ohmios) de 25 mm de longitud de una aleación de cromoníquel. El bucle va conectado a dos hilos conductores aislados, de cobre estañado, de 0,7 mm de diámetro (1,3 mm con el aislamiento). Estos hilos conductores atraviesan la pared del tubo por unos pequeños orificios, que se taponan con un aislamiento de resina epoxídica.

12.6.2.3 *Procedimiento*

La muestra, a la temperatura ambiente, se introduce en el tubo hasta una altura de 23 cm. En el centro de éste se coloca el inflamador, cuyos cables se hacen pasar a través de los orificios existentes en la pared del tubo y, una vez atirantados, se aíslan con resina epoxídica en dichos orificios. Seguidamente, se introduce el resto de la muestra, y se enrosca el tapón del extremo superior. En el caso de las muestras gelatinosas, se embute la sustancia de manera que su densidad en el interior del tubo sea la más próxima posible a la que tiene normalmente en condiciones de transporte. Cuando se trate de muestras en forma de granos, la densidad correcta es la que se obtiene golpeando repetidas veces el tubo con suavidad contra una superficie dura. El tubo se coloca en posición vertical y el inflamador se activa con una corriente de 15 amperios, procedente de un transformador de 20 voltios. Se efectúan tres ensayos con cada muestra, a menos que la transición de deflagración a detonación se produzca antes.

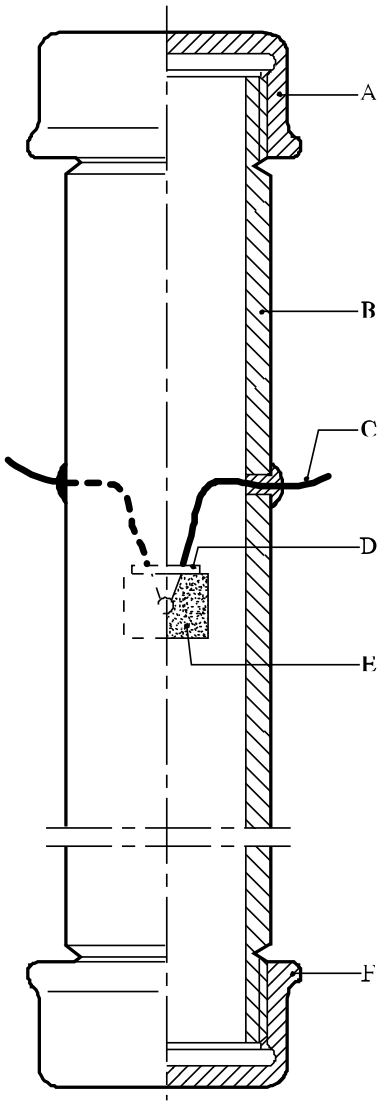
12.6.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) cuando el tubo o, al menos, uno de los tapones roscados se fragmentan en al menos dos pedazos separados. Se considera que los resultados son negativos (-) cuando el tubo simplemente se abre o se raja o cuando el tubo o los tapones se deforman hasta el punto de que estos últimos salgan despedidos.

12.6.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Gel acuoso	+
1,3-Dinitrobenceno (cristales finos)	-
Nitrato amónico/fueloil, aluminizado	+
Nitrato amónico (pepitas; poroso; baja densidad)	-
Nitrocarbonitrato	-
Perclorato amónico (45 μm)	+
TNT (gránulos)	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tapón de acero forjado	(B)	Tubo de acero
(C)	Cables del inflamador	(D)	Junta de estanqueidad
(E)	Inflamador	(F)	Tapón de acero forjado

Figura 12.6.2.1: PRUEBA DE INFLAMACIÓN INTERIOR

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 13

SERIE DE PRUEBAS 3

13.1 Introducción

Para responder a las preguntas "¿Es la sustancia térmicamente estable?" (casilla 10 de la figura 10.2) y "¿Es la sustancia demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba?" (casilla 11 de la figura 10.2) hay que determinar la sensibilidad de la sustancia a los estímulos mecánicos (choque y fricción), al calor y a las llamas. La respuesta a la pregunta de la casilla 10 es "no" si se obtiene un resultado positivo en la prueba del tipo 3 c) y se considera la sustancia demasiado inestable para su transporte. La respuesta a la pregunta de la casilla 11 es "sí" si se obtiene un resultado en alguna de las pruebas 3 a), 3 b) o 3 d). Si se obtiene un resultado positivo, la sustancia puede ser introducida en cápsulas o bien se puede desensibilizar o embalar/envasar de tal forma que se reduzca su sensibilidad a los estímulos externos.

13.2 Métodos de prueba

La serie 3 comprende cuatro tipos de pruebas:

Tipo a): para determinar la sensibilidad a los choques;
Tipo b): para determinar la sensibilidad a la fricción (incluida la fricción con choque);
Tipo c): para determinar la estabilidad térmica de una sustancia; y
Tipo d): para determinar la reacción de la sustancia al fuego.

En el cuadro 13.1 se enumeran los métodos de prueba que se utilizan en la actualidad.

Cuadro 13.1: MÉTODOS DE PRUEBA DE LA SERIE 3

Código	Nombre de la prueba	Sección
3 a) i)	Prueba del martinete de la Oficina de Explosivos	13.4.1
3 a) ii)	Prueba del martinete BAM[a]	13.4.2
3 a) iii)	Prueba Rotter	13.4.3
3 a) iv)	Prueba del martinete de 30 kg	13.4.4
3 a) v)	Prueba del martinete tipo 12 modificado	13.4.5
3 a) vi)	Prueba de sensibilidad al impacto	13.4.6
3 b) i)	Prueba de la máquina de fricción BAM[a]	13.5.1
3 b) ii)	Prueba de fricción por rotación	13.5.2
3 b) iv)	Prueba de sensibilidad a la fricción	13.5.3
3 c)	Prueba de estabilidad térmica a 75 C[a]	13.6.1
3 d)	Prueba de combustión en pequeña escala[a]	13.7.1

[a] *Prueba recomendada*.

13.3 Condiciones de las pruebas

13.3.1 ***Deben adoptarse medidas de precaución cuando sea necesario triturar o cortar muestras de explosivos antes de su utilización. Serán necesarios equipos protectores (por ejemplo, pantallas de seguridad) y se emplearán cantidades mínimas.***

13.3.2 Para las pruebas de los tipos 3 a) y 3b), las sustancias humidificadas deben someterse a prueba con el contenido mínimo de agente humectante previsto para el transporte.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.3.3 Las pruebas 3 a) y 3 b) deben efectuarse a la temperatura ambiente, a menos que se indique otra cosa o que la sustancia deba transportarse en condiciones que puedan alterar su estado físico.

13.3.4 Con el fin de obtener resultados repetibles, se deben controlar minuciosamente todos los factores de las pruebas 3a) y 3b) y es necesario comprobar periódicamente si se ajustan a una muestra normalizada cuya sensibilidad es conocida.

13.3.5 Dado que las burbujas de aire aprisionadas hacen que las sustancias líquidas sean mucho más sensibles a los choques, los métodos de prueba del tipo 3 a) aplicados a los líquidos utilizan accesorios o procedimientos especiales que permiten una compresión "adiabática" de tales burbujas en el líquido.

13.3.6 No es necesario aplicar a los líquidos las pruebas del tipo 3 b).

13.4 Serie 3, tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

13.4.1 *Prueba 3 a) i): Prueba del martinete de la Oficina de Explosivos*

13.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de una sustancia al impacto de una maza y determinar si es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba. Se aplica a las sustancias sólidas y líquidas, utilizándose dos portamuestras diferentes.

13.4.1.2 *Aparatos y materiales*

13.4.1.2.1 Sólidos

El conjunto del aparato y los elementos del portamuestras correspondiente a las sustancias sólidas aparecen representados esquemáticamente en las figuras 13.4.1.1 y 13.4.1.2, respectivamente. El aparato consiste, fundamentalmente, en dos guías cilíndricas paralelas, entre las que se desliza una maza de 3,63 kg, que cae por su propio peso, desde alturas predeterminadas, sobre un conjunto constituido por un pistón y un percutor. Éste está en contacto con la muestra que, a su vez, descansa sobre un bloque de tope y yunque, encerrada en una cámara cilíndrica cuyo diámetro interior es el justo para que el pistón y el percutor puedan moverse libremente. Estos últimos, como también el tope, la cámara y el yunque, son de acero para herramientas, templado, de dureza 50-55 en la escala Rockwell C, y las superficies emparejadas y las que están en contacto con la muestra llevan una capa protectora de 0,8 micrones. La cámara en que se aloja la muestra tiene 5,1 mm de diámetro.

13.4.1.2 *Líquidos*

El aparato de ensayo de las sustancias líquidas es igual al que se utiliza para las sólidas, salvo por lo que se refiere al portamuestras, que aparece representado en la figura 13.4.1.3.

13.4.1.3 *Procedimiento*

13.4.1.3.1 Sólidos

Se pone en el tope (C) una muestra de 10 miligramos de peso. Se colocan el yunque (E) y el tope en la caja (F), y se enrosca la cámara (D) por encima de ellos. Seguidamente, se colocan el percutor (B) y el pistón (A) por encima de la muestra, hecho lo cual, se eleva la maza a una altura de 10,0 cm y se la deja caer. Se observa si ha habido una "explosión" al producirse un estampido audible o una llama. Con cada muestra se efectúan diez ensayos.

13.4.1.3.2 Líquidos

Se montan en la caja del percutor (C) el casquillo antirrebote (A), el punzón interpuesto (B) y el percutor (D). Se coloca un vaso de cobre (E) en el soporte provisto al efecto (no representado en la

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

figura 13.4.1.3), y se deposita en él una gota del líquido objeto de la prueba. Sobre el soporte del vaso se colocan la caja del percutor (C) y sus elementos (A, B y D). El extremo inferior del percutor (D) queda dentro del vaso (E), pero el soporte de éste impide que entre en contacto con el líquido depositado en el recipiente. Cuando la caja del percutor, al elevarse, se separa del soporte del vaso, este último permanece fijo al extremo del percutor por efecto de la fricción. A continuación, se enrosca la caja del percutor a la del yunque, teniendo las piezas tales dimensiones que, cuando la caja mencionada en primer lugar se enrosca a mano, el fondo del vaso queda justo en contacto con el yunque. Seguidamente, se coloca el portamuestras en el mismo martinete de ensayo empleado para las sustancias sólidas, hecho lo cual, se eleva la maza a una altura de 25,0 cm, y se la deja caer. Se observa si ha habido una "explosión" al producirse humo, un estampido audible o una llama. Con cada muestra se realizan diez ensayos.

13.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

13.4.1.4.1 Sólidos

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) si se observa una llama o se produce un estampido audible en, al menos, 5 de cada 10 ensayos a una altura de caída de 10 cm, y se considera que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba. De lo contrario, el resultado de la prueba se considera negativo (-). Los casos dudosos pueden resolverse mediante el método Bruceton (véase el apéndice 2).

13.4.1.4.2 Líquidos

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para ser transportada en la forma en que se ha sometido a prueba, si se observa humo o una llama o se produce un estampido audible en, al menos, uno de los 10 ensayos, a una altura de caída de 25 cm. De lo contrario, el resultado de la prueba se considera negativo (-).

13.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

13.4.1.5.1 Sólidos

Resultados de las pruebas encaminadas a determinar la sensibilidad de los sólidos a los choques:

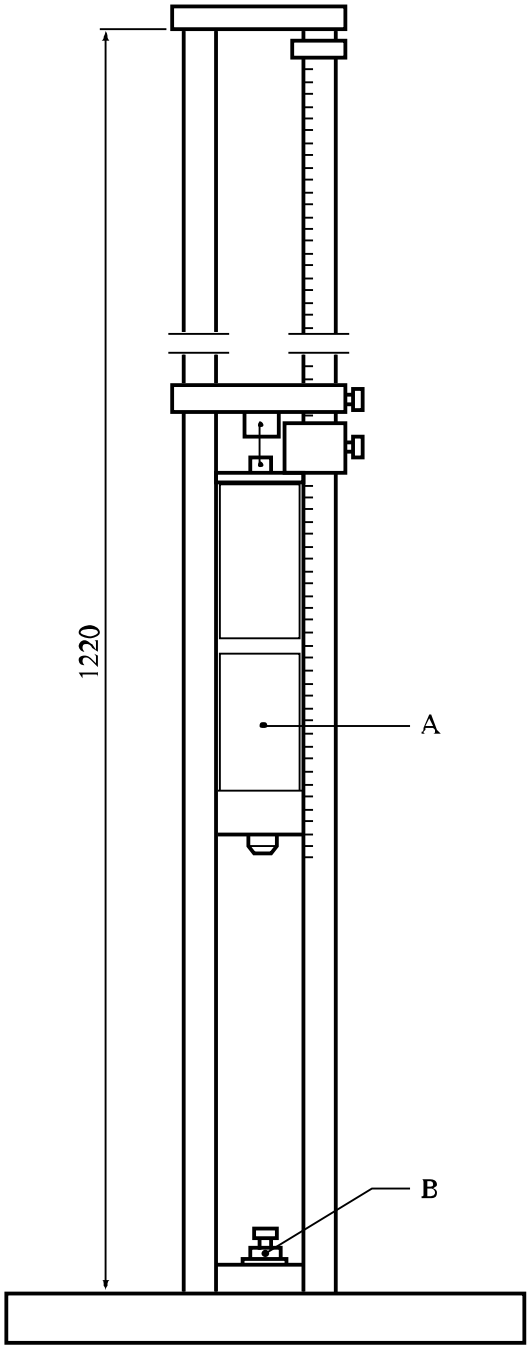
Sustancia	**Resultado**
Ciclonita (seca)	+
Dinamita con nitroglicerina	-
Octógeno (seco)	+
Pentrita (seca)	+
Pentrita/agua (75/25)	-
Perclorato amónico	-

13.4.1.5.2 Líquidos

Resultados de las pruebas encaminadas a determinar la sensibilidad de los líquidos a los choques:

Sustancia	**Resultado**
Nitroglicerina	+
Nitrometano	-

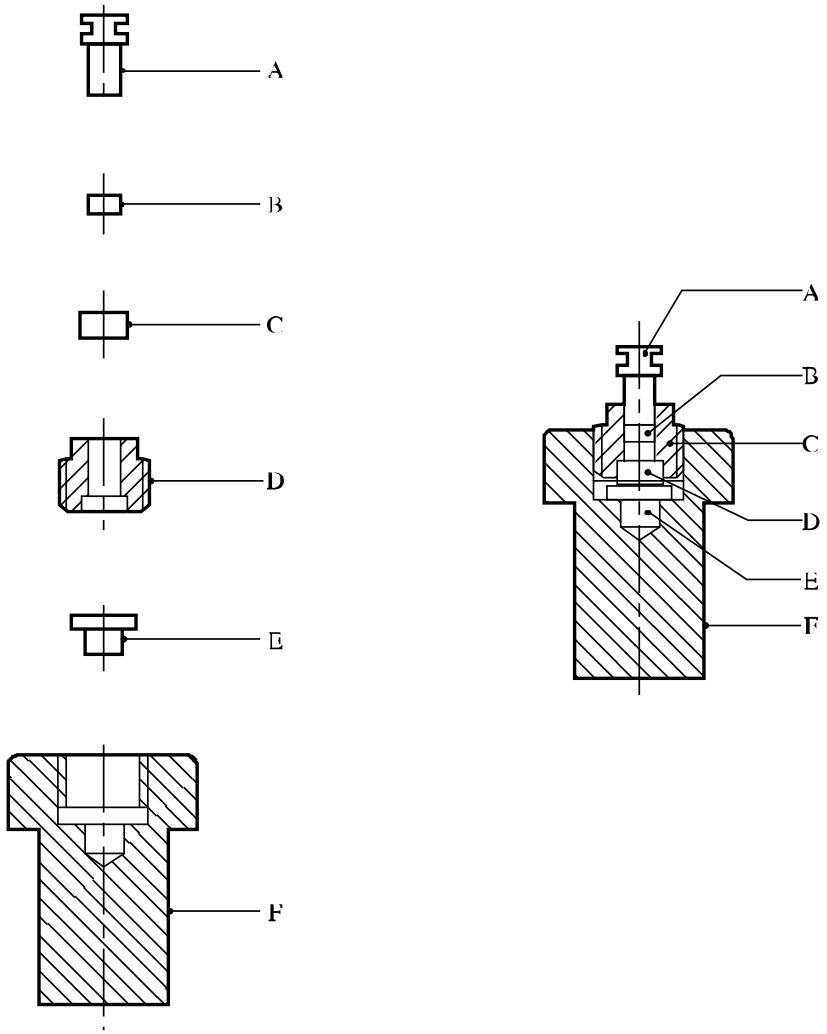
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Maza	(B) Portamuestras

Figura 13.4.1.1: MARTINETE DE LA OFICINA DE EXPLOSIVOS

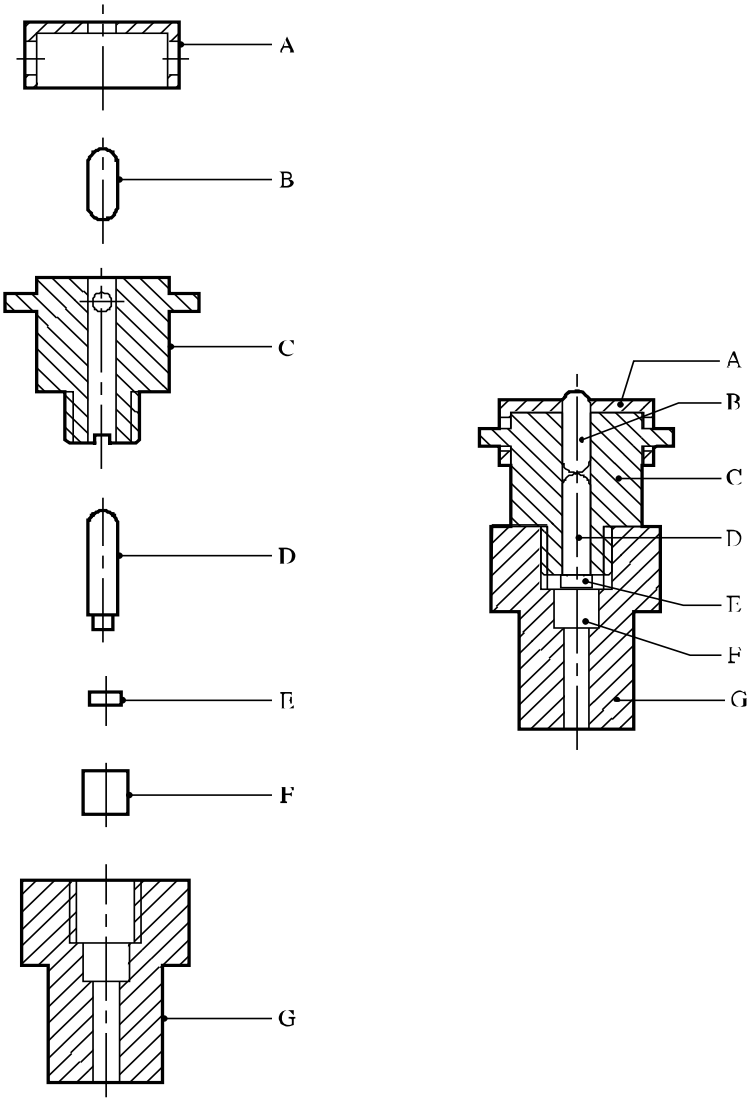
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Pistón	(B)	Percutor
(C)	Tope	(D)	Cámara
(E)	Yunque	(F)	Caja

Figura 13.4.1.2: PORTAMUESTRAS PARA SÓLIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Casquillo antirrebote	(B)	Punzón interpuesto
(C)	Caja del percutor	(D)	Percutor
(E)	Vaso de cobre	(F)	Yunque
(G)	Caja del yunque		

Figura 13.4.1.3: PORTAMUESTRAS PARA LÍQUIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.2 *Prueba 3 a) ii): Prueba del martinete BAM*

13.4.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de las sustancias sólidas y líquidas al impacto de una maza y determinar si una sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba.

13.4.2.2 *Aparatos y materiales*

13.4.2.2.1 Los elementos principales del martinete son: la chabota de acero colado, con bancada; el yunque, el montante, las guías, la maza con un mecanismo de suelta y el dispositivo de impacto. El yunque, de acero, va atornillado al conjunto de chabota y bancada, esta última también de acero colado. El montante (de tubo de acero estirado sin costuras) descansa sobre un soporte que va empernado a la parte posterior de la chabota. En la figura 13.4.2.1 se indican las dimensiones del yunque, chabota, bancada y montante. Las dos guías, que se fijan a este último mediante tres travesaños, llevan una cremallera destinada a frenar el rebote de la maza, y una escala graduada móvil para regular la altura de caída. El mecanismo de suelta de la maza puede deslizarse entre las guías, y se afianza en éstas mediante dos mordazas, que se accionan con tuerca de manigueta. El aparato va fijo a un bloque de hormigón (de 600 × 600 mm) mediante cuatro tornillos de anclaje afianzados en este último, de manera que la bancada, en toda su superficie, queda en contacto con el hormigón, con lo que se da a las guías una verticalidad perfecta. Se rodea el conjunto, hasta el nivel del travesaño inferior, con una caja protectora de madera, que lleva un revestimiento interior y puede abrirse fácilmente. Los gases resultantes de una explosión y el polvo se extraen del interior de la caja mediante un ventilador aspirante.

13.4.2.2.2 En la figura 13.4.2.2 se representa una de las mazas de posible uso. Cada una de ellas tiene dos ranuras que la sujetan entre las guías en su caída; una espiga de suspensión; una cabeza de percusión, amovible y de forma cilíndrica, y un tope antirrebote, que se enroscan o atornillan a la maza. La cabeza de percusión es de acero templado (dureza de 60 a 63 en la escala Rockwell C), tiene un diámetro mínimo de 25 mm y lleva un resalto que le impide incrustarse en la maza por efecto del golpe. Se dispone de tres mazas de distinto peso: 1 kg, 5 kg y 10 kg. La de 1 kg tiene un elemento central de acero macizo, en el que va montada la cabeza de percusión. Las de 5 y 10 kg son de acero macizo y compacto (al menos, por ejemplo, de las características de la especificación St. 37-1, conforme a la norma DIN 1700).

13.4.2.2.3 La muestra de la sustancia objeto de la prueba se encierra en un dispositivo de impacto constituido por dos cilindros coaxiales de acero, que van alojados el uno sobre el otro en un anillo guía, también de acero. Dichos cilindros son rodillos de cojinete, de superficies pulimentadas y bordes redondeados, y tienen una dureza de entre 58 y 65 en la escala Rockwell C. Sus dimensiones y las del anillo se indican en la figura 13.4.2.3. El dispositivo de impacto se coloca en un yunque intermedio, sobre el que se le da la posición correcta mediante un anillo de centrado en el que, dispuestos en círculo, existen varios orificios de ventilación para la salida de los gases. Las dimensiones del yunque intermedio se indican en la figura 13.4.2.4, y las del anillo de centrado, en la figura 13.4.2.3.

13.4.2.3 *Procedimiento*

13.4.2.3.1 En lo que se refiere a las sustancias sólidas -no las de tipo pastoso ni los geles- conviene tener en cuenta los extremos siguientes:

a) Las sustancias en polvo se tamizan (malla de 0,5 mm), utilizándose en la prueba todas las partículas que pasen por el tamiz[1];

[1] *En el caso de las sustancias en cuya composición entre más de un componente, la fracción tamizada que se utilice en la prueba debe ser representativa de la sustancia original*.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

b) Las sustancias que hayan sido comprimidas, moldeadas o de alguna manera compactadas se fragmentan en trozos pequeños y se tamizan, utilizándose en la prueba sólo las partículas que pasen por una malla de 1,0 mm y no por una de 0,5 mm[1];

c) Las sustancias que sólo se transportan en forma de cargas se ensayan en discos de 40 mm^3 de volumen (aproximadamente, 4 mm de diámetro y 3 mm de espesor).

Antes de los ensayos, los cilindros y el anillo guía deben desengrasarse con acetona. Estas piezas sólo se utilizan una vez.

13.4.2.3.2 Por lo que se refiere a las sustancias en polvo, la muestra se recoge con una medida cilíndrica de 40 mm^3 de capacidad (3,7 mm de diámetro × 3,7 mm). Cuando se trate de pastas o geles, se introduce en la sustancia, con ese mismo fin, un tubo cilíndrico de igual capacidad, el cual, una vez lleno, se rasa, extrayéndose la muestra de su interior mediante una varilla de madera. Con las sustancias líquidas se utiliza una fina pipeta de 40 mm^3 de capacidad. Antes de cerrar la caja protectora de madera, se deposita la muestra en el dispositivo de impacto, colocado ya éste en el anillo de centrado, sobre el yunque intermedio y, si se trata de una sustancia en polvo, pastosa o del tipo de los geles, se oprime suavemente el cilindro superior, hasta tocar la muestra pero sin aplanarla. Si se trata de una muestra líquida, se aloja ésta en el dispositivo de impacto de tal manera que se deposite en el surco existente entre el cilindro inferior y el anillo guía. El cilindro superior se empuja hacia abajo, con auxilio de una galga de profundidad, hasta que su separación del cilindro inferior sea de 2 mm (véase la figura 13.4.2.5) y se sujeta por medio de una junta tórica de caucho. Puede ocurrir que por efecto de la capilaridad la muestra rezume por la parte superior del anillo. En tal caso, debe limpiarse el portamuestras y depositar de nuevo la muestra. Con la muestra ya en su interior, se coloca el dispositivo de impacto sobre el yunque principal, centrándolo sobre éste; se cierra la caja protectora de madera, y se deja caer la maza correspondiente desde la altura prevista. En la interpretación de los resultados de la prueba se distinguen los supuestos siguientes: "ninguna reacción", "descomposición" (sin llama ni explosión), reconocible por el cambio de color o por el olor, y "explosión" (con un estallido de intensidad débil a fuerte, o con inflamación). En algunos casos, es aconsejable efectuar ensayos con sustancias inertes apropiadas, que sirvan de referencia comparativa, para discernir mejor si se ha producido un estampido audible o no.

13.4.2.3.3 La energía límite de choque, que caracteriza la sensibilidad de una sustancia a este último, se define como la energía de choque mínima con la que se observa el resultado de "explosión" en uno de seis ensayos como mínimo. La energía de choque aplicada se calcula a partir del peso de la maza y de la altura de caída (por ejemplo, 1 kg × 0,5 m ≈ 5 J). La maza de 1 kg se utiliza a alturas de caída de 10, 20, 30, 40 y 50 cm (energía de choque, 1 a 5J); la de 5 kg, a alturas de 15, 20, 30, 40, 50 y 60 cm (energía de choque, 7,5 a 30 J); y la de 10 kg, a alturas de 35, 40 y 50 cm (energía de choque, 35 a 50 J). Se inicia la serie de ensayos efectuando uno con una energía de 10 J. Si se obtiene en éste el resultado de "explosión", se prosigue la serie de ensayos aplicando energías progresivamente más bajas, hasta que se observe el resultado de "descomposición" o "ninguna reacción". Si no se ha producido "explosión", se repite la experiencia con la misma energía de choque, hasta totalizar seis ensayos. Por el contrario, si se ha producido "explosión", se reduce la energía gradualmente hasta que se verifique la energía límite de choque. Si el resultado obtenido con una energía de 10 J es de "descomposición" o "ninguna reacción" (esto es, ausencia de explosión), se continúa la serie de ensayos elevando gradualmente la energía de choque, hasta que se obtenga por primera vez el resultado de "explosión". Seguidamente, se reduce de nuevo la energía de choque, hasta que se verifique la que constituye el límite.

13.4.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Para evaluar los resultados, se tiene en cuenta:

a) Si se produce una "explosión" en por lo menos uno de cada seis ensayos realizados con determinada energía de choque; y

b) La energía de choque más baja en la que se ha producido por lo menos una "explosión" en seis ensayos.

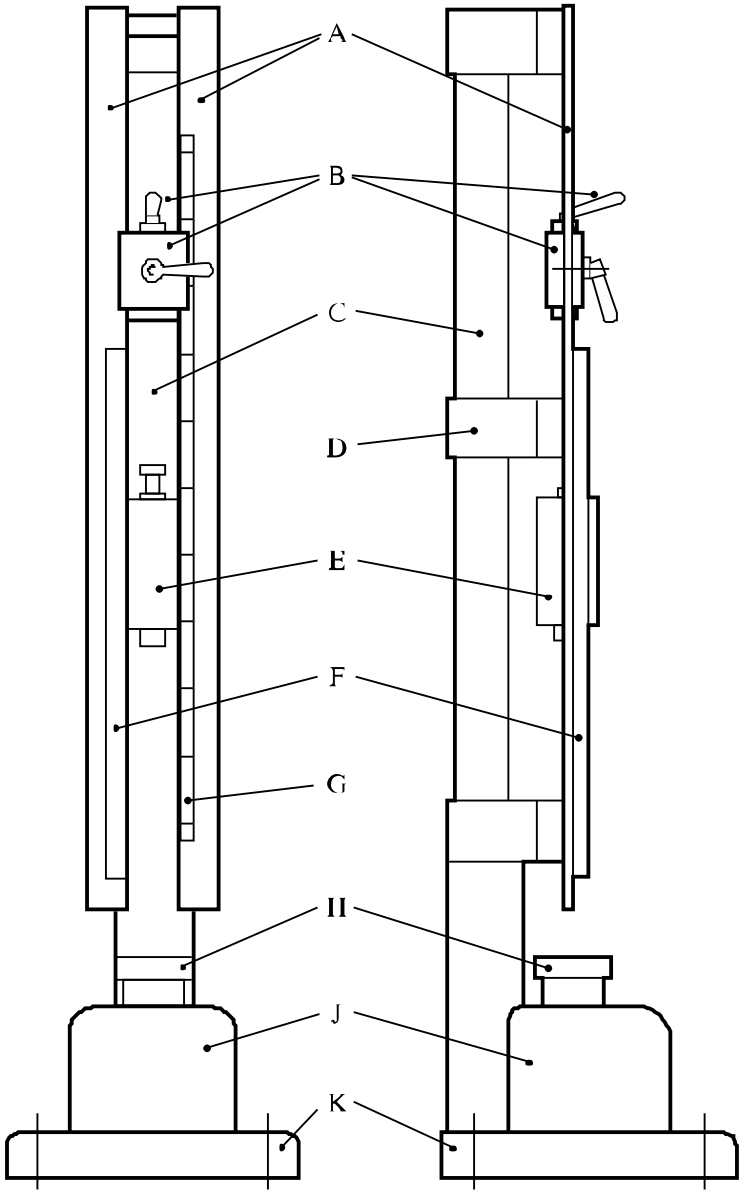
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para ser transportada en la forma en que se ha sometido a prueba, si la energía de choque más baja en la que se ha producido una "explosión" en seis ensayos es igual o inferior a 2 J. De lo contrario, el resultado de la prueba se considera negativo (-).

13.4.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Energía límite de choque (en J)**	**Resultado**
Azida de plomo (seca)	2,5	-
Ciclonita (seca)	5	-
Ciclonita/agua (74/26)	30	-
Fulminato de mercurio (seco)	1	+
Estifnato de plomo	5	-
Hexal (70/30)	10	-
Hexanitrato de manitol (seco)	1	+
Nitrato de etilo (líquido)	1	+
Nitroglicerina (líquida)	1	+
Pentrita (seca)	3	-
Pentrita/agua (75/25)	5	-
Pentrita/cera (95/5)	3	-
Pentrita/cera (93/7)	5	-
Pentrita/cera (90/10)	4	-
Pentrita/lactosa (85/15)	3	-
Perclorato de hidrazina (seco)	2	+
Tetrilo (seco)	4	-

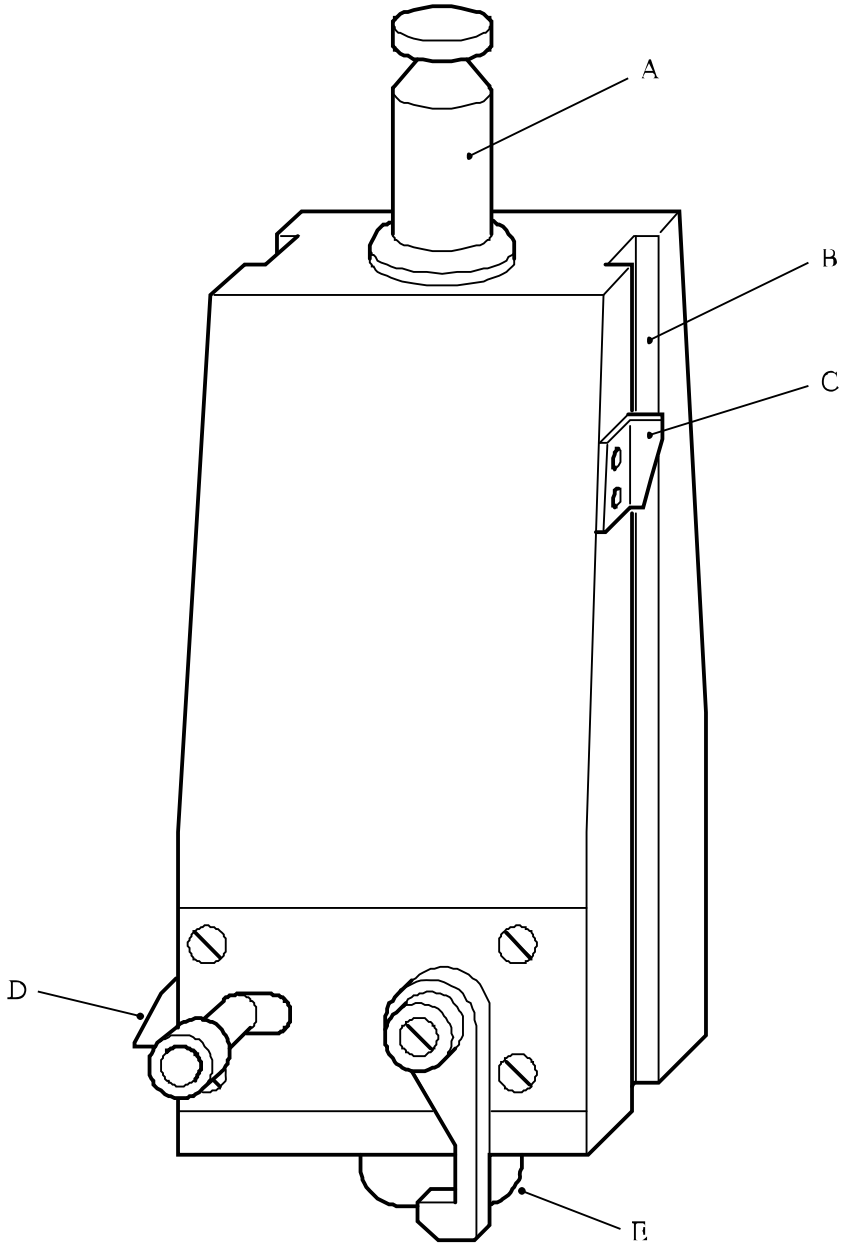
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Dos guías	(B)	Mecanismo de retención y de suelta
(C)	Montante	(D)	Travesaño intermedio
(E)	Maza	(F)	Cremallera
(G)	Escala graduada	(H)	Yunque (100 mm de diámetro × 70 mm)
(J)	Chabota de acero (230 × 250 × 200 mm)	(K)	Bancada (450 × 450 × 60 mm)

Figura 13.4.2.1: MARTINETE BAM: ESQUEMA DE CONJUNTO (VISTA FRONTAL Y LATERAL)

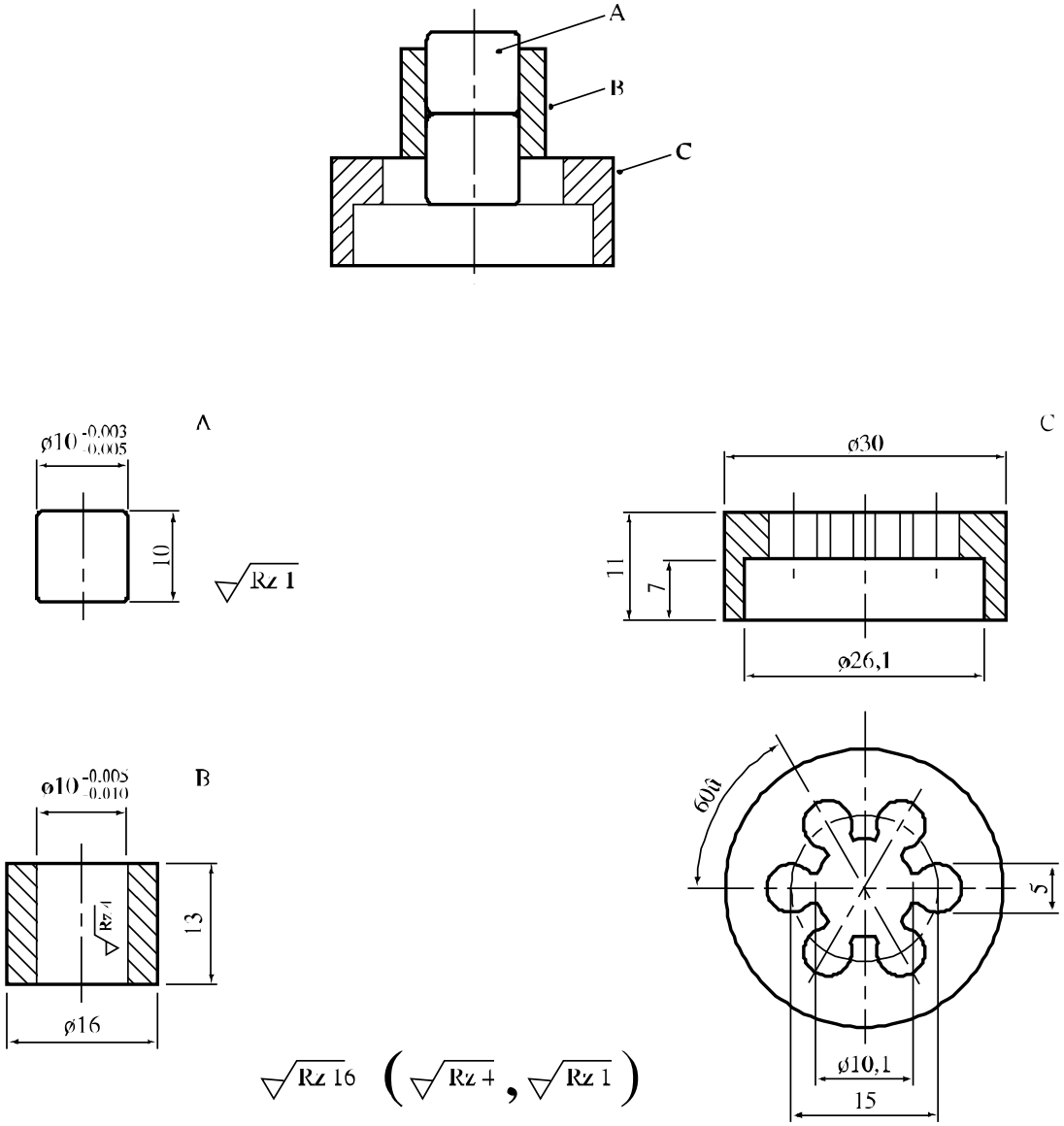
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Espiga de suspensión
(B)	Ranura de deslizamiento
(C)	Indicador de la altura
(D)	Tope antirrebote
(E)	Cabeza de percusión, cilíndrica

Figura 13.4.2.2: MAZA

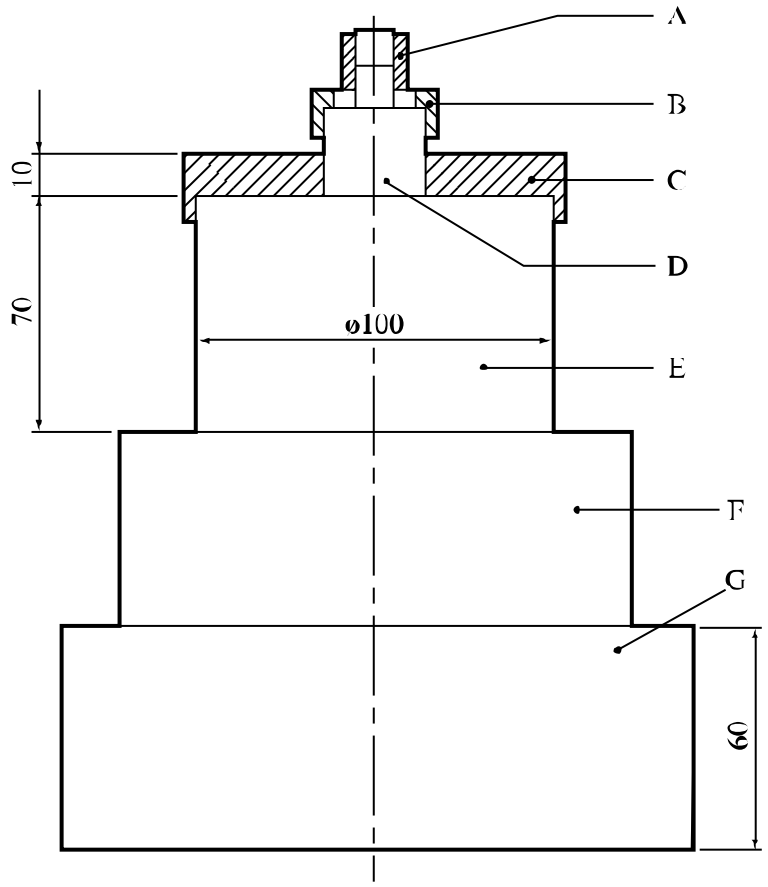
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cilindro(s) de acero
(B)	Anillo guía
(C)	Anillo de centrado

Figura 13.4.2.3: DISPOSITIVO DE IMPACTO PARA SUSTANCIAS EN POLVO PASTOSAS O DEL TIPO DE LOS GELES, Y ANILLO DE CENTRADO

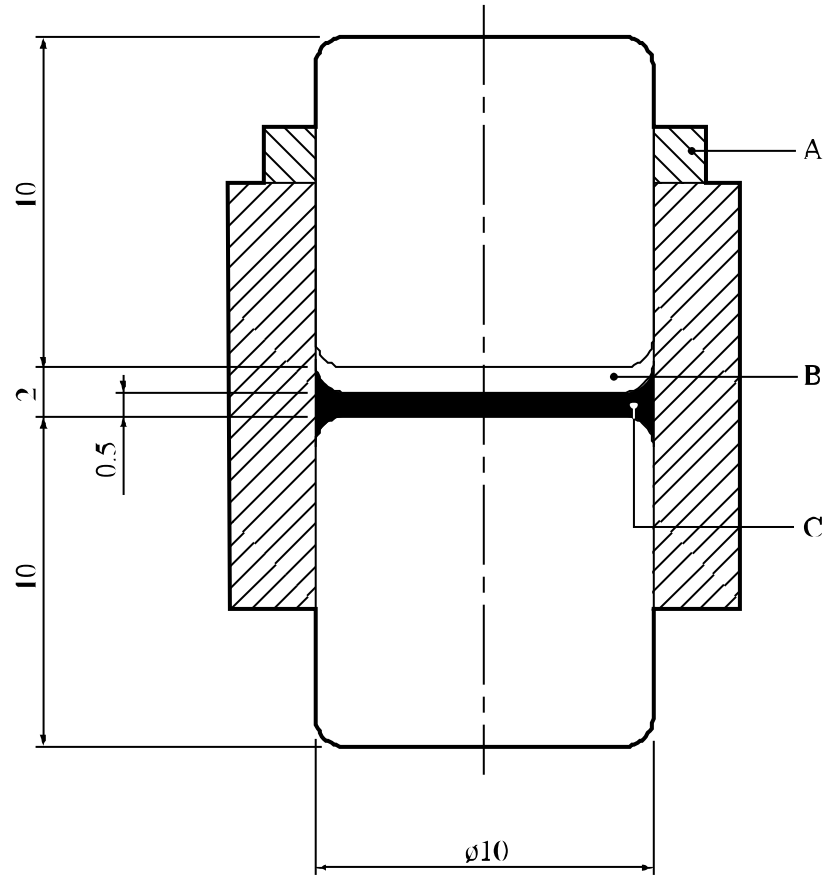
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Dispositivo de impacto
(B) Anillo de centrado
(C) Placa de centrado
(D) Yunque intermedio (26 mm de diámetro × 26 mm)
(E) Yunque (100 mm de diámetro × 70 mm)
(F) Chabota de acero (230 × 250 × 200 mm)
(G) Bancada (450 × 450 × 60 mm)

Figura 13.4.2.4: PARTE INFERIOR DEL APARATO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Anillo de caucho (innecesario en algunos casos)
(B) Espacio sin líquido
(C) Muestra líquida aplicada alrededor del cilindro de acero

Figura 13.4.2.5: DISPOSITIVO DE IMPACTO PARA LÍQUIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.3 *Prueba 3 a) iii): Prueba Rotter*

13.4.3.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de la sustancia al impacto de una maza y determinar si la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba. Se aplica a las sustancias sólidas y líquidas, utilizándose dos portamuestras diferentes. El procedimiento puede comportar la utilización de un explosivo normalizado como referencia comparativa directa, determinándose la mediana de las alturas de caída (50% de probabilidad de inflamación) por el método Bruceton.

13.4.3.2 *Aparatos y materiales*

13.4.3.2.1 Sólidos

En la figura 13.4.3.1 se reproduce una vista de conjunto del martinete Rotter (maza de 5 kg), con sus accesorios, y en la figura 13.4.3.2 se representa en esquema agrandado la cámara de explosión. Los yunques de acero templado, las cápsulas de latón, el recipiente de medida (0,03 cm^3 de capacidad), el atacador y la bureta de análisis de gases (50 cm^3) se construyen según planos normalizados. El explosivo de referencia es la ciclonita, recristalizada a partir de la ciclohexanona y secada según un procedimiento normalizado.

13.4.3.2.2 Líquidos

En el ensayo de líquidos se utiliza también el martinete Rotter, pero con un dispositivo de impacto (figura 13.4.3.3) y un punzón (figura 13.4.3.4) distintos, y sin la bureta. El peso de la maza es de 2 kg. Los elementos representados en las figuras 13.4.3.2 a 13.4.3.4 se construyen según planos normalizados, al igual que el anillo de acero templado con que se calibra el conjunto vaso-percutor.

13.4.3.3 *Procedimiento*

13.4.3.3.1 Sólidos

En el caso de las sustancias sólidas -no las pastosas ni los geles- conviene tener en cuenta los extremos siguientes:

- en caso necesario, las sustancias en forma de polvo grueso se trituran para que pasen por un tamiz de 850 μm; y

- las sustancias coladas se trituran y pasan por un tamiz de 850 μm o bien se cortan en discos de 0,03 cm^3 cuyas dimensiones nominales son 4 mm de diámetro y 2 mm de espesor.

13.4.3.3.2 Si se trata de una sustancia en polvo, ésta se trasvasa a la cápsula con el recipiente de medida, y las de baja densidad aparente se comprimen con el atacador. Seguidamente, se coloca la cápsula sobre el yunque, de manera que no se invierta antes de que la sustancia llegue a estar en contacto con la punta del yunque. Se hace girar la cápsula para que la sustancia quede uniformemente distribuida; se cierra la cámara; se ajusta el percutor de manera que quede en contacto con la cápsula, y se monta la cámara en el aparato. Los logaritmos de las alturas de caída de referencia se ordenan en una escala lineal. El valor de las primeras de ellas con las que iniciar las series de Bruceton (véase el apéndice 2) correspondientes a la muestra objeto del ensayo y al explosivo de referencia se determinan por interpolación entre el resultado positivo (inflamación) y negativo (ausencia de inflamación) más próximos, hasta que éstos se produzcan con alturas de valor contiguo. En una prueba normal, se efectúan series de 50 ensayos siguiendo el método Bruceton. Si se aplica el método de comparación de muestras (véase el apéndice 2), se someten alternativamente al martinete las respectivas cápsulas de la sustancia de referencia y de la muestra, confeccionándose una serie de Bruceton para cada una de ellas. Con cualquier sustancia explosiva, se considera que se ha producido un resultado positivo si el manómetro registra productos de descomposición en cantidad equivalente o superior

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

a 1 cm^3, o si se observa un movimiento transitorio anómalo del líquido del manómetro, confirmado por la presencia de humo al abrir la caja del yunque. Con algunas composiciones pirotécnicas, se considera que un efecto menor, por ejemplo un cambio de color, constituye prueba suficiente de resultado positivo. Después de cada ensayo, se deben limpiar y secar cuidadosamente el yunque y el interior de la cámara, examinándose aquél y cambiándolo si aparece visiblemente deteriorado. Desde alturas muy por encima de los 200 cm, la maza, por sí sola, puede dañar el yunque. Si no se obtienen por el método de comparación de muestras, los datos relativos al explosivo de referencia se determinan sobre la base de la media móvil de 50 ensayos.

13.4.3.3.3 Líquidos

Antes de iniciar los ensayos con líquidos, se emparejan los respectivos vasos y percutores. Se introduce el anillo calibrador, sucesivamente, en cada uno de los vasos; se coloca el percutor y se aloja el conjunto en la cámara de explosión. Tras colocar en el extremo superior del percutor una bola de acero, se monta e inmoviliza la caja en su soporte. Seguidamente se coloca el tapón, enroscándolo hasta que la bola quede en contacto con las paredes de su alojamiento. Ese grado inicial de ajuste aparece indicado en una escala circular de 100 divisiones que existe en la parte superior de la caja, y la medida así representada es exclusiva de la pareja concreta de vaso y percutor que se utiliza. Cada una de las divisiones de la escala circular corresponde a un desplazamiento vertical de 0,02 mm. Para efectuar los ensayos se coloca en el vaso una junta tórica. Se vierten en la cavidad 0,025 cm^3 del líquido que se desea ensayar, para lo que es apropiada una jeringa hermética, de 0,5 cm^3, con un trinquete y una cánula de plástico de punta fina. A continuación, se coloca sobre la junta tórica un disco de acero inoxidable, desalojándose así 0,025 cm^3 de aire, y se pone encima del percutor. Se monta el conjunto en la cámara de explosión, con la bola de acero encima del percutor, y se ajusta e inmoviliza la caja. A continuación, se enrosca el tapón, a mano, hasta que quede en contacto con la bola (figura 13.4.3.3). A la cámara que contiene el vaso con la muestra se le aplica una compresión preliminar normal enroscando el tapón hasta la posición inicial de calibración correspondiente a la pareja concreta de vaso y percutor que se utiliza, y apretándolo después en grado equivalente a cierto número de divisiones de la escala circular. El bloque así armado se coloca bajo el martinete, de manera que el punzón (figura 13.4.3.4) descanse por su extremo cóncavo sobre la bola de acero. El procedimiento de ensayo es análogo al que se aplica a las sustancias sólidas, utilizándose la misma escala de Bruceton. Se considera que el resultado es positivo si se oye un ruido más fuerte que el que produce la maza al caer, desde la misma altura, sobre un líquido inerte; o si existe presión remanente en la cámara que contiene la muestra; o si, al desmontar el bloque, se perciben -por la vista o el olfato- productos de descomposición. En caso de resultado negativo, el líquido permanece intacto en la cámara. Después del ensayo, se limpian el vaso y el percutor cuidadosamente, y si presentan señales de deterioro (por lo común, picaduras), se los sustituye por otros, caso en el que debe procederse a efectuar una nueva calibración con el anillo destinado a este fin. En cualquier caso, la junta tórica y el disco de acero inoxidable se sustituyen por otros nuevos después de cada ensayo.

13.4.3.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

13.4.3.4.1 Sólidos

Para evaluar los resultados de la prueba, se tiene en cuenta:

a) Si se ha observado una reacción "positiva" en un ensayo;

b) La determinación de la mediana de las alturas de caída para el explosivo de referencia (ciclonita) y la muestra por el método de Bruceton (véase el apéndice 2);

c) La comparación de la media móvil de la mediana de las alturas de caída del explosivo de referencia (H_1) con la de la muestra (H_2), con arreglo a la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de insensibilidad} = 80 \times H_2/H_1$$

(si $H_2 \geq 200$ cm, se considera entonces que el índice de insensibilidad > 200)

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se somete a prueba, si el índice de insensibilidad es igual o inferior a 80. Se considera que el resultado es negativo si el índice es superior a 80. Si el índice obtenido

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

para la sustancia probada es inferior a 80, puede efectuarse una comparación directa con la ciclonita de referencia, utilizando el método de comparación de muestras (véase el apéndice 2), con 100 operaciones para cada sustancia. Si existe una probabilidad igual o superior al 95% de que la sustancia objeto de la prueba no es más sensible que la ciclonita, se considera que esta sustancia no es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba.

13.4.3.4.2 Líquidos

Para evaluar los resultados de la prueba, se tiene en cuenta:

- si se ha observado una reacción "positiva" en un ensayo; y
- la determinación de la mediana de las alturas de caída para la muestra por el método de Bruceton.

Para los líquidos, la mediana de las alturas de caída se calcula de igual modo que para los sólidos, y se anota directamente el valor obtenido. Respecto de las muestras que no dan resultados positivos con alturas de caída de aproximadamente 125 cm, la mediana se consigna como ">125 cm". Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que el líquido es demasiado peligroso para ser transportado en la forma en que se ha sometido a prueba si, en la misma, reacciona con mayor sensibilidad que el nitrato de isopropilo, lo cual se determina, normalmente, por referencia al valor de la mediana; pero, si la mediana correspondiente a la sustancia ensayada resulta ser inferior a la indicada para el nitrato de isopropilo (14,0 cm), puede hacerse una comparación directa con éste por el método de comparación de muestras, efectuando 100 ensayos con cada sustancia. Si se obtiene un grado de probabilidad de al menos el 95% de que la sustancia ensayada no es más sensible que el nitrato de isopropilo, se considera que aquélla no es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba. Se considera que el resultado es negativo (-) si la mediana de las alturas de caída es igual o superior a la del nitrato de isopropilo.

13.4.3.5 *Ejemplos de resultados*

13.4.3.5.1 Sólidos

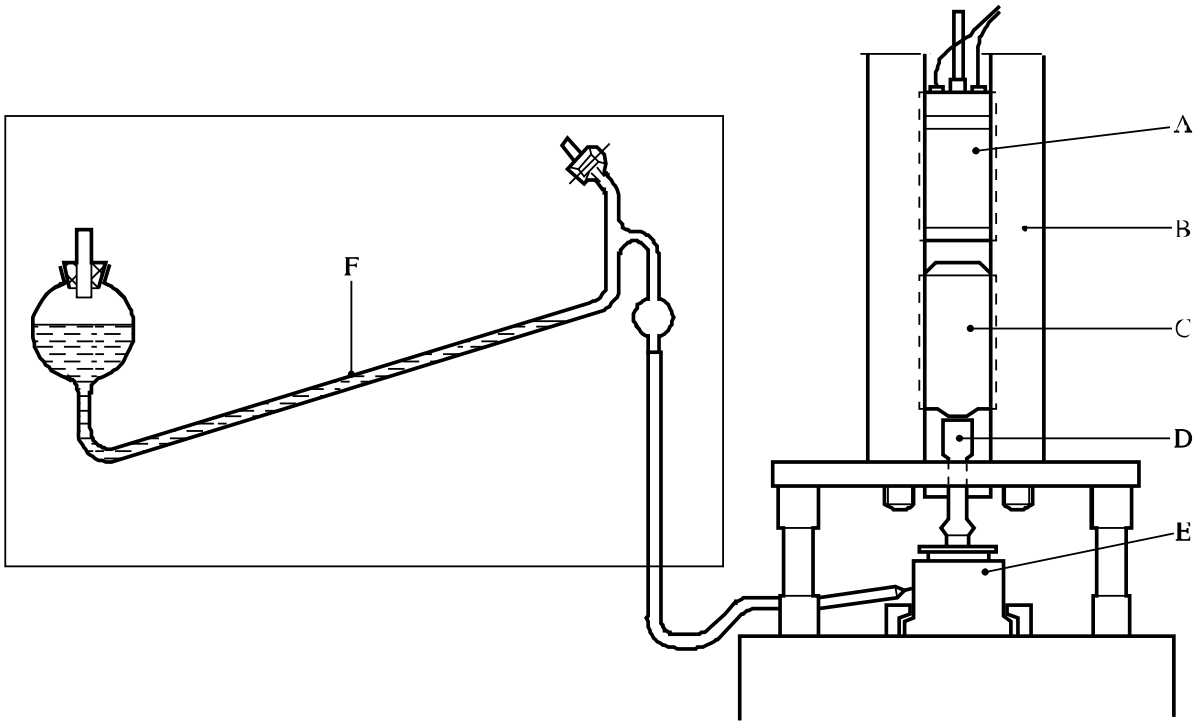
Sustancia	**Índice de sensibilidad**	**Resultado**
Azida de plomo (usos militares)	30	+
Ciclonita	80	+
Cordita	20	+
1,3-Dinitrobenceno	> 200	-
Gelatina explosiva ("Geophex")	15	+
Gelatina explosiva ("Submarine")	15	+
Nitrato de guanidina	> 200	-
Octógeno	60	+
Pentrita	50	+
Pentrita/cera (90/10)	90	-
Tetrilo	90	-
TNT	140	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.3.5.2 Líquidos

Sustancia	**Mediana de alturas (cm)**	**Resultado**
Dinitrato de dietilenglicol	12	+
Dinitrato de trietilenglicol	10	+
1,1- Dinitroetano	21	-
Dinitroetilbenceno	87	-
Mononitrato de dietilenglicol	46	-
Mononitrato de trietilenglicol	64	-
Nitrato de isopropilo	14	+
Nitrobenceno	> 125	-
Nitrometano	62	-
Trinitrato de glicerilo (nitroglicerina)	5	+

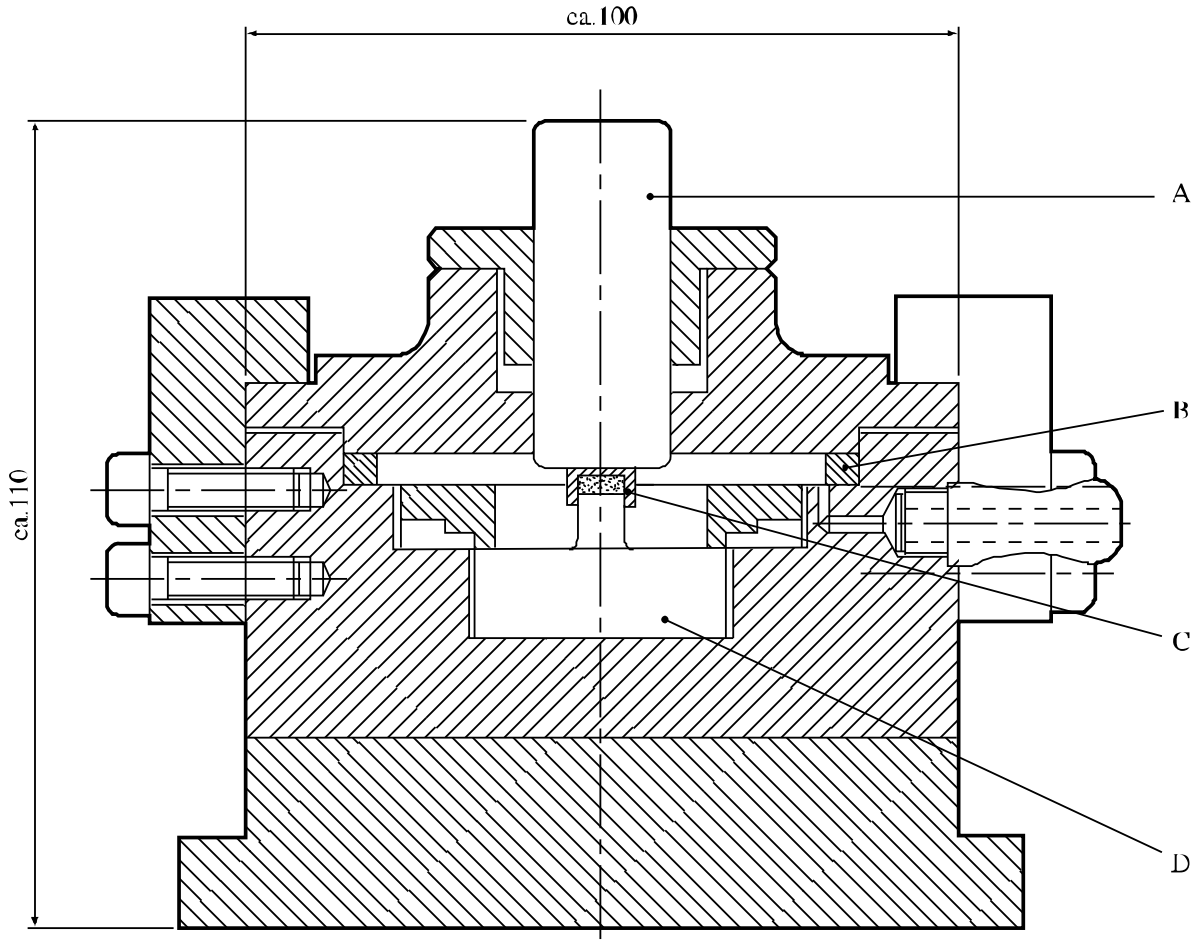
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Imán
(B) Guías tubulares
(C) Maza
(D) Punzón
(E) Cámara de explosión
(F) Manómetro de aceite parafinado teñido

Figura 13.4.3.1: PRUEBA ROTTER

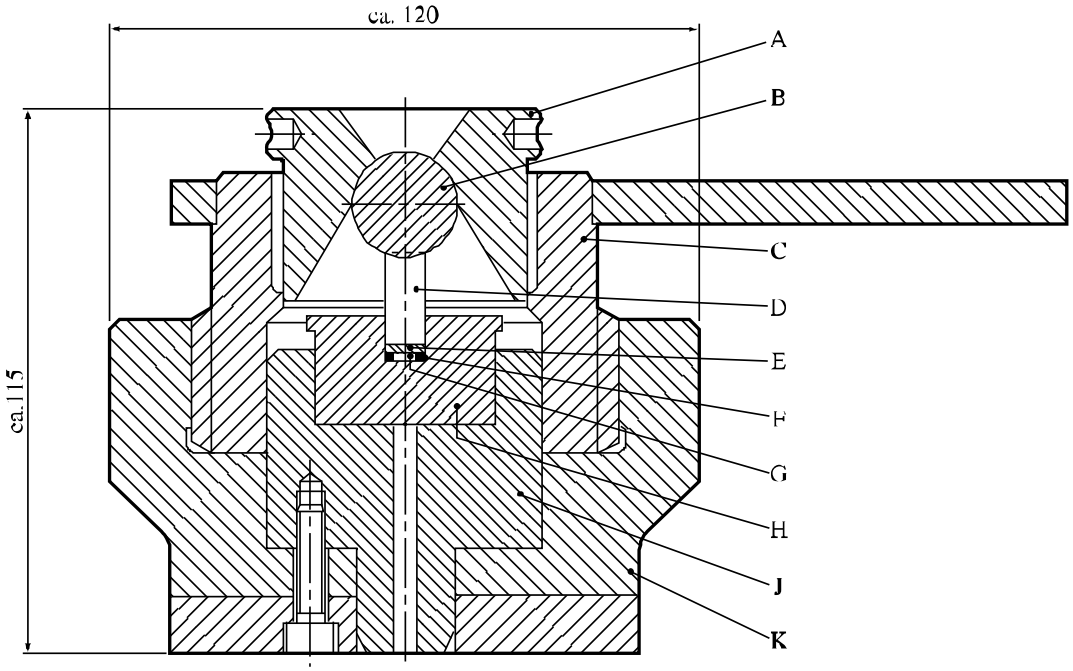
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Percutor
(B)	Anillo obturador
(C)	Cápsula
(D)	Yunque

Figura 13.4.3.2: CÁMARA DE EXPLOSIÓN

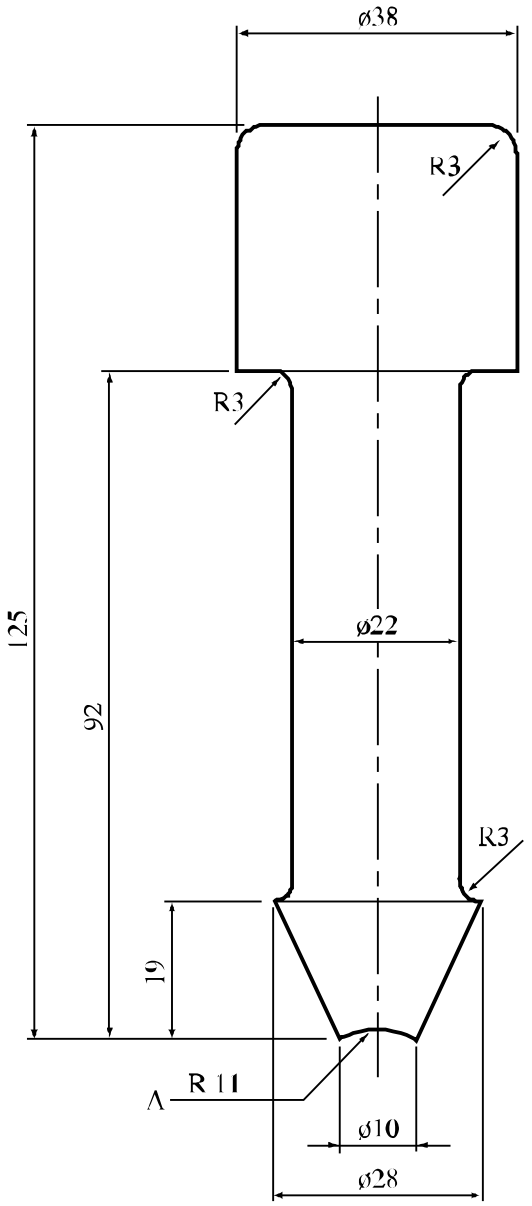
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tapón
(B)	Bola de acero, de 22,2 mm (7/8 pulgadas)
(C)	Parte superior de la caja
(D)	Percutor de acero para herramientas, templado
(E)	Disco de acero inoxidable
(F)	Junta tórica de caucho
(G)	Muestra
(H)	Vaso de acero para herramientas, templado
(J)	Cámara de explosión
(K)	Soporte de la caja

Figura 13.4.3.3: CONJUNTO DE VASO Y PERCUTOR, Y CAJA (PARA LÍQUIDOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Concavidad

Figura 13.4.3.4: PUNZÓN PARA LA PRUEBA DE CHOQUE (PARA LÍQUIDOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.4 *Prueba 3 a) iv): Prueba del martinete de 30 kg*

13.4.4.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de los sólidos y de los líquidos al impacto de una maza y determinar si la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba.

13.4.4.2 *Aparatos y materiales*

Los esquemas del aparato y accesorios de ensayo aparecen en las figuras 13.4.4.1 y 13.4.4.2. La cubeta de acero para muestras (de aproximadamente 0,4 mm de espesor en las paredes) tiene 8 mm de profundidad, 50 mm de ancho y 150 mm de longitud.

13.4.4.3 *Procedimiento*

Se distribuye uniformemente la sustancia, hasta darle un espesor de 8 mm, sobre la cubeta. Se coloca ésta sobre el yunque de manera que la maza haga impacto a 25 mm de uno de los extremos, en un punto situado en el eje de la cubeta (véase la figura 13.4.4.1). Se deja caer la maza partiendo de una altura de 4 m hasta llegar a la altura de 0,25 m, en sucesivas disminuciones de 0,25 m. Se considera que ha habido propagación si se observan efectos explosivos, fundamentalmente una deformación de las paredes de la cubeta a 100 mm de distancia, por lo menos, del punto de impacto. Se efectúan tres ensayos desde cada altura. La altura límite de caída es el punto más alto desde el cual, en cada uno de 3 ensayos, no se produce propagación. Si no hay propagación desde una altura de caída de 4,00 m, la altura límite se expresa con la indicación $\geq$ 4,00 m.

13.4.4.4 *Criterios de prueba y métodos de evaluación de los resultados*

Para evaluar los resultados de la prueba, se tiene en cuenta:

a) Si se ha producido una propagación de la reacción; y

b) La altura límite de caída.

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba si se observa una altura límite de caída inferior a 0,75 m. Se considera que el resultado es negativo (-) si se aprecia una altura límite de caída igual o superior a 0,75 m.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.4.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Altura límite (m)**	**Resultado**
Ciclonita 0 - 100 µm (55% min. ≤ 40 µm)[a]	1,00	-
Ciclonita (tamaño medio, 125 - 200 µm)	2,00	-
Explosivo de minería[d]	≥ 4,00	-
Nitrato de hidrazina (fundido)[c]	0,25	+
Nitroglicerina	0,50	+
Nitroguanidina	≥ 4,00	-
Octógeno 0 - 100 µm (70% min. ≤ 40 µm)[a]	0,50	+
Octógeno 80 - 800 µm (50% min. ≥ 315 µm)[a], [b]	1,75	-
Pentrita fina (40% min. ≤ 40 µm)[a]	0,50	+
Perclorato amónico	≥ 4,00	-
TNT (copos)[e]	≥ 4,00	-
TNT (moldeado)	≥ 4,00	-

[a] *Recristalizado a partir de la ciclohexanona.*

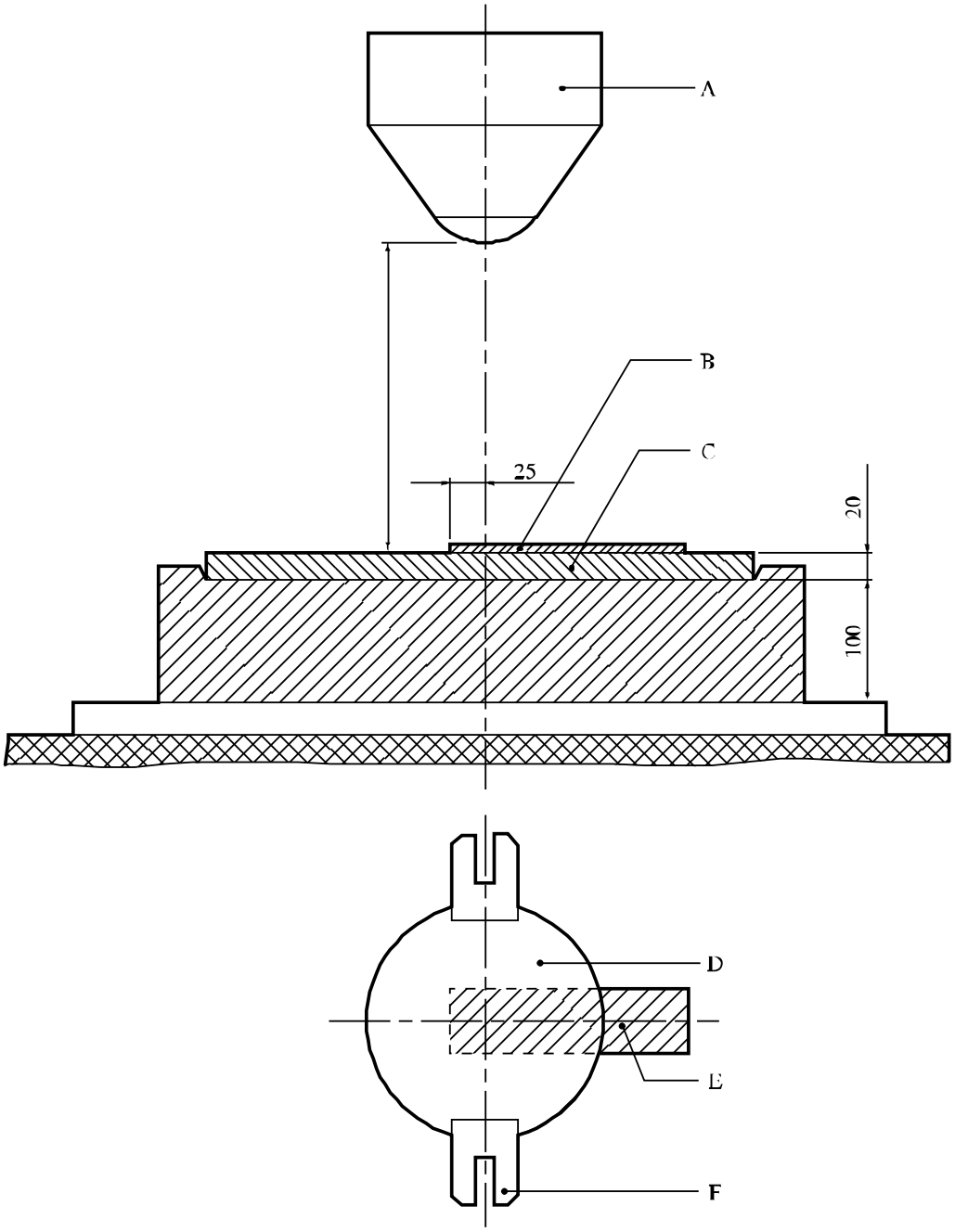
[b] *Proporción de ciclonita: máx. 3%.*

[c] *60 - 80ºC.*

[d] *A base de NA; pentolita 11, 5% y Al 8,5%.*

[e] *Punto de fusión ≥ 80,1ºC.*

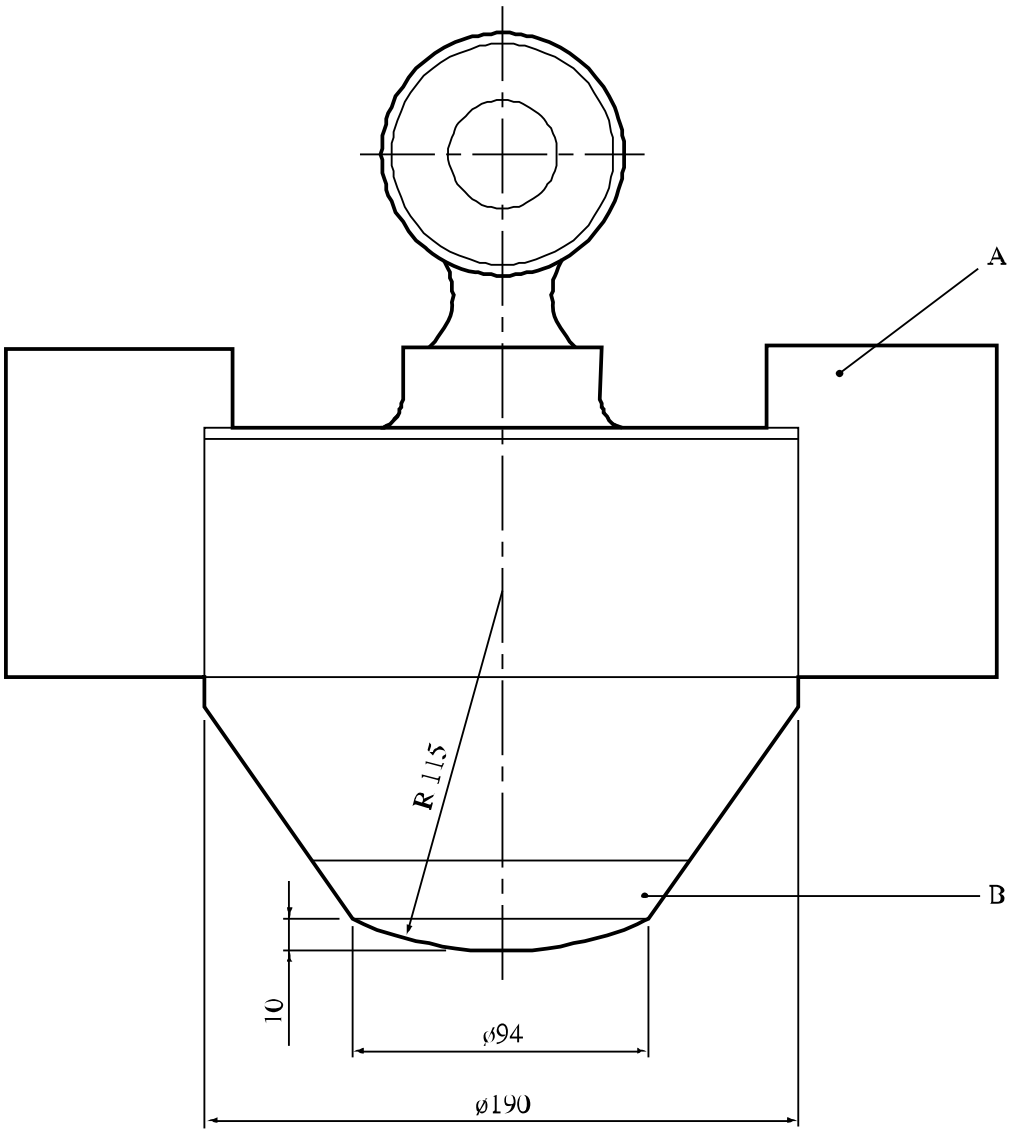
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Maza de 30 kg	(B)	Muestra
(C)	Yunque desmontable	(D)	Maza de 30 kg
(E)	Muestra	(F)	Orejeta de guía

Figura 13.4.4.1: PRUEBA DEL MARTINETE DE 30 KG

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Orejeta de guía
(B) Cabeza de percusión, desmontable

Figura 13.4.4.2: MAZA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.5 *Prueba 3 a) v): Prueba del martinete tipo 12 modificado*

13.4.5.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de las sustancias al impacto de una maza y determinar si una sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba. Se aplica a las sustancias sólidas y líquidas, utilizándose dos portamuestras diferentes.

13.4.5.2 *Aparatos y materiales*

Son necesarios los aparatos y materiales siguientes:

a) Un martinete con tres guías capaz de dejar caer una maza de 1,0, 1,5, 1,8, 2,0, 2,5, ó 5,0 kg desde una altura de hasta 3,0 m sobre una maza interpuesta colocada sobre la muestra, la cual está depositada encima de un yunque. Se utilizan las siguientes combinaciones de mazas de caída y mazas interpuestas:

i) maza interpuesta de 1,5 kg con mazas de caída de 1,0, 1,5, 1,8 ó 2,0 kg;

ii) maza interpuesta de 2,0 kg con mazas de caída de 1,0 ó 2,0 kg; y

iii) maza interpuesta de 2,5 kg con mazas de caída de 2,5 ó 5,0 kg;

b) Un dispositivo de percusión (martinete tipo 12 modificado) consistente en un yunque (superficie de impacto de 32 mm de diámetro) y una guía para la maza interpuesta;

c) Papel abrasivo de polvo de granate, cortado en cuadrados de 25 ± 2 mm de lado;

d) Una balanza con una precisión de ± 1mg;

e) Cápsulas de latón de 10,0 mm de diámetro, 4,8 mm de altura y 0,5 mm de espesor de pared;

f) Discos de acero inoxidable de 8,4 mm de diámetro y 0,4 mm de espesor;

g) Juntas tóricas, de neopreno, de 8,4 mm de diámetro y 1,3 mm de espesor;

h) Una jeringa de 50 µl;

i) Una microespátula.

13.4.5.3 *Procedimiento*

13.4.5.3.1 Sólidos

Se eleva la maza interpuesta. Se coloca una cantidad de 30 ± 5 mg de la muestra en un montoncillo no compacto en el centro del yunque (para las sustancias menos sensibles, se depositan 30 ± 5 mg de la muestra sobre un cuadrado de papel abrasivo que, a su vez, se coloca sobre el yunque). Se hace descender suavemente la maza interpuesta hasta que haga contacto con la sustancia. Se eleva la maza de caída hasta 36,0 cm (altura intermedia en la serie logarítmica de alturas de caída) y se la deja caer sobre la maza interpuesta. Seguidamente, se levanta esta última. Se considera que el resultado es positivo si se produce una reacción en la muestra, caracterizada por un estampido audible, por la producción de humo u olor, o por apreciarse un signo visible de inflamación. Se anota a continuación el tipo de reacción observado y, seguidamente, se limpian las superficies con un trapo. Se determina la altura de caída inicial para aplicar el método de Bruceton (véase el apéndice 2) mediante la interpolación entre las dos alturas de caída más cercanas que hayan dado, respectivamente, unos resultados positivos y negativos hasta que éstos se produzcan a unos niveles contiguos. Se efectúan entonces 25 ensayos, seleccionando las alturas de caída por

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

el método de Bruceton aplicando un intervalo logarítmico de 0,093 de base 10; las alturas de caída resultantes son las siguientes: 6,5, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 29, 36, 45, 55, 69, 85, 105, 131, 162 y 200 cm. La mediana de las alturas se calcula a partir de los resultados obtenidos mediante el procedimiento descrito en el apéndice 2. La combinación de una maza de caída de 1,8 kg con una maza interpuesta de 1,5 kg, sin utilizar el papel abrasivo, ha resultado ser la óptima para determinar si las sustancias tienen una sensibilidad más o menos parecida a la de la ciclonita.

13.4.5.3.2 Líquidos

Se introduce una junta tórica dentro de una cápsula y se comprime hasta el fondo. Se depositan 25 µl[2] de la muestra dentro de la cápsula por medio de una jeringa. Se dispone un disco de acero inoxidable sobre la junta tórica. Se eleva la maza interpuesta y se coloca la cápsula portamuestras sobre el yunque. Se hace descender suavemente la maza interpuesta hasta que encaje en la cápsula y comprime la junta tórica. Se eleva la maza de caída y se la deja caer sobre la maza interpuesta. Seguidamente, se levanta esta última. Se considera que el resultado es positivo si se produce una reacción en la muestra, caracterizada por un estampido audible, por la producción de humo u olor o por apreciarse un signo visible de inflamación. Se anota a continuación el tipo de reacción observado. Se determina la altura inicial mediante el procedimiento descrito en el párrafo 13.4.5.3.1. Se efectúan 25 ensayos y se calcula la mediana de las alturas utilizando el procedimiento descrito en el apéndice 2. La combinación de una maza de caída de 1,0 kg con una maza interpuesta de 1,5 kg (diseñada para las pruebas con líquidos) ha resultado ser la óptima para determinar si las sustancias tienen una sensibilidad más o menos parecida a la del nitrato de isopropilo.

13.4.5.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

13.4.5.4.1 Para evaluar los resultados de la prueba, se tiene en cuenta:

a) Si se ha observado una reacción positiva en un ensayo;

b) La determinación de la mediana de las alturas de caída (H_{50}) para la muestra por el método de Bruceton.

Los detalles del método estadístico utilizado para determinar H_{50} y la desviación tipo figuran en el apéndice 2.

13.4.5.4.2 Sólidos

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a la prueba si la mediana de las alturas de caída (H_{50}) es inferior o igual a la de la ciclonita seca. Se considera que el resultado es negativo (-) si la mediana de las alturas de caída (H_{50}) es superior a la de la ciclonita seca.

13.4.5.4.3 Líquidos

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a la prueba si la mediana de las alturas de caída (H_{50}) es inferior a la del nitrato de isopropilo. Se considera que el resultado es negativo (-) si la mediana de las alturas de caída (H_{50}) es igual o superior a la del nitrato de isopropilo.

[2] *La relación entre el volumen de la muestra y la sensibilidad del líquido es una función específica del líquido. El volumen seleccionado en este procedimiento es suficiente para determinar la sensibilidad relativa. Deberá determinarse la relación entre la sensibilidad y el volumen de la muestra cuando se requiera más información sobre la sustancia*.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.5.5 *Ejemplos de resultados*

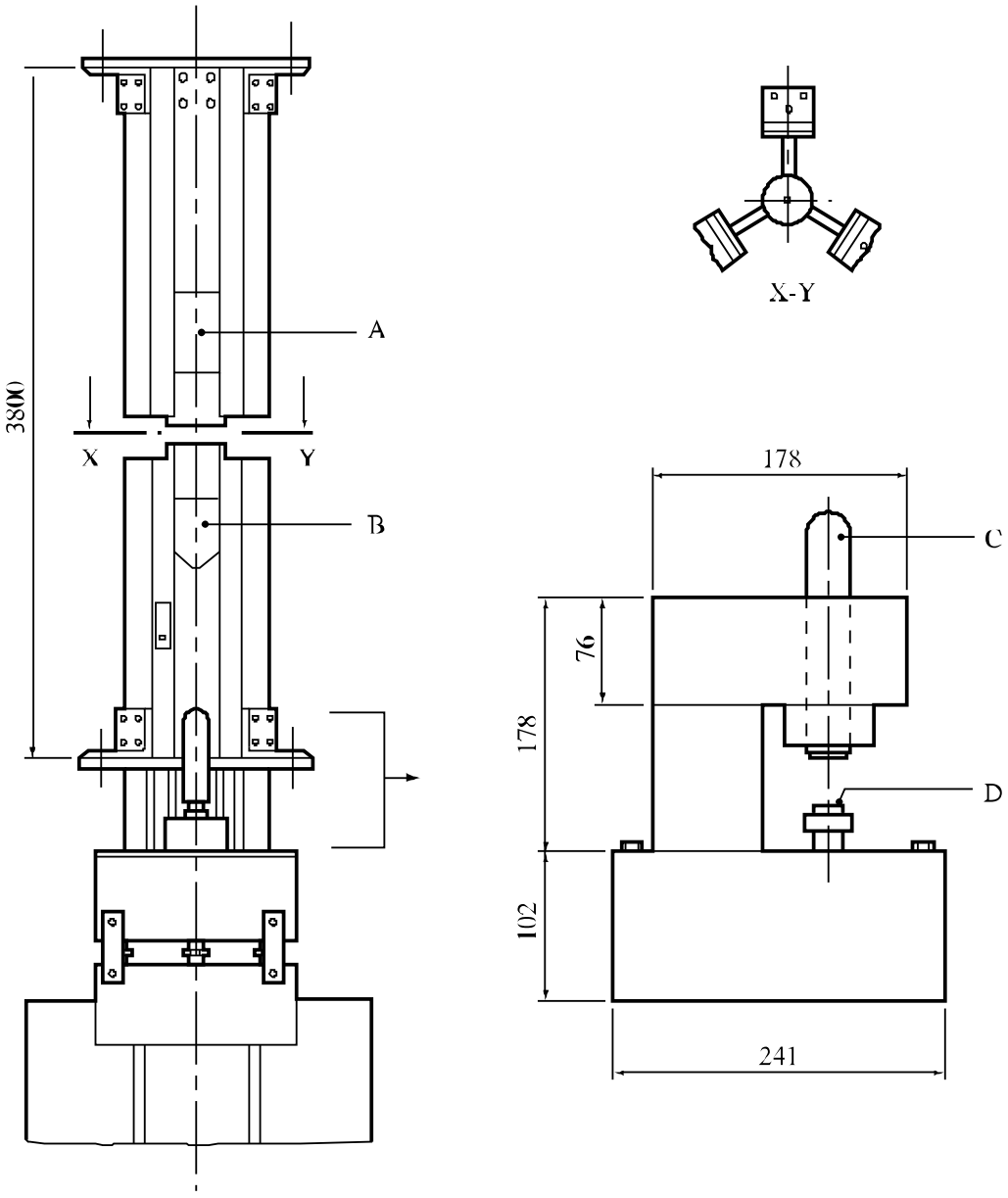
13.4.5.5.1 Sólidos

Sustancia	**Mediana de las alturas (cm)**	**Resultado**
Maza de caída de 1,8 kg, maza interpuesta de 1,5 kg, sin papel abrasivo		
Ciclonita/agua (75/25)	> 200	-
Ciclonita (calidad 1)	38	+
Pentrita (superfina)	15	+
Tetrilo	> 200	-
TNT (malla 200)	> 200	-
Maza de caída de 2,5 kg, maza interpuesta de 2,5 kg, con papel abrasivo		
Ciclonita (cal.767)	12	+
Pentrita (superfina)	5	+
Tetrilo	13	-
TNT (malla 200)	25	-

13.4.5.5.2 Líquidos

Sustancia	**Mediana de las alturas (cm)**	**Resultado**
Maza de caída de 1,0 kg, maza interpuesta de 2,0 kg		
Nitrato de isopropilo (99%, punto de ebullición, 101-102ºC)	18	-
Nitrometano	26	-
TEGDN	14	+
TMETN	10	+
TEGDN/TMETN (50/50)	13	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Electroimán
(B)	Maza de caída libre (ej.: 2,5 kg)
(C)	Maza interpuesta (ej.: 2,5 kg, 32 mm de diámetro)
(D)	Yunque (diámetro de la superficie de choque: 32 mm)

Figura 13.4.5.1: MARTINETE TIPO 12 MODIFICADO
(Vista de conjunto, vista superior y vista lateral ampliada)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.6 *Prueba 3 a) vi): Prueba de sensibilidad al impacto*

13.4.6.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de la sustancia al impacto de una maza y determinar si es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a la prueba. Es aplicable a las sustancias sólidas y líquidas, utilizándose dos portamuestras diferentes.

13.4.6.2 *Aparatos y materiales*

13.4.6.2.1 En la figura 13.4.6.1 se representa un diagrama del aparato de impacto. Consta de los siguientes elementos:

a) Un yunque de acero sin costura;

b) Dos guías paralelas verticales entre las que se desliza la maza;

c) Una maza de acero (10 kg) con trinquete; la cabeza de la maza es de acero templado (dureza Rockwell C: 60-63);

d) Un dispositivo de retención y caída;

e) Una cremallera que impide el rebote de la maza;

f) Una regla graduada en milímetros.

13.4.6.2.2 La muestra se coloca en el dispositivo de rodillos N° 2 (sólidos) o N° 3 (líquidos). Las dimensiones y especificaciones de estos dispositivos se indican en las figuras 13.4.6.2 y 13.4.6.3. También se necesita el siguiente material:

a) Una balanza de laboratorio con una precisión de 0,005 g;

b) Una prensa hidráulica que proporcione una presión de compresión de 290 MPa; y

c) Un explosivo tipo: tetrilo en cristales de 0,200 a 0,270 mm, obtenido mediante la recristalización de la acetona.

13.4.6.3 *Procedimiento*

13.4.6.3.1 Sólidos

13.4.6.3.1.1 Por regla general las sustancias se someten a prueba en el estado en que se han recibido. Las sustancias humidificadas deben someterse a prueba con la cantidad mínima de agente humectante prevista para el transporte. Según su estado físico, las sustancias deben someterse a los siguientes procedimientos:

a) Las sustancias en gránulos o copos, prensadas, moldeadas y similares se trituran y se criban; las partículas deben pasar por una malla de 0,9 a 1,00 mm;

b) Las sustancias elásticas se pican con un cuchillo afilado sobre una superficie de madera en fragmentos de tamaño no superior a 1 mm; estas sustancias no se criban; y

c) Las muestras de explosivos plásticos y en polvo no se trituran ni criban.

Los dispositivos de rodillos se desengrasan con acetona o alcohol etílico. En los aparatos preparados para la prueba no debe haber una holgura de más de 0,02 a 0,03 mm entre los manguitos y los rodillos. Los elementos pueden reutilizarse si siguen ajustándose a las especificaciones.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.6.3.1.2 Para determinar el límite inferior de sensibilidad del explosivo que se someta a prueba, se coloca una muestra con una masa de 100 ± 5 mg, sobre la superficie superior del rodillo del dispositivo N° 2. El manguito debe alinearse con la dirección de la ranura hacia abajo. El segundo rodillo se coloca sobre la muestra y el rodillo superior se utiliza para igualar la sustancia mediante presión y rotación. El portamuestra se coloca sobre el platillo de la prensa hidráulica, que lo somete a una presión de 290 MPa. Para los explosivos de plástico, goma o pasta, la presión se elige de antemano de manera que el explosivo no sea prensado hasta el punto de salirse de la superficie de los rodillos. Los explosivos humidificados no se comprimen. A continuación, se da vueltas al manguito, con los rodillos y el explosivo, sobre una bandeja y se coloca contra los rodillos hasta el tope. De este modo el explosivo queda en contacto con la ranura del manguito. Seguidamente, se coloca el portamuestra sobre el yunque. Se deja caer la maza (10 kg) y ésta impacta la muestra.

13.4.6.3.1.3 Para una sustancia explosiva el límite inferior de sensibilidad al impacto se define como la altura máxima de caída de la maza de 10 kg que no da resultados positivos en 25 ensayos. La altura de caída se elige entre los siguientes valores: 50, 70, 100, 120, 150, 200, 250, 300, 400 y 500 mm. Los ensayos se inician con una altura de caída de 150 mm. Se considera como reacción positiva un ruido de detonación, un fogonazo o huellas de quemadura sobre los rodillos y el manguito. La decoloración de la muestra no se considera como signo de explosión. Si se obtienen resultados positivos a esta altura, el ensayo se repite a la altura inmediatamente inferior. En cambio, cuando se obtienen resultados negativos, se utiliza la altura de caída inmediatamente superior. Así, pues, la altura máxima de caída para una maza de 10 kg se obtiene cuando no se registra una reacción positiva en 25 ensayos. Si, a una altura de 50 mm, se obtienen resultados positivos en 25 ensayos, se establece que el límite inferior de sensibilidad al impacto del explosivo ensayado en el dispositivo de rodillos N° 2 es inferior a 50 mm. Si no se produce ninguna reacción positiva en 25 ensayos para una altura de caída de 500 mm, se establece que el límite inferior de sensibilidad al impacto del explosivo ensayado en el dispositivo de rodillos N° 2 es igual o superior a 500 mm.

13.4.6.3.2 Líquidos

13.4.6.3.2.1 Los dispositivos de rodillos N° 3 se desengrasan con acetona o alcohol etílico. Suelen prepararse de 35 a 40 dispositivos. No debe haber una holgura de más de 0,02 a 0,03 mm entre los manguitos y los rodillos.

13.4.6.3.2.2 Para determinar el límite inferior de sensibilidad, la sustancia líquida se coloca en la cápsula mediante un cuentagotas o una pipeta. La cápsula se coloca en el centro del rodillo inferior y se llena completamente de la sustancia líquida. El segundo rodillo se coloca cuidadosamente sobre la cápsula que contiene el líquido y todo el dispositivo se coloca sobre el yunque del aparato y se deja caer la maza de acero. Se anota el resultado.

13.4.6.3.2.3 El límite inferior de sensibilidad al impacto de una sustancia explosiva se define como la altura máxima de caída de la maza de 10 kg que no da resultados positivos en 25 ensayos. La altura de caída se elige entre los siguientes valores: 50, 70, 100, 120, 150, 200, 250, 300, 400 y 500 mm. Los ensayos se inician con una altura de caída de 150 mm. Si se obtienen resultados positivos a esta altura, el ensayo se repite a la altura inmediatamente inferior. En cambio, cuando se obtienen resultados negativos, se utiliza la altura de caída inmediatamente superior. Así, pues, la altura máxima de caída para una maza de 10 kg se obtiene cuando no se registra una reacción positiva en 25 ensayos. Si, a una altura de 50 mm, se obtiene uno o más resultados positivos en 25 ensayos, se establece que el límite inferior de sensibilidad al impacto del explosivo ensayado con el dispositivo de rodillos N° 3 es inferior a 50 mm. Si no se produce ninguna reacción positiva en 25 ensayos para una altura de caída de 500 mm, se establece que el límite inferior de sensibilidad al impacto del explosivo ensayado con el dispositivo de rodillos N° 3 es igual o superior a 500 mm.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.6.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

13.4.6.4.1 Sólidos

Para evaluar los resultados, se tiene en cuenta:

a) Si se han obtenido uno o varios resultados positivos en 25 ensayos a determinada altura; y

b) La altura más baja a la que se ha obtenido un resultado positivo.

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a la prueba, si la altura más baja a la que se ha obtenido un resultado positivo con el dispositivo de rodillos N° 2 es inferior a 100 mm. Se considera que el resultado es negativo (-) si la altura más baja a la que se ha obtenido un resultado positivo con el dispositivo de rodillos N° 2 es igual o superior a 100 mm.

13.4.6.4.2 Líquidos

Para evaluar los resultados, se tiene en cuenta:

a) Si se han obtenido uno o varios resultados positivos en 25 ensayos a determinada altura; y

b) La altura más baja a la que se ha obtenido un resultado positivo.

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a la prueba, si la altura más baja a la que se ha obtenido un resultado positivo con el dispositivo de rodillos N° 3 es inferior a 100 mm. Se considera que el resultado es negativo (-) si la altura más baja a la que se ha obtenido un resultado positivo con el dispositivo de rodillos N° 3 es igual o superior a 100 mm.

13.4.6.5 *Ejemplos de resultados*

13.4.6.5.1 Sólidos

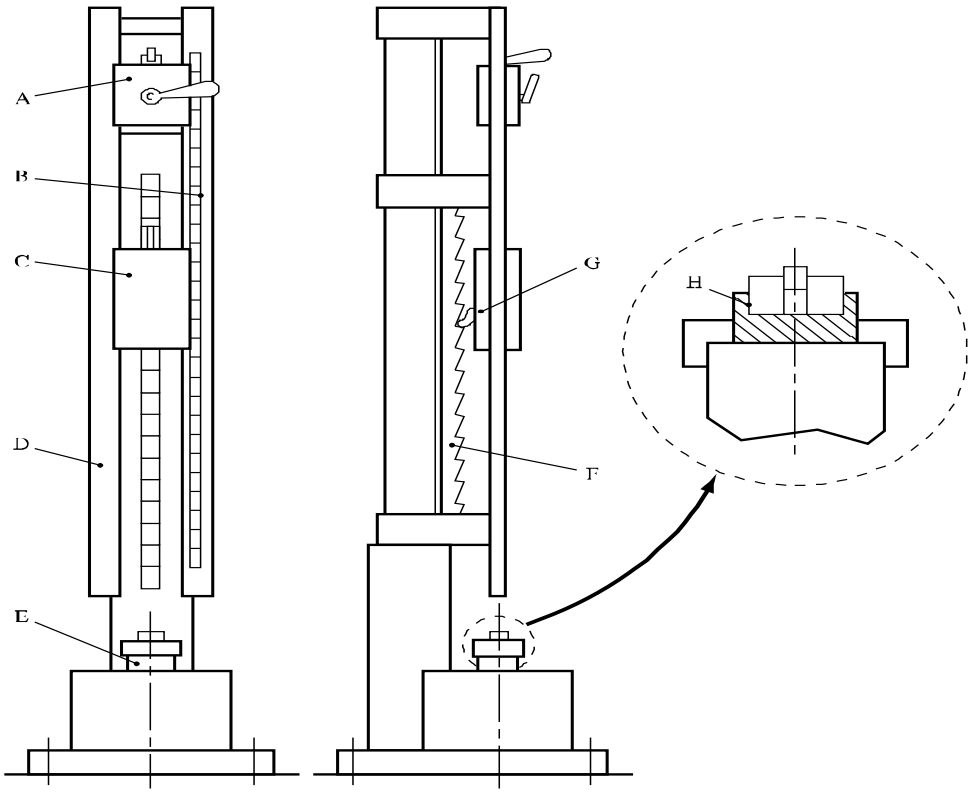
Sustancia	**Límite inferior en el dispositivo Nº 2 (mm)**	**Resultado**
Ácido pícrico	> 500	-
Amonal (80,5% de nitrato amónico, 15% de trotilo y 4,5% de aluminio)	150	-
Amonal detonante (66% de nitrato amónico, 24% de hexógeno y 5% de aluminio)	120	-
Amonita 6ZhV (79% de nitrato amónico, 21% de trotilo)	200	-
Amonita T-19 (61% de nitrato amónico, 19% de trotilo, 20% de cloruro de sodio)	300	-
Ciclotrimetilentrinitramina (seca)	70	+
Ciclotrimetilentrinitramina/cera (95/5)	120	-
Ciclotrimetilentrinitramina/agua (85/15)	150	-
Granulita AS-8 (91,8% de nitrato amónico, 4,2% de fueloil, 4% de aluminio)	> 500	-
Tetranitrato de pentaeritritol (seco)	50	+
Tetranitrato de pentaeritritol/parafina (95/5)	70	+
Tetranitrato de pentaeritritol/parafina (90/10)	100	-
Tetranitrato de pentaeritritol/agua (75/25)	100	-
Tetrilo	100	-
Trinitrotolueno	> 500	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.4.6.5.2 Líquidos

Sustancia	**Límite inferior en el dispositivo Nº 3 (mm)**	**Resultado**
Di-(2,2-dinitro-2-fluoro-etil)formal y cloruro de metileno (65/35)	400	-
Nitrato de isopropilo	> 500	-
Nitroglicerina	< 50	+
Nitrometano	> 500	-

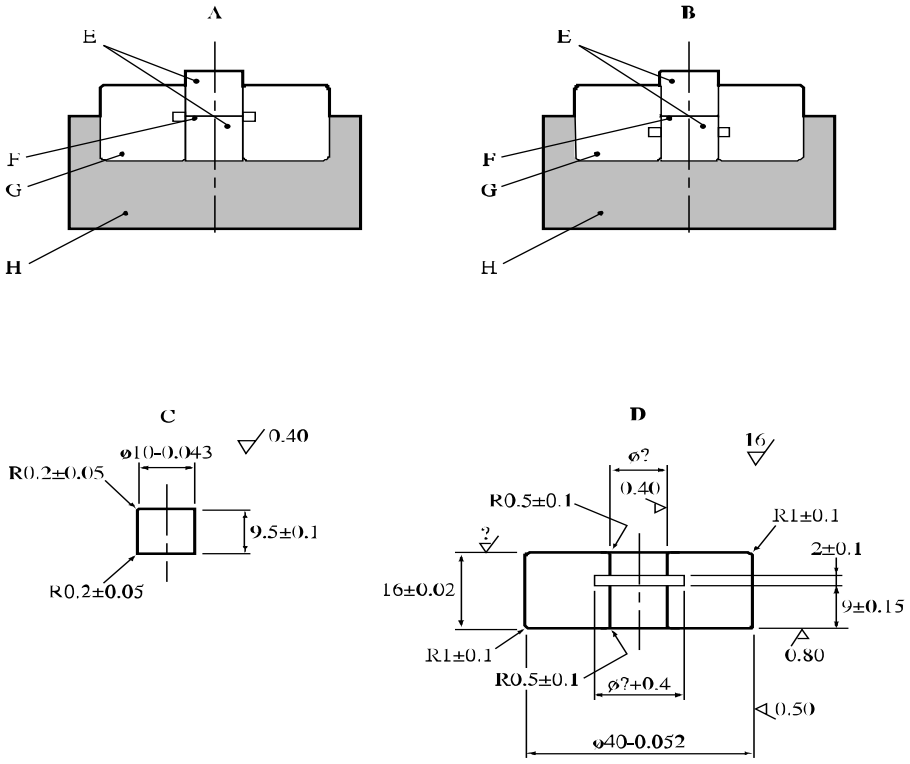
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Dispositivo de retención y caída	(B)	Escala graduada
(C)	Maza	(D)	Guía
(E)	Yunque	(F)	Cremallera
(G)	Trinquete de rebote	(H)	Vista ampliada del dispositivo de rodillos

Figura 13.4.6.1: APARATO DE IMPACTO

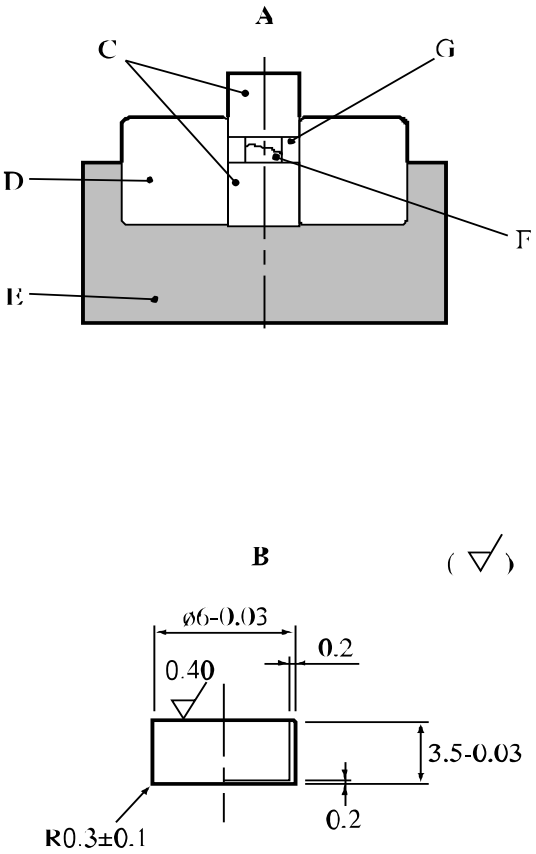
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Manguito con la ranura hacia arriba	(B)	Manguito con la ranura hacia abajo
(C)	Rodillo con cojinete de bolas, de acero (dureza HCR 63-66)	(D)	Manguito de acero al carbono (dureza HCR 57-61)
(E)	Rodillos	(F)	Muestra
(G)	Manguito	(H)	Bandeja

Figura 13.4.6.2: DISPOSITIVO DE RODILLOS N° 2

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Dispositivo de rodillos N° 3
(B)	Cápsula de cobre niquelado (M2) en 3 µm
(C)	Rodillos
(D)	Manguito
(E)	Bandeja
(F)	Muestra
(G)	Cápsula

Figura 13.4.6.3: DISPOSITIVO DE RODILLOS N° 3

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.5 Serie 3, tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

13.5.1 *Prueba 3 b) i): Prueba de la máquina de fricción BAM*

13.5.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de la sustancia a la fricción y determinar si la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba.

13.5.1.2 *Aparatos y materiales*

13.5.1.2.1 La máquina de fricción (véase la figura 13.5.1.1) consiste en una bancada de acero colado sobre la que va montado el mecanismo de frotamiento propiamente dicho, constituido por una pequeña espiga fija, de porcelana, y una placa móvil, también de porcelana (véase el párrafo 13.5.1.2.2). Dicha placa va fija a un carro que se desplaza entre dos guías, y que se articula con un motor eléctrico mediante una biela, una leva excéntrica y un juego de engranajes, de manera que la placa efectúa un solo movimiento de vaivén bajo la espiga, con un desplazamiento de 10 mm. El bloque de carga va montado sobre un eje que permite hacerlo girar para cambiar la espiga de porcelana, y lleva acoplado en su extremo un brazo o astil con 6 muescas de las que, en cada caso, se suspenderá una pesa. La posición de carga nula se regula mediante un contrapeso. Una vez que se ha hecho descender el bloque, acercándolo a la placa de porcelana, el eje longitudinal de la espiga queda en posición perpendicular a aquélla. Se utilizan pesas de distinta magnitud, hasta un máximo de 10 kg. La distancia de las muescas del astil al eje de la espiga es, respectivamente, de 11, 16, 21, 26, 31 y 36 cm. Para efectuar la prueba, se suspende una pesa de una de las muescas con auxilio de una anilla y un gancho. Según sea la magnitud de la pesa y la posición de la muesca elegida, la espiga experimentará fuerzas de 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240 y 360 N. En caso necesario, pueden aplicarse fuerzas intermedias.

13.5.1.2.2 Antes del ensayo, la placa frotadora, que es de porcelana técnica blanca, se restriega bien por ambos lados con una esponja hasta que las dos caras estén rugosas, y de manera que las marcas de la esponja sean claramente visibles (asperezas de 9 a 32 micrones). La espiga, que tiene forma de cilindro, es también de porcelana técnica blanca, y sus extremos, de superficie rugosa, son convexos. En la figura 13.5.1.2 se indican las dimensiones de la placa y de la espiga.

13.5.1.3 *Procedimiento*

13.5.1.3.1 Por regla general, las sustancias se someten a prueba en la misma forma en que se han recibido. Las sustancias humidificadas han de someterse a prueba con la proporción mínima de agente humectante que se les agregue para el transporte. Por otra parte, en lo que se refiere a las sustancias sólidas -no las de tipo pastoso ni los geles- deben tenerse en cuenta los extremos siguientes:

a) Las sustancias en polvo se tamizan (malla de 0,5 mm), utilizándose en la prueba todas las partículas que pasen por el tamiz[3];

b) Las sustancias que hayan sido comprimidas, moldeadas o compactadas de alguna otra manera se fragmentan en trozos pequeños y se tamizan, utilizándose en la prueba todas las partículas que pasen por la malla de 0,5 mm[3];

c) Las sustancias que sólo se transportan en forma de cargas se ensayan en discos de 10 mm^3 (diámetro mínimo, 4 mm).

Cada una de las distintas partes de la superficie de la placa y de la espiga no deben utilizarse más de una vez; los dos extremos de cada espiga sirven para dos ensayos, y con cada una de las dos superficies de frotamiento de la placa pueden efectuarse tres.

[3] *En el caso de las sustancias en cuya composición entre más de un componente, la muestra resultante del tamizado debe ser representativa de la sustancia original*.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.5.1.3.2 La placa de porcelana se fija al carro de la máquina de tal manera que los surcos abiertos por la esponja sean transversales a la dirección del movimiento. Cuando se trate de ensayar sustancias en polvo, la muestra, de aproximadamente 10 mm^3, se recoge con una medida cilíndrica (2,3 mm de diámetro × 2,4 mm); mientras que, en el caso de las pastas o los geles, se utiliza un calibre rectangular de 0,5 mm de espesor, en el que existe una mirilla de 2 × 10 mm que se llena con la sustancia que se desea someter a prueba, tras lo cual se retira el calibre con cuidado. Seguidamente, se aprieta bien la espiga y se la sitúa sobre la muestra en la posición que se indica en la figura 13.5.1.2; se coloca en el brazo de carga la pesa correspondiente, y se acciona el interruptor. Debe ponerse cuidado en que la espiga esté en contacto con la muestra y en que haya suficiente cantidad de sustancia bajo ella, cuando la placa se desplace frente a la espiga.

13.5.1.3.3 Se inicia la serie de ensayos efectuando uno con una fuerza de 360 N. En la interpretación de los resultados de la prueba se distinguen los supuestos siguientes: "ninguna reacción:, "descomposición" (cambio de color, olor) y "explosión" (estallido, crepitación, chispas o inflamación). Si se obtiene en el primer ensayo el resultado "explosión", se prosigue la serie de ensayos aplicando fuerzas progresivamente más bajas, hasta que se observe el resultado de "descomposición" o "ninguna reacción". Si no se ha producido "explosión", se repite el experimento con la misma fuerza de frotamiento, hasta totalizar seis ensayos. En caso contrario, se reduce gradualmente dicha fuerza hasta que se determina la fuerza más baja con la que no se produce "explosión" en seis ensayos. Si se ha obtenido el resultado de "descomposición" o "ninguna reacción" en el primer ensayo, a 360 N, se realizan hasta cinco nuevos ensayos. Si en los seis ensayos con la fuerza máxima se obtiene el resultado de "descomposición" o "ninguna reacción", se considera que la sustancia es insensible a la fricción. Si se obtiene el resultado de "explosión", se reduce la fuerza como se indica más arriba. La fuerza límite se define como la fuerza más baja a la que se obtiene el resultado de "explosión" en uno, por lo menos, de seis ensayos.

13.5.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Para evaluar los resultados, se tiene en cuenta:

a) Si se produce una "explosión" en por lo menos uno de cada seis ensayos realizados con determinada fuerza de fricción;

b) La fuerza de fricción más baja en la que se ha producido por lo menos una "explosión" en seis ensayos.

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a la prueba, si la fuerza de fricción más baja en la que se ha producido una "explosión" en seis ensayos es inferior a 80 N. De lo contrario, el resultado de la prueba se considera negativo (-).

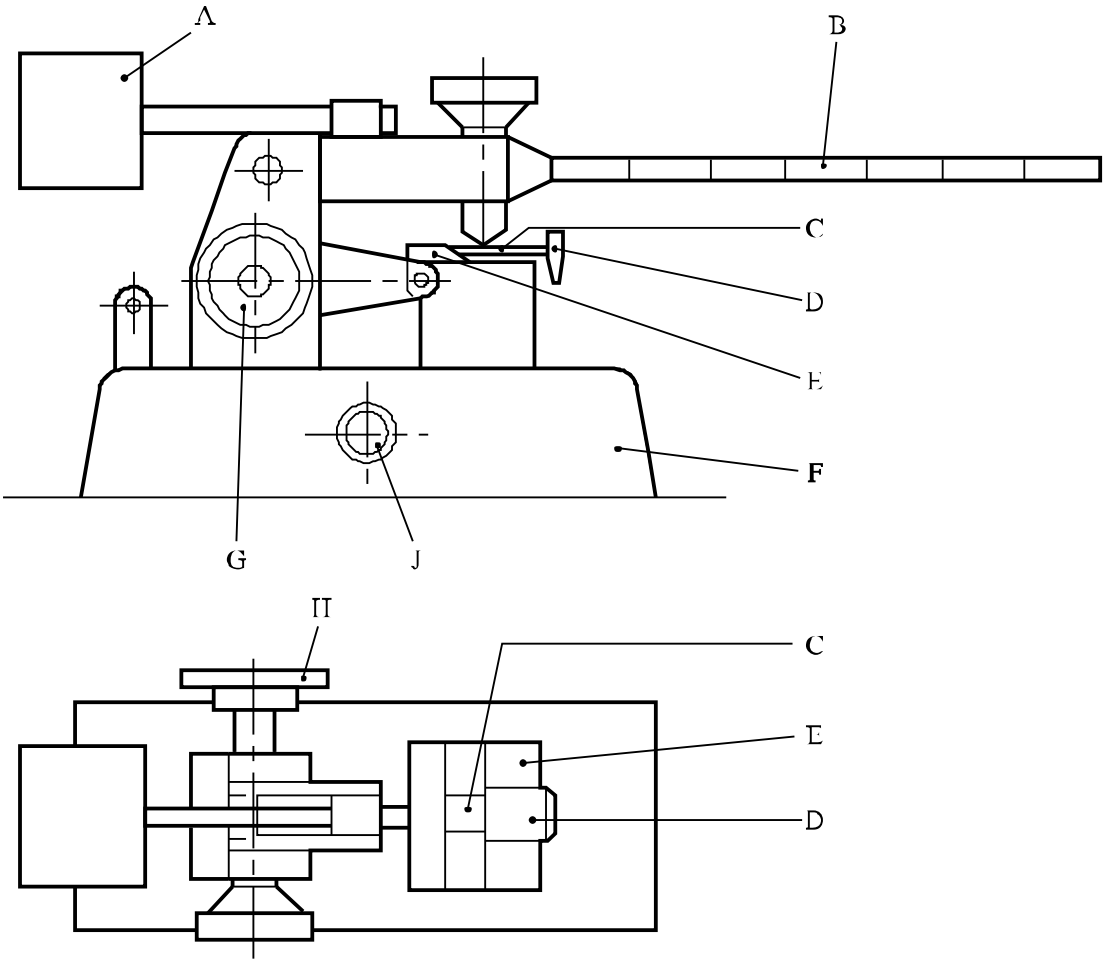
13.5.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Fuerza límite (N)**	**Resultado**
Ácido pícrico (seco)	360	-
Azida de plomo (seca)	10	+
Ciclonita (seca)	120	-
Ciclonita (humidificada con agua)	160	-
Estifnato de plomo	2	+
Fulminato de mercurio (seco)	10	+
Gelatina detonante (75%, NG)	80	-
Hexanitroestilbeno	240	-
Nitrocelulosa, 13,4% de N (seca)	240	-
Octógeno	80	-
Octol, 70/30 (seco)	240	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Sustancia	**Fuerza límite (N)**	**Resultado**
Pentrita (seca)	60	+
Pentrita/cera (95/5)	60	+
Pentrita/cera (93/7)	80	-
Pentrita/cera (90/10)	120	-
Pentrita/agua (75/25)	160	-
Pentrita/lactosa (85/15)	60	+
Perclorato de hidracina (seco)	10	+
TNT	360	-

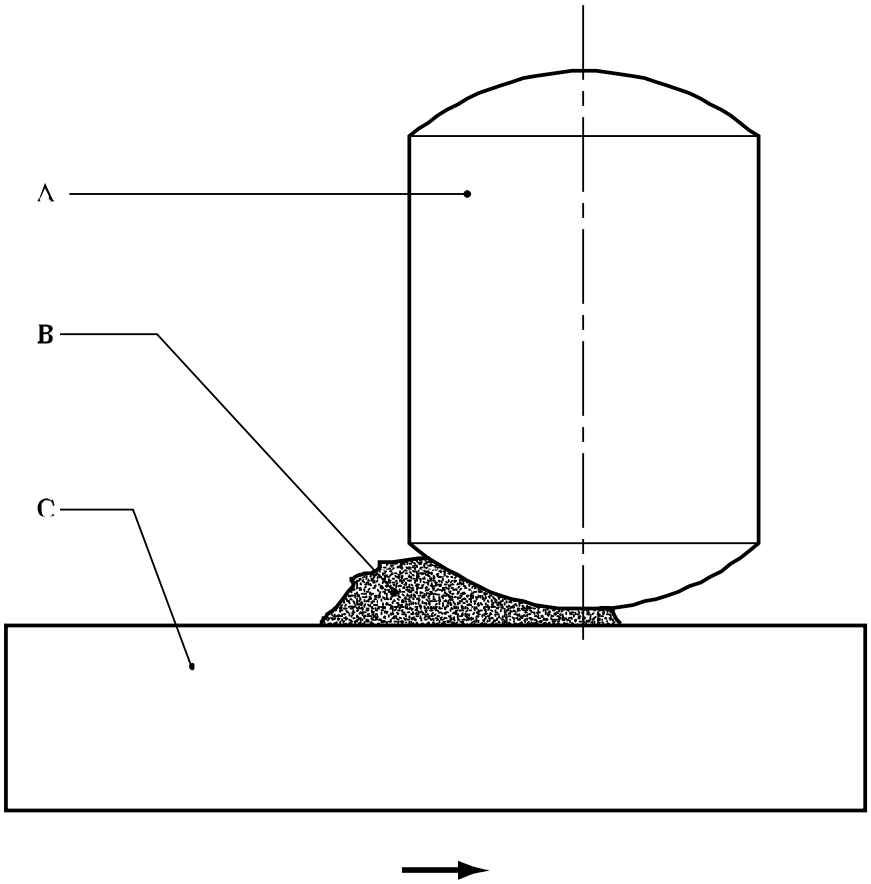
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Contrapeso	(B)	Brazo de carga
(C)	Placa de porcelana, sujeta al carro	(D)	Varilla de ajuste
(E)	Carro de vaivén	(F)	Bancada de acero
(G)	Manezuela para poner el carro en la posición de arranque	(H)	Dirección en que se encuentra el motor eléctrico
(J)	Interruptor		

Figura 13.5.1.1: MÁQUINA DE FRICCIÓN BAM

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Espiga de porcelana (10 mm de diámetro × 15 mm de espesor)
(B) Muestra de la sustancia
(C) Placa de porcelana (25 × 25 × 5 mm)

13.5.1.2: PLACA Y ESPIGA DE PORCELANA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.5.2 *Prueba 3 b) ii): Prueba de fricción por rotación*

13.5.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de la sustancia a la fricción mecánica y determinar si es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba. Consiste, fundamentalmente, en aplicar una fuerza a una muestra de poco espesor, estando ésta sujeta entre la superficie acondicionada de una barra plana y la periferia de una rueda de determinado diámetro.

13.5.2.2 *Aparatos y materiales*

En la figura 13.5.2.1 se reproduce un esquema del aparato. La barra (A) es de acero dulce normalizado, cuya superficie se ha acondicionado con chorro de granalla cortante, hasta darle un acabado de 3,2 ± 0,4 μm. Se ha dado un acabado similar a la periferia de la rueda (C), que es del mismo acero y tiene 70 mm de diámetro y 10 mm de espesor. La muestra que se somete a prueba puede tener forma de lámina fina o de capa de polvo que se extiende sobre la barra de manera que su espesor no sea de más de 0,1 mm aproximadamente. La rueda va montada sobre unas espigas al extremo de un rotor, el cual lleva, en su otro extremo, un pasador giratorio sobre el que actúa un mecanismo de conmutación por relé que funciona en el interior del circuito de un solenoide. La fuerza se aplica mediante aire comprimido (B), a una presión predeterminada. Al poner en marcha el aparato, el pasador se desplaza hacia la trayectoria de una uña percusora existente en la periferia de un volante pesado, que comunica al rotor, y con éste a la rueda, un movimiento de giro de 60º, después de lo cual las superficies de frotamiento se separan por la acción de una leva existente en el rotor y de una varilla de empuje accionada por el cilindro de carga.

13.5.2.3 Procedimiento

En el procedimiento normal se aplica una fuerza correspondiente a una presión de 0,275 MPa, salvo por lo que se refiere a los explosivos muy sensibles, a los que puede ser necesario aplicarles una fuerza de menor magnitud. La velocidad angular de la rueda, que se utiliza como parámetro variable, se regula modificando la velocidad del motor que acciona el volante. La velocidad inicial con la que se da comienzo a una serie se determina efectuando un ensayo al nivel de velocidad más próximo a la media de los resultados positivo y negativo más próximos entre sí, y repitiendo la operación hasta que esos dos resultados se produzcan a niveles de intervalo contiguos. En una prueba normal, se utiliza el método Bruceton (véase el apéndice 2) con 50 ensayos, aplicándose un intervalo logarítmico de 0,10. Si se aplica el método de comparación de muestras (véase el apéndice 2), se efectúa alternativamente la operación con la muestra de referencia y con la muestra ensayada, aplicándose una serie de Bruceton para cada una. Por lo general, la inflamación se identifica por un fogonazo o un ruido de explosión, pero, a los efectos de la prueba, se considera que incluso una pequeña cantidad de humo o el simple ennegrecimiento de la muestra constituyen un resultado positivo. Cada muestra se utiliza sólo una vez, al igual que las superficies de contacto de la barra y de la rueda. Periódicamente, y para comprobar que el material siga funcionando correctamente después de un uso prolongado, se efectúan ensayos con un explosivo de referencia (por ejemplo, la ciclonita, recristalizada a partir de la ciclohexanona y secada según un método normalizado). Si no se obtienen por el método de comparación de muestras, los datos relativos al explosivo de referencia se determinan sobre la base de la media móvil de 50 ensayos.

13.5.2.4 *Criterios de prueba y métodos de evaluación de los resultados*

Para evaluar los resultados de la prueba, se tiene en cuenta:

a) Si se ha observado una inflamación en un ensayo;

b) La determinación de la velocidad mediana de impacto para el explosivo de referencia (ciclonita) y la muestra por el método Bruceton (véase el apéndice 2);

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

c) La comparación de la media móvil de la velocidad mediana de impacto del explosivo de referencia (V1) con la de la muestra (V2), con arreglo a la siguiente ecuación:

Índice de fricción = $3,0\ V_2/V_1$

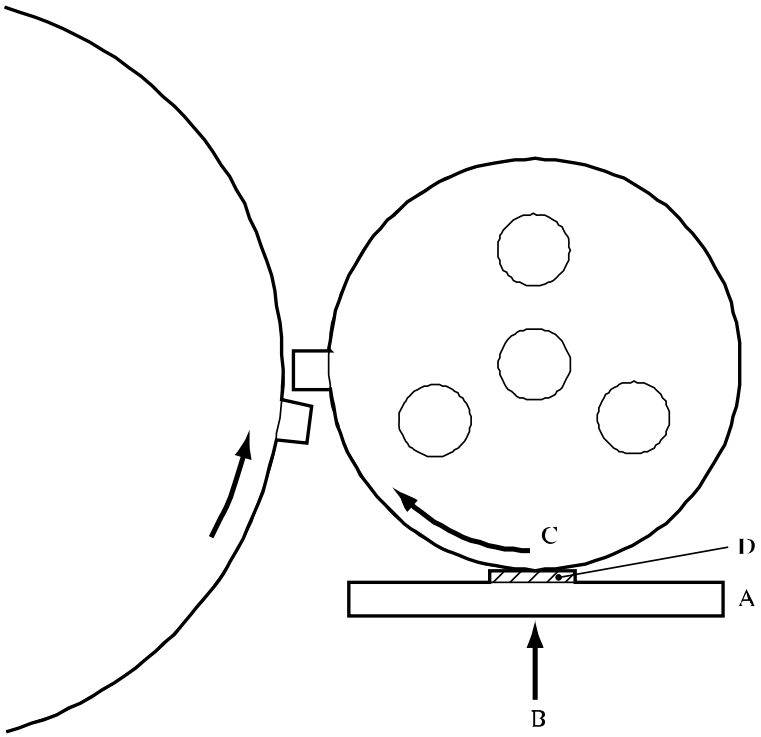
Se asigna a la ciclonita un índice de fricción de 3,0.

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a la prueba, si el índice de fricción es igual o inferior a 3,0. Se considera que el resultado es negativo (-) si el índice es superior a 3,0. Si el índice obtenido para la muestra es inferior a 3,0, puede efectuarse una comparación directa con la ciclonita de referencia, utilizando el método de comparación de muestras, con 100 operaciones para cada sustancia. Si existe una probabilidad igual o superior al 95% de que la muestra no es más sensible que la ciclonita, se considera que la sustancia objeto de la prueba no es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba.

13.5.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Índice de fricción**	**Resultado**
Azida de plomo	0,84	+
Ciclonita	3,4	-
Gelatina explosiva (geophex)	2,0	+
Gelatina explosiva (submarina)	1,3	+
Pentrita/cera (90/10)	4,0	-
Tetrilo	4,5	-
TNT	5,8	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Barra de acero dulce
(B) Fuerza aplicada por aire comprimido
(C) Rueda que gira en contacto con la muestra
(D) Muestra

Figura 13.5.2.1: PRUEBA DE FRICCIÓN POR ROTACIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.5.3 *Prueba 3 b) iv): Prueba de sensibilidad a la fricción*

13.5.3.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de una sustancia a una fricción mecánica y para determinar si es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba.

13.5.3.2 *Aparatos y materiales*

13.5.3.2.1 En la figura 13.5.3.1 se da el esquema general del aparato. Este consta de cuatro elementos principales: un balancín, un portabalancín, el cuerpo del aparato y una prensa hidráulica. El aparato está montado sobre una base de cemento. El dispositivo de rodillos N° 1, que contiene el explosivo que se somete a prueba, se coloca en el cuerpo del aparato. Por medio de una prensa hidráulica se comprime la muestra explosiva, colocada entre dos rodillos, hasta la presión prescrita. El desplazamiento del rodillo superior en la superficie de la sustancia, en una longitud de 1,5 mm, se obtiene mediante el impacto de la pesa del balancín.

13.5.3.2.2 El dispositivo de rodillos N° 1 comprende un manguito y dos rodillos. Sus dimensiones y características se indican en la figura 13.5.3.2.

13.5.3.3 *Procedimiento*

13.5.3.3.1 Normalmente, las sustancias deben someterse a prueba en el estado en que se reciban. Las sustancias humidificadas deben probarse con la mínima cantidad de agente humectante exigida para el transporte. Las sustancias deben ser objeto de las siguientes operaciones:

a) Las sustancias en gránulos, en copos, comprimidas, moldeadas o preparadas de algún otro modo deben ser trituradas y cribadas; las partículas de sustancia deben pasar por una malla de 0,50 ± 0,05 mm;

b) Las sustancias elásticas se cortan en trozos de tamaño no superior a 1 mm con un cuchillo afilado sobre una superficie de madera. Las muestras de estas sustancias no se pasan por la criba;

c) Las sustancias en polvo, plástico o pasta no se trituran ni criban.

Antes de la prueba, se desengrasan los dispositivos de rodillos. Estos dispositivos pueden reutilizarse si siguen ajustándose a las especificaciones.

13.5.3.3.2 Para determinar el límite inferior de sensibilidad a la fricción del explosivo sometido a la prueba, se colocan 20 mg de la muestra en el dispositivo de rodillos abierto. Ejerciendo una ligera presión y rotación sobre el rodillo superior, se distribuye regularmente la sustancia entre los dos rodillos. El dispositivo con la muestra explosiva se coloca en la cámara del aparato, donde se la comprime hasta la presión requerida. Se baja el manguito, manteniendo la presión de manera que la muestra explosiva quede prensada entre los rodillos y se eleve por encima del manguito. A continuación, se desplaza el percutor hasta que entre en contacto con el rodillo. La pesa del balancín golpea el percutor, causando una fricción entre el rodillo superior y la muestra. El desplazamiento lateral del rodillo es de 1,5 mm. El ángulo de caída del balancín se elige con arreglo al cuadro que figura a continuación, en función de la presión de retención de la muestra. Se repiten los ensayos hasta que se averigua la presión máxima que no produce una explosión en 25 ensayos. Se considera que ha habido explosión si se registra un ruido de explosión o un fogonazo o si se observan huellas de quemaduras en los rodillos. El límite inferior de sensibilidad a la fricción se define como la presión vertical máxima que no da lugar a una explosión en 25 ensayos, quedando entendido que esa presión difiere de la presión en la que hay explosión pero no debe diferir de ésta en más de:

10 MPa - para una presión de prueba de hasta 100 MPa
20 MPa - para una presión de prueba de 100 a 400 MPa
50 MPa - para una presión de prueba superior a 400 MPa.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Si no se observa ninguna explosión en 25 ensayos a una presión de 1.200 MPa, se considera que el límite inferior de sensibilidad a la fricción es "igual o superior a 1.200 MPa". Si se registran una o varias explosiones en 25 ensayos a una presión de 30 MPa, se considera que el citado límite es "inferior a 30 MPa".

RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN VERTICAL SOBRE LA MUESTRA EXPLOSIVA Y EL ÁNGULO DE CAÍDA DEL BALANCÍN QUE DA UN VALOR CONSTANTE DEL DESPLAZAMIENTO LATERAL DEL RODILLO

Presión vertical sobre la muestra (MPa)	Ángulo de caída del balancín (º con relación a la vertical)	Presión vertical sobre la muestra (MPa)	Ángulo de caída del balancín (º con relación a la vertical)
30	28	40	32
50	35	60	38
70	42	80	43
90	46	100	47
120	54	140	58
160	61	180	64
200	67	220	70
240	73	260	76
280	78	300	80
320	82	340	83
360	84	380	85
400	86	450	88
500	91	550	93
600	95	650	97
700	100	750	101
800	103	850	106
900	107	950	108
1.000	110	1.100	115
1.200	118		

13.5.3.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Para evaluar los resultados de la prueba, se tiene en cuenta:

a) Si se produce una "explosión" en uno de cada 25 ensayos, por lo menos; y

b) La presión vertical máxima a la que no se produce ninguna explosión en 25 ensayos.

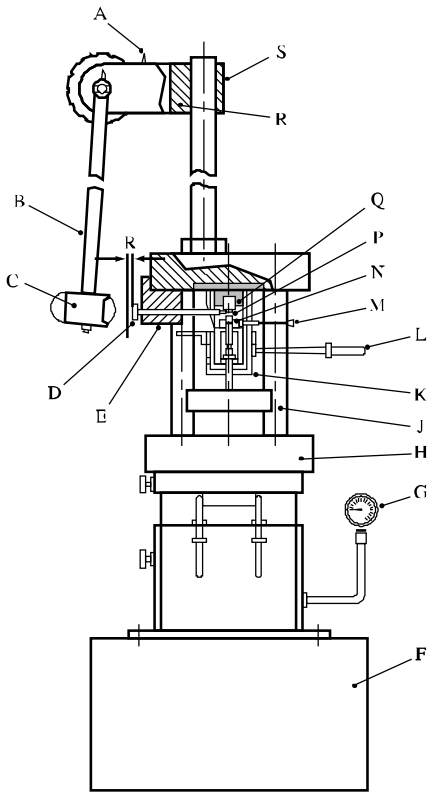
Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba si el límite inferior de sensibilidad a la fricción es inferior a 200 MPa. Se considera que el resultado es negativo (-) si el límite inferior de sensibilidad a la fricción es igual o superior a 200 MPa.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.5.3.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Límite inferior (MPa)**	**Resultado**
Ácido pícrico	450	-
Azida de plomo	30	+
Ciclonita (seca)	200	-
Ciclonita/agua (85/15)	350	-
Nitrato amónico	1.200	-
Pentrita/(seca)	150	+
Pentrita/parafina (95/5)	350	-
Pentrita/TNT (90/10)	350	-
Pentrita/agua (75/25)	200	-
TNT	600	-
Triaminotrinitrobenceno	900	-

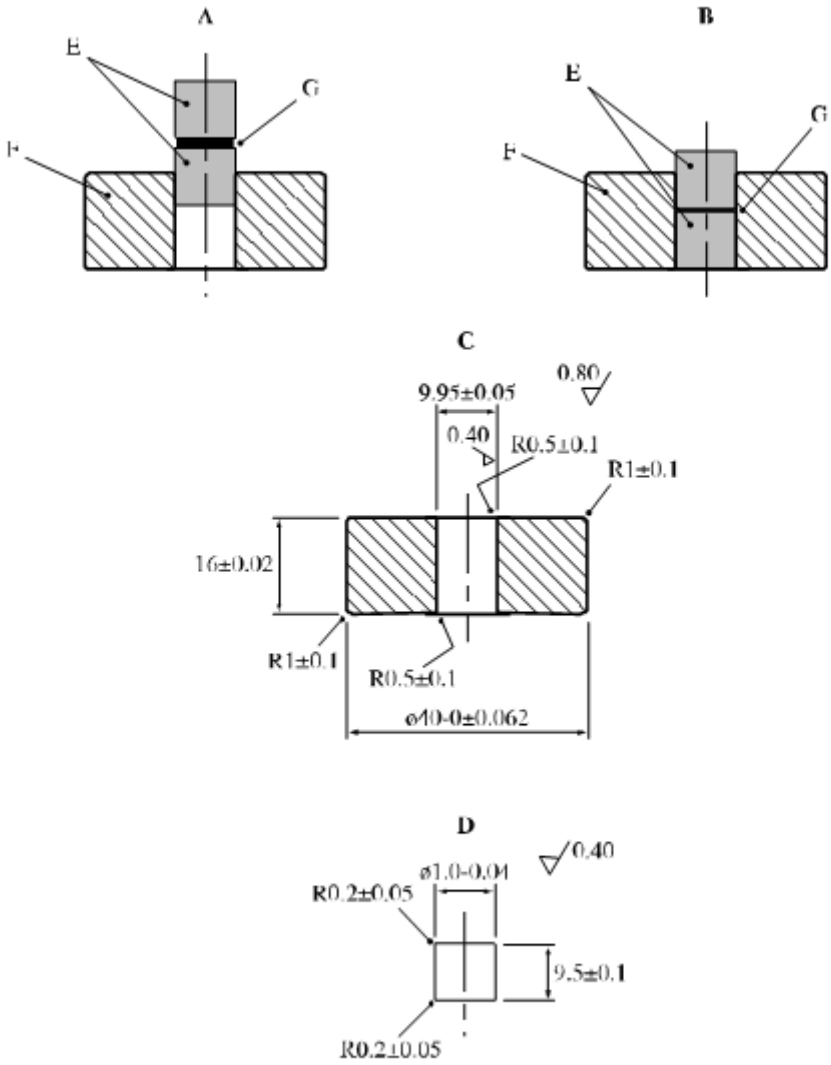
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Disparador	(B)	Palanca del balancín
(C)	Pesa del balancín	(D)	Percutor
(E)	Guía del percutor	(F)	Base
(G)	Manómetro	(H)	Prensa hidráulica
(J)	Soporte	(K)	Cuerpo del aparato
(L)	Manezuela para bajar el manguito	(M)	Impulsor de rodillos
(N)	Manguito	(O)	Rodillo
(P)	Cámara	(Q)	Portabalancín
(R)	Soporte del portabalancín		

Figura 13.5.3.1: APARATO PARA LA PRUEBA DE SENSIBILIDAD A LA FRICCIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Posición inicial de los rodillos
(B) Rodillos dispuestos para la prueba
(C) Manguito de acero al carbono (HRC 57 - 61)
(D) Rodillo con cojinete de bolas (HRC 63 - 66)
(E) Rodillos
(F) Manguito
(G) Sustancia que se somete a la prueba

Figura 13.5.3.2: DISPOSITIVO DE RODILLOS N° 1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.6 Serie 3, tipo c): Disposiciones relativas a las pruebas

13.6.1 *Prueba 3 c): Prueba de estabilidad térmica a 75ºC*

13.6.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la estabilidad de la sustancia cuando se somete a unas condiciones térmicas elevadas y para determinar si es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en la que se ha sometido a prueba.

13.6.1.2 *Aparatos y materiales*

13.6.1.2.1 Se requieren los siguientes aparatos:

a) Un horno eléctrico con ventilación, equipo eléctrico antideflagrante y dispositivo de control termostático para mantener la temperatura en 75 ± 2ºC y registrar la temperatura real. El horno debe disponer de dos termostatos o de algún sistema de protección contra un recalentamiento excesivo en caso de avería del termostato;

b) Un vaso sin pico de 35 mm de diámetro y 50 mm de alto, y un cristal de reloj de 40 mm de diámetro;

c) Una balanza que permita determinar la masa de la muestra con una precisión de ± 0,1 g;

d) Tres termopares y un aparato registrador;

e) Dos tubos de vidrio de fondo plano, de 50 ± 1 mm de diámetro y 150 mm de longitud, y dos tapones que resistan una presión de 0,6 bar (60 kPa).

13.6.1.2.2 Como sustancia de referencia debe utilizarse una sustancia inerte, cuyas propiedades físicas y térmicas sean análogas a las de la sustancia que se somete a prueba.

13.6.1.3 *Procedimiento*

13.6.1.3.1 ***Si se trata de una nueva sustancia, se realizan varias pruebas previas, que consisten en calentar pequeñas muestras a 75 ºC durante 48 horas, a fin de averiguar su comportamiento***. Si no se produce ninguna reacción explosiva al utilizarse una pequeña cantidad de sustancia, debe aplicarse el procedimiento indicado en los párrafos 13.6.1.3.2 ó 13.6.1.3.3. En cambio, si se produce una explosión o inflamación, se considera que la sustancia adolece de una inestabilidad térmica excesiva para el transporte.

13.6.1.3.2 Ensayo sin aparatos: se coloca una muestra de 50 g en el vaso y éste se cubre y se coloca en el horno. El horno se calienta a 75 ºC y la muestra permanece en el horno durante 48 horas o hasta que se produzca una inflamación o explosión. Si no hay inflamación ni explosión, pero sí señales de calentamiento espontáneo, tales como humos o descomposición, debe aplicarse el procedimiento indicado en el párrafo 13.6.1.3.3. No obstante, si no hay indicios de inestabilidad térmica, puede considerarse que la sustancia es térmicamente estable y no es necesario proseguir las pruebas sobre esta propiedad.

13.6.1.3.3 Ensayo con aparatos: una muestra de 100 g (o 100 cm^3 si la densidad es inferior a 1.000 kg/m^3) se coloca en uno de los tubos y la misma cantidad de la sustancia de referencia se coloca en el otro. Los termopares T_1 y T_2 se insertan en los tubos a media altura de las sustancias. Si los termopares no están hechos de materiales inertes para la muestra y la sustancia de referencia, deben colocarse en fundas inertes. El termopar T_3 y los tubos cubiertos se colocan en el horno, como se indica en la figura 13.6.1.1. La diferencia de temperaturas que pueda haber entre la muestra y la sustancia de referencia se mide durante 48 horas, una vez que las dos sustancias hayan alcanzado 75 ºC. Deben anotarse los signos de descomposición de la muestra.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.6.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

13.6.1.4.1 Se considera que el resultado de la prueba sin aparatos es positivo (+) si ha habido inflamación o explosión, y negativo (-) si no se ha observado ningún cambio. Se considera que el resultado de la prueba con aparatos es positivo (+) si ha habido inflamación o explosión o si se ha registrado una diferencia de temperaturas (es decir, un calentamiento espontáneo) igual o superior a 3ºC. Si no ha habido inflamación ni explosión, pero se registra un calentamiento espontáneo inferior a 3ºC, puede resultar necesario efectuar otros ensayos y/o evaluaciones para determinar si la muestra es térmicamente inestable.

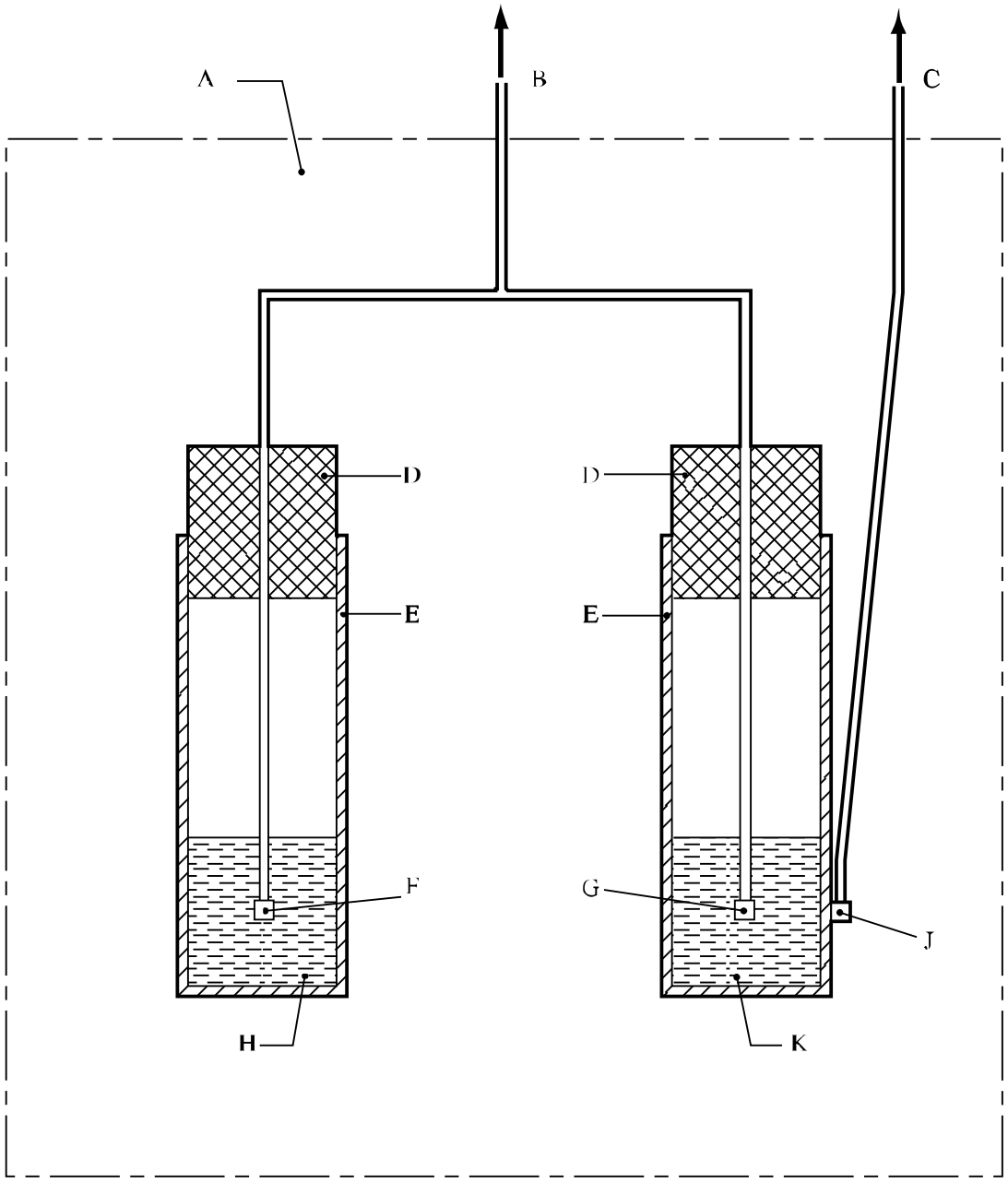
13.6.1.4.2 Si el resultado de la prueba es positivo, debe considerarse que la sustancia es demasiado inestable, térmicamente, para el transporte.

13.6.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Observaciones**	**Resultado**
Ciclonita humidificada, con 22% de agua	Pérdida de masa < 1%	-
Dinamita g)elatina (NG 22%; DNT 8%; Al 3%	Pérdida de masa inapreciable	-
Explosivos en suspensión acuosa espesa[a]	Pérdida de masa inapreciable; ligera dilatación (según los casos)	-
NA/fueloil explosivo	Pérdida de masa < 1%	-
Pentrita/cera (90/10)	Pérdida de masa inapreciable	-
70% perclorato amónico; 16% Al; 2,5% catoceno; 11,5% aglutinante	Reacción de oxidación sobre el catoceno (catalizador con velocidad de combustión). Con pérdida de color en la superficie de la muestra, sin que se produzca descomposición química.	-

[a] *Diversos tipos*.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Horno	(B)	Al milivoltímetro (T_1 y T_2)
(C)	Al milivoltímetro (T_3)	(D)	Tapones
(E)	Tubos de vidrio	(F)	Termopar N° 1 (T_1)
(G)	Termopar N° 2 (T_2)	(H)	100 cm^3 de muestra
(J)	Termopar N° 3 (T_3)	(K)	100 cm^3 de la sustancia de referencia

Figura 13.6.1.1: DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA LA PRUEBA DE ESTABILIDAD TÉRMICA A 75ºC

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.7 Serie 3, tipo d): Disposiciones relativas a las pruebas

13.7.1 *Prueba 3 d): Prueba de combustión en pequeña escala*

Esta prueba sirve para determinar cómo una sustancia reacciona al fuego.

13.7.1.1 *Aparatos y materiales*

13.7.1.1.1 Sólidos y líquidos

Se necesita una cantidad suficiente de serrín impregnado de queroseno (unos 100 g de serrín y 200 cm^3 de queroseno) para preparar una base cuadrada de 30 cm de lado y 1,3 cm de espesor. Para las sustancias que se inflamen lentamente, se aumenta el espesor de la base a 2,5 cm. También se necesita un inflamador eléctrico y un vaso de pared fina, hecho de una materia plástica compatible con la sustancia que se va a someter a ensayo y de tamaño justo suficiente para contener esa sustancia.

13.7.1.1.2 Método alternativo (sólo para sólidos)

Se necesita un cronómetro y una hoja de papel kraft, de 30 × 30 cm, que se coloca sobre una superficie no inflamable. Se utilizan unos pocos gramos de pólvora fina y un medio de ignición apropiado, según se indica en el párrafo relativo al procedimiento y en la figura 13.7.1.1.

13.7.1.2 *Procedimiento*

13.7.1.2.1 Sólidos y líquidos

Se colocan 10 g de la sustancia en el vaso. Este se coloca en el centro de la base de serrín impregnado de queroseno y se prende fuego al serrín con el inflamador eléctrico. La prueba se efectúa dos veces con 10 g de muestra y dos con 100 g, a menos que se observe una explosión.

13.7.1.2.2 Método alternativo (sólo para sólidos)

Sobre la hoja de papel kraft se coloca la sustancia en un montón de forma cónica cuya altura sea igual al radio de la base. Alrededor del montón, se dispone un reguero de pólvora, al que, con un medio de ignición adecuado y desde una distancia segura, se le prende fuego en dos puntos diagonalmente opuestos (véase la figura 13.7.1.1). Al arder el papel, las llamas se propagan a la sustancia que es objeto de la prueba. Se efectúan dos ensayos con 10 g y otros dos con 100 g, a menos que se observe una explosión.

13.7.1.3 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se observan los efectos visualmente y el resultado se anota conforme a uno de los tres supuestos siguientes:

a) Ausencia de inflamación;

b) Inflamación y combustión; o

c) Explosión.

Como información complementaria, puede anotarse la duración de la combustión o el tiempo que haya transcurrido hasta el momento de la explosión.

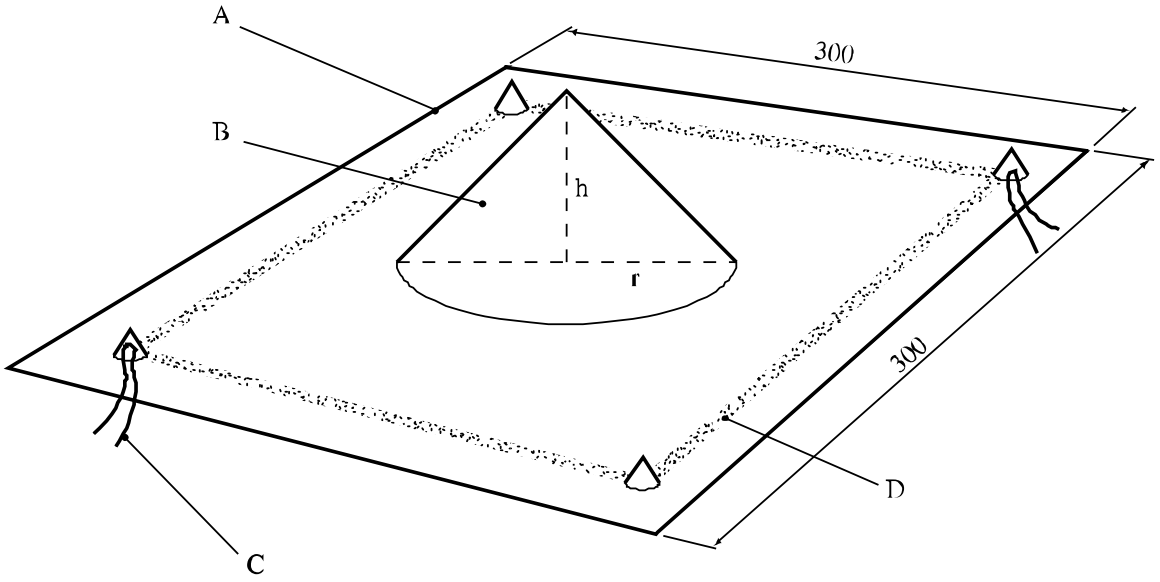
Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia es demasiado peligrosa para el transporte en la forma en que se ha sometido a prueba si se produce una explosión de las muestras. De lo contrario, se considera que el resultado es negativo (-).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

13.7.1.4 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Observaciones**	**Resultado**
Líquidos		
Nitrometano	Combustión	-
Sólidos		
Método alternativo		
Azida de plomo	Explosión	+
Fulminato de mercurio	Explosión	+
Gelatina A explosiva (92% de NG; 8% de nitrato de celulosa)	Combustión	-
Pólvora negra (Pulverin)	Combustión	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Hoja de papel kraft
(B)	Sustancia para la prueba
(C)	Encendido con un inflamador y unos gramos de pólvora fina (en dos ángulos opuestos)
(D)	Reguero de pólvora fina

Figura 13.7.1.1:
PRUEBA DE COMBUSTIÓN EN PEQUEÑA ESCALA (PARA SÓLIDOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 14

SERIE DE PRUEBAS 4

14.1 Introducción

14.1.1 Las pruebas de la serie 4 están destinadas a responder a la pregunta "¿Son el objeto, el objeto embalado/envasado o la sustancia embalada/envasada demasiado peligrosos para el transporte?" (casilla 16 de la figura 10.2). Entre las condiciones que pueden darse durante el transporte cabe mencionar las temperaturas elevadas, una humedad relativa elevada, las bajas temperaturas, las vibraciones, las sacudidas y las caídas. Esta serie comprende los dos tipos de prueba siguientes:

- Tipo 4 a): una prueba de estabilidad térmica para los objetos; y
- Tipo 4 b): una prueba para determinar los efectos de una caída.

14.1.2 La respuesta a la casilla 16 es "Sí" si se obtiene un resultado positivo en la prueba 4 a) o 4 b).

14.2 Métodos de prueba

En el cuadro 14.1 se indican los métodos de prueba que se utilizan en la actualidad.

Cuadro 14.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE 4

Código	Nombre de la prueba	Sección
4 a)	Prueba de estabilidad térmica, para objetos con o sin embalaje/envase[a]	14.4.1
4 b) i)	Prueba de caída en un tubo de acero, para líquidos[a]	14.5.1
4 b) ii)	Prueba de caída desde doce metros, para objetos con o sin embalaje/envase y sustancias embaladas/envasadas[a]	14.5.2

[a] *Prueba recomendada*.

14.3 Condiciones de las pruebas

14.3.1 Las pruebas se efectúan con la sustancia embalada/envasada y con el o los objetos embalados/envasados y, si se proyecta transportarlo sin embalaje/envase, con el propio objeto. El tamaño mínimo aceptable para una prueba del tipo 4 a) es el bulto más pequeño que se utilice o un objeto que se transporte sin embalaje/envase. La prueba del tipo 4 b) i) debe aplicarse a los líquidos homogéneos y la prueba del tipo 4 b) ii) a los objetos con o sin embalaje/envase y a las sustancias embaladas/envasadas que no sean líquidos homogéneos.

14.4 Serie 4, tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

14.4.1 *Prueba 4 a): Prueba de estabilidad térmica para objetos con o sin embalaje/envase*

14.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para evaluar la estabilidad térmica de los objetos con o sin embalaje/envase, cuando se los somete a temperaturas elevadas, a fin de determinar si el objeto que se somete a prueba es demasiado peligroso para el transporte. El objeto de dimensiones mínimas que puede aceptarse para esta prueba es el bulto de tamaño más pequeño o, si se proyecta transportarlo sin embalaje/envase, el propio objeto no embalado/envasado. Por regla general, debe someterse a prueba el bulto tal como se transporta. Si esto no es posible (por ejemplo, si no cabe en el horno), debe utilizarse un bulto similar más pequeño, que contenga el máximo número posible de objetos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

14.4.1.2 *Aparatos y materiales*

Para esta prueba se necesita un horno provisto de ventilación y regulación termostática para mantener la temperatura a 75 ± 2ºC. En previsión de que dicha regulación funcione mal, es conveniente que el horno tenga dos termostatos o algún sistema análogo de protección para evitar que se alcancen temperaturas excesivamente altas. Debe ir también provisto de un termopar conectado con un termógrafo para anotar cualquier aumento de la temperatura exotérmica.

14.4.1.3 *Procedimiento*

Según sea el objeto que se desea someter a prueba, se coloca un termopar en la envoltura exterior del objeto no embalado/envasado, o en la de un objeto que esté próximo al centro del bulto de que forma parte. Se conecta el termopar al termógrafo. Seguidamente, se coloca el objeto (con el termopar) en el horno, éste se calienta hasta 75ºC y se mantiene a esta temperatura durante 48 horas. Se deja que el horno se enfríe y, a continuación, se retira el objeto y se procede a examinarlo. Se registran las temperaturas y se anotan los indicios de reacción, daños o exudación.

14.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que el o los objetos, con o sin embalaje/envase, son demasiado peligrosos para el transporte si se cumple alguno de los supuestos siguientes:

a) Explosión;

b) Inflamación;

c) Aumento de la temperatura en más de 3ºC;

d) Deterioro de la envoltura exterior del objeto o del embalaje/envase exterior; o

e) Exudación peligrosa, es decir, salida del explosivo fuera del objeto.

Se considera que el resultado es negativo (-) si no se observan efectos externos y el aumento de temperatura no excede de 3ºC.

14.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Objeto sometido a prueba	**Resultado**
Artefacto de señalización manual	-
Bengala de señales	-
Bote de humo	-
Candela fumígena	-
Candela romana	-
Cartucho cebador de seguridad	-
Granada fumígena	-
Fuentes cilíndricas	-
Inflamador eléctrico de efecto retardado	-
Municiones para armas de pequeño calibre	-
Petardo de señales para ferrocarriles	-
Señal fumígena	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

14.5 Serie 4, tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

14.5.1 *Prueba 4 b) i): Prueba de caída en tubo de acero, para líquidos*

14.5.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar el comportamiento, como explosivo, de un líquido energético homogéneo en el interior de un tubo cerrado, de acero, cuando se provoca su caída sobre un yunque de acero desde distintas alturas.

14.5.1.2 *Aparatos y materiales*

El tubo de acero (tipo A37) tiene 33 mm de diámetro interior, 42 mm de diámetro exterior y 500 mm de longitud (véase la figura 14.5.1.1). El tubo se llena del líquido que se somete a prueba y se cierra su extremo superior con una tapa roscada, de fundición, que lleva una empaquetadura de cinta de politetrafluoroetileno. La tapa tiene un orifico axial de 8 mm que sirve para llenar el tubo y que se obtura con un tapón de plástico.

14.5.1.3 *Procedimiento*

Se anotan la temperatura y densidad del líquido. Una hora, como máximo, antes de la prueba, se agita el líquido durante 10 segundos. La altura de caída varía gradualmente, desde 0,25 m hasta un máximo de 5 m. Se trata de determinar la altura máxima de caída desde la que no se produce detonación. El tubo cae en posición vertical. Se anota si se producen los siguientes efectos y a qué altura:

a) Detonación con fragmentación del tubo;

b) Reacción que provoca el estallido del tubo; o

c) Ausencia de reacción, con escasos daños en el tubo.

14.5.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si se produce detonación a una altura de caída de 5 m o menos, se considera que el resultado es positivo (+) y que el líquido es demasiado peligroso para el transporte.

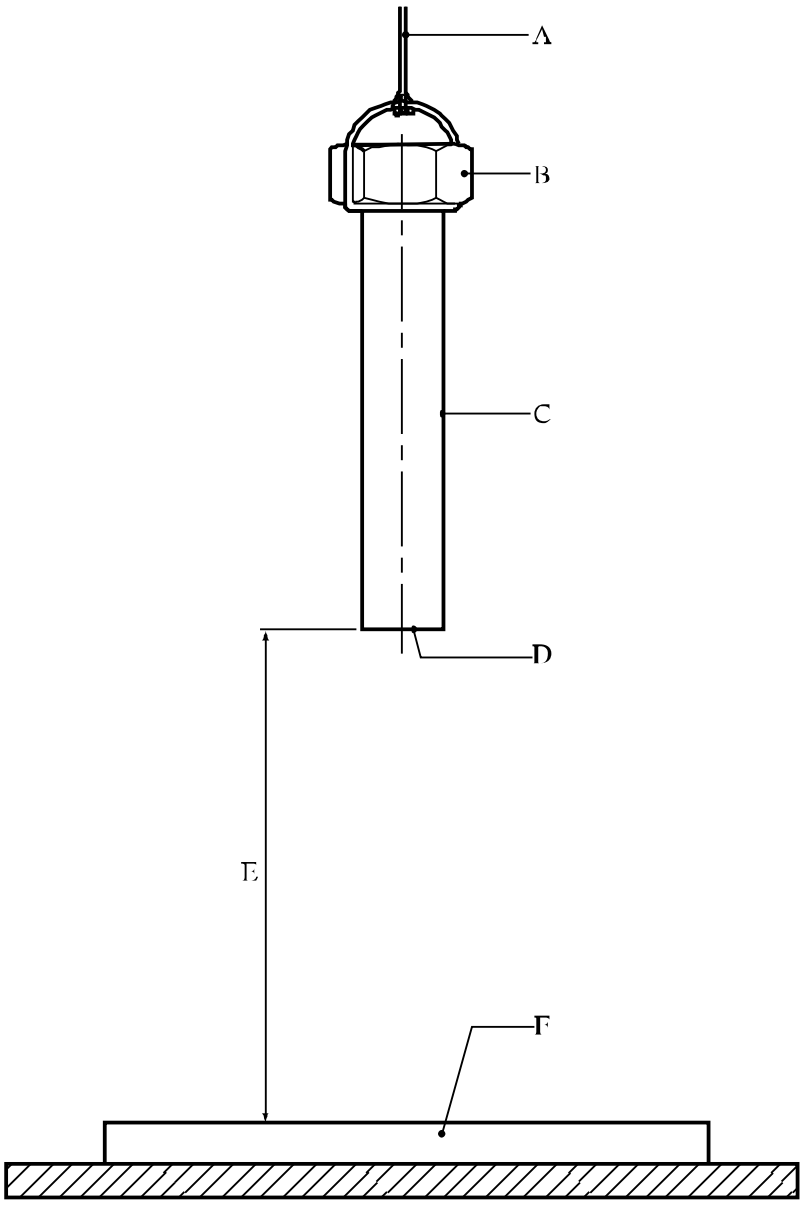
Si se produce una reacción localizada sin detonación a una altura de caída de 5 m, se considera que el resultado es negativo, pero no debe utilizarse un embalaje/envase metálico, a menos que se demuestre a la autoridad competente que es apropiado para el transporte.

Si no se produce ninguna reacción a una altura de caída de 5 m, se considera que el resultado es negativo (-) y que el líquido puede transportarse en cualquier forma de embalaje/envase para líquidos.

14.5.1.5 *Ejemplos de resultados*

Líquido	**Temperatura**	**Altura de caída que provoca detonación (m)**	**Resultado**
Dinitrato de trietilenglicol	13	> 5,00	-
Nitroglicerina	15	< 0,25	+
Nitroglicerina/triacetina/2 NDPA (78/21/1)	14	1,00	+
Nitrometano	15	> 5,00	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Suelta del tubo por fusión del cable	(B)	Tapa roscada, de fundición
(C)	Tubo de acero sin costura	(D)	Fondo de acero soldado (espesor: 4 mm)
(E)	Altura de caída, de 0,25 a 5 m	(F)	Yunque de acero (1m × 0,50 m; espesor 0,15 m)

Figura 14.5.1.1: PRUEBA DE CAÍDA EN TUBO DE ACERO PARA LÍQUIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

14.5.2 *Prueba 4 b) ii): Prueba de caída desde doce metros, para objetos con o sin embalaje/envase y sustancias embaladas/envasadas*

14.5.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar si el producto que se somete a prueba (objetos con o sin embalaje/envase o sustancias embaladas/envasadas (con exclusión de los líquidos homogéneos)) puede resistir el choque resultante de una caída libre, sin que se produzca ningún riesgo apreciable de incendio o explosión. No se trata de evaluar la resistencia del bulto al choque.

14.5.2.2 *Aparatos y materiales*

14.5.2.2.1 Superficie de impacto

La superficie de impacto es una superficie rígida y suficientemente lisa, como, por ejemplo: una chapa de acero, de al menos 75 mm de espesor y cuyo número de dureza Brinell no sea inferior a 200, fuertemente sujeta a una base de hormigón de al menos 600 mm de espesor. La longitud y anchura de esta superficie deben equivaler, por lo menos, a una vez y media la dimensión del objeto que se desea someter a ensayo.

14.5.2.2.2 Otros aparatos

Para verificar la posición del objeto en el momento del impacto y los resultados de éste, conviene utilizar fotografías u otros medios de grabación de imágenes. Cuando se considere que la posición del objeto en el momento del choque es, posiblemente, un factor significativo, el laboratorio en que se realice la prueba podrá hacer uso de algún dispositivo a manera de guía que mantenga el objeto en la posición deseada. Dicho dispositivo no debe frenar apreciablemente la velocidad de caída ni impedir el rebote tras el impacto.

14.5.2.2.3 Materiales

En algunos casos, pueden sustituirse por objetos inertes algunos de los objetos explosivos contenidos en un bulto. Esos objetos inertes deben tener la misma masa y el mismo volumen que los objetos explosivos que sustituyen. Los objetos explosivos restantes deben colocarse en la posición en la que sea más probable que funcionen en el momento del impacto. Si la prueba se refiere a una sustancia embalada/envasada, ésta no puede sustituirse parcialmente por un material inerte.

14.5.2.3 *Procedimiento*

Se deja caer el objeto desde una altura de 12 m, medidos entre el punto más bajo de aquél y la superficie de impacto. ***Después de la caída, y por razones de seguridad, debe observarse un período de espera, prescrito por el organismo encargado de las pruebas, aún en el caso de que no se observe indicio de iniciación o inflamación***. Seguidamente, se examina el objeto más detenidamente para determinar si se ha producido alguno de dichos fenómenos. Se efectúan tres caídas de la sustancia u objeto embalado/envasado, a menos que se produzca antes un fenómeno determinante (por ejemplo, fuego o explosión). Sin embargo, sólo se deja caer una vez cada objeto probado. Entre los datos registrados deben figurar los relativos a las características del bulto y las observaciones correspondientes. También han de acompañarse de fotografías y otras pruebas visuales y acústicas de la inflamación, el momento en que se produjo ésta y la intensidad de los efectos, tales como detonación de toda la masa o deflagración. También debe registrarse la posición del objeto en el momento del impacto. Puede anotarse la rotura del bulto, pero ésta no incide en los resultados.

14.5.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia y el o los objetos embalados/envasados son demasiado peligrosos para el transporte si, a consecuencia del impacto, se produce fuego o explosión. La mera rotura del embalaje/envase del objeto o de su envoltura no se considera como un

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

resultado positivo. Se considera que el resultado es negativo (-) si no se produce fuego ni explosión en ninguna de las tres caídas.

14.5.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia u objeto(s)	**Número de caídas**	**Observaciones**	**Resultado**
Cartuchos para cizallas cortacables (caja de metal con 2 dispositivos)	3	Ninguna reacción	-
Cebos moldeados (27,2 kg)	3	Ninguna reacción	-
Componente (de proyectil) con detonador, cebo y mecha	1	Inflamación	+
Dinamita gelatina amoniacal (22,7 kg)	3	Ninguna reacción	-
Dinamita amoniacal, al 40% (22,7 kg)	3	Ninguna reacción	-
Dinamita corriente, al 60% (22,7 kg)	3	Ninguna reacción	-
Dinamita corriente, al 50% (22,7 kg) para zanjeo	3	Ninguna reacción	-
Explosor para demoliciones (caja de madera con 20 unidades embaladas por separado)	3	Ninguna reacción	-
Generador de gas propulsor, 61,7 kg de masa neta (en recipiente de aluminio)	3	Ninguna reacción	-
Propulsante sólido CBI, 7,11 mm de diámetro (36,3 kg)	3	Ninguna reacción	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 15

SERIE DE PRUEBAS 5

15.1 Introducción

15.1.1 Los resultados de los tres tipos de pruebas de la serie 5 sirven para responder a la pregunta "¿Es una sustancia explosiva muy insensible que presenta un riesgo de explosión de toda la masa?" (casilla 21 de la figura 10.3). Esta serie comprende los tipos de pruebas siguientes:

Tipo 5 a): una prueba de excitación por una onda de choque para determinar la sensibilidad a estímulos mecánicos;

Tipo 5 b): pruebas térmicas para determinar la tendencia a la transición de deflagración a detonación; y

Tipo 5 c): una prueba para determinar si se produce explosión cuando la sustancia se somete, en grandes cantidades, a un fuego intenso.

15.1.2 A la pregunta de la casilla 21 se responde "No" si se obtiene un resultado positivo en algunos de los tres tipos de prueba. Así, pues, una sustancia susceptible de ser incluida en la división 1.5 debe superar una prueba de cada tipo.

15.2 Métodos de prueba

En el cuadro 15.1 se indican los métodos de prueba que se utilizan en la actualidad.

Cuadro 15.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE 5

Código	Nombre de la prueba	Sección
5 a)	Prueba de sensibilidad al cebo[a]	15.4.1
5 b) i)	Prueba de transición de deflagración a detonación (Francia)	15.5.1
5 b) ii)	Prueba de transición de deflagración a detonación (Estados Unidos)[a]	15.5.2
5 b) iii)	Prueba de transición de deflagración a detonación	15.5.3
5 c)	Prueba de reacción al fuego exterior, para sustancias de la división 1.5[a]	15.6.1

[a] *Prueba recomendada.*

Debe efectuarse una prueba de cada tipo.

15.3 Condiciones de las pruebas

15.3.1 Como la densidad de la sustancia tiene un efecto importante sobre los resultados de las pruebas de tipo 5 a) y 5 b), debe determinarse esa densidad. Siempre deben registrarse la masa y densidad de la muestra.

15.3.2 Las pruebas deben efectuarse a la temperatura ambiente, a menos que la sustancia deba transportarse en condiciones que puedan alterar su estado físico o su densidad.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

15.4 Serie 5, tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

15.4.1 *Prueba 5 a): Prueba de sensibilidad al cebo*

15.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la sensibilidad de una sustancia a un estímulo mecánico intenso.

15.4.1.2 *Aparatos y materiales*

El aparato con que se efectúa esta prueba aparece representado esquemáticamente en las figuras 15.4.1.1 y 15.4.1.2. Está constituido por un tubo de cartón de al menos 80 mm de diámetro y 160 mm de longitud y de un espesor de pared de 1,5 mm como máximo; su fondo consiste en una membrana que es justo suficiente para retener la sustancia. El estímulo mecánico intenso proviene de un detonador normalizado (véase el apéndice 1), que se introduce en posición central en la parte superior del explosivo alojado en el tubo, hasta una profundidad equivalente a su propia longitud. Bajo el tubo está un elemento testigo, que consiste en una placa de acero de 160 × 160 mm y de 1,0 mm de espesor, que se coloca sobre un anillo, también de acero, de 50 mm de altura, 100 mm de diámetro interior y 3,5 mm de espesor (véase la figura 15.4.1.1). También puede utilizarse un cilindro de plomo ordinario (blando), de 51 mm de diámetro y 102 mm de longitud (véase la figura 15.4.1.2). El conjunto se coloca sobre una placa de acero cuadrada, de 152 mm de lado y 25 mm de espesor.

15.4.1.3 *Procedimiento*

La sustancia que se somete a prueba se introduce en el tubo en tres porciones iguales. Cuando se trate de sustancias granulares muy fluidas, se comprime la muestra dejando caer el tubo verticalmente desde una altura de 50 mm después de haber introducido en él cada una de las tres porciones. Las sustancias del tipo de los geles se envasan a mano cuidadosamente para impedir que queden espacios vacíos. En todos los casos, la densidad final del explosivo en el interior del tubo ha de aproximarse lo más posible a la que tenga en condiciones de transporte. Para los explosivos en cartuchos de densidad elevada, de diámetro superior a 80 mm, se utiliza el cartucho de origen. Aunque el cartucho resulte excesivamente grande para efectuar los ensayos, se puede hacer uso de él cortándole un trozo cuya longitud no sea inferior a 160 mm. En tales casos, el detonador se introduce por el extremo opuesto al del corte, es decir, por el extremo en que la sustancia permanece intacta. Antes de efectuar la prueba, los explosivos cuya sensibilidad al cebo pueda ser función de la temperatura han de almacenarse durante al menos 30 horas a una temperatura de 28 a 30ºC. Los explosivos en cuya composición entre el nitrato amónico en pepitas y que hayan de transportarse en regiones de temperatura ambiente elevada deben someterse, antes de los ensayos, a la siguiente variación cíclica de temperatura: →25ºC→40ºC→25ºC →40°C→25ºC. Se coloca el tubo sobre el conjunto constituido por el elemento testigo y la placa de acero que sirve de soporte y se introduce el detonador, en posición central, en la parte superior del explosivo. A continuación, se prende el detonador, desde un lugar seguro, y se procede a examinar el elemento testigo. Se efectúan tres ensayos con cada muestra, a no ser que se produzca antes una detonación.

15.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia no debe clasificarse en la división 1.5 si, por lo menos en unos de los ensayos:

a) La placa testigo ha sufrido alguna desgarradura o perforación (es decir, cuando la luz es visible a través de la placa) - las abolladuras, grietas o dobladuras de la placa testigo no constituyen indicio de sensibilidad al cebo; o

b) Se ha comprimido el centro del cilindro de plomo, respecto de su longitud inicial, en 3,2 mm o más.

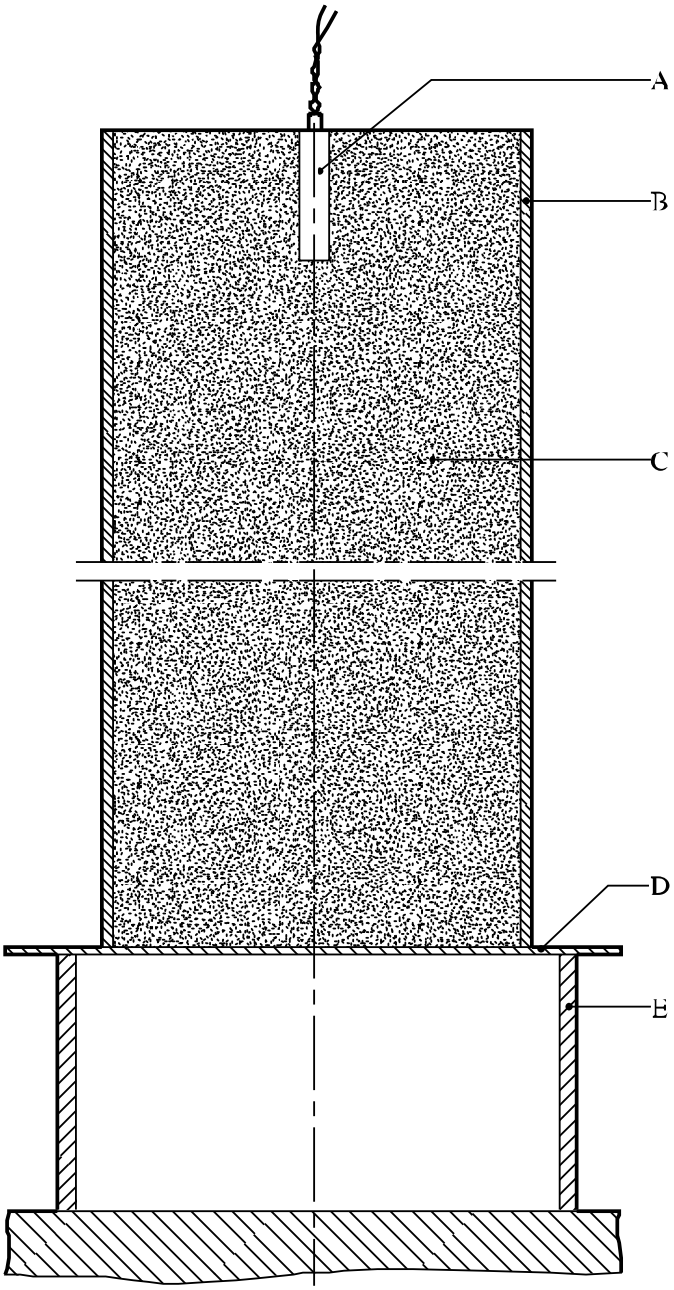
En los demás casos, el resultado se considera negativo (-).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

15.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad (kg/m^3)**	**Observaciones**	**Resultado**
Nitrato amónico (pepitas) + fueloil	840-900	De origen	-
" "	750-760	Dos ciclos de temperatura	+
Nitrato amónico + TNT + material combustible	1030-1070	De origen	+
Nitrato amónico (pepitas) + DNT (en superficie)	820-830	De origen	-
" "	800-830	30 horas a 40ºC	+
Nitrato amónico + DNT + material combustible	970-1030	De origen	-
" "	780-960	De origen	+
Nitrato amónico + material combustible	840-950	De origen	-
" "	620-840	De origen	+
Nitrato amónico + nitrato alcalino + nitrato alcalinotérreo + aluminio + agua + material combustible	1300-1450	De origen	-
" "	1130-1220	De origen	+
Nitrato amónico + nitrato alcalino + nitrato + TNT + aluminio + agua + material combustible	1500	De origen	-
" "	1130-1220	De origen	+
Nitrato amónico/metanol (90/10), pepitas			-
Nitrato amónico/nitrometano (87/13)			+
NA/fueloil (94/6), pepitas			-
NA/fueloil (94/6), 200 µm			+
TNT (gránulos)			+

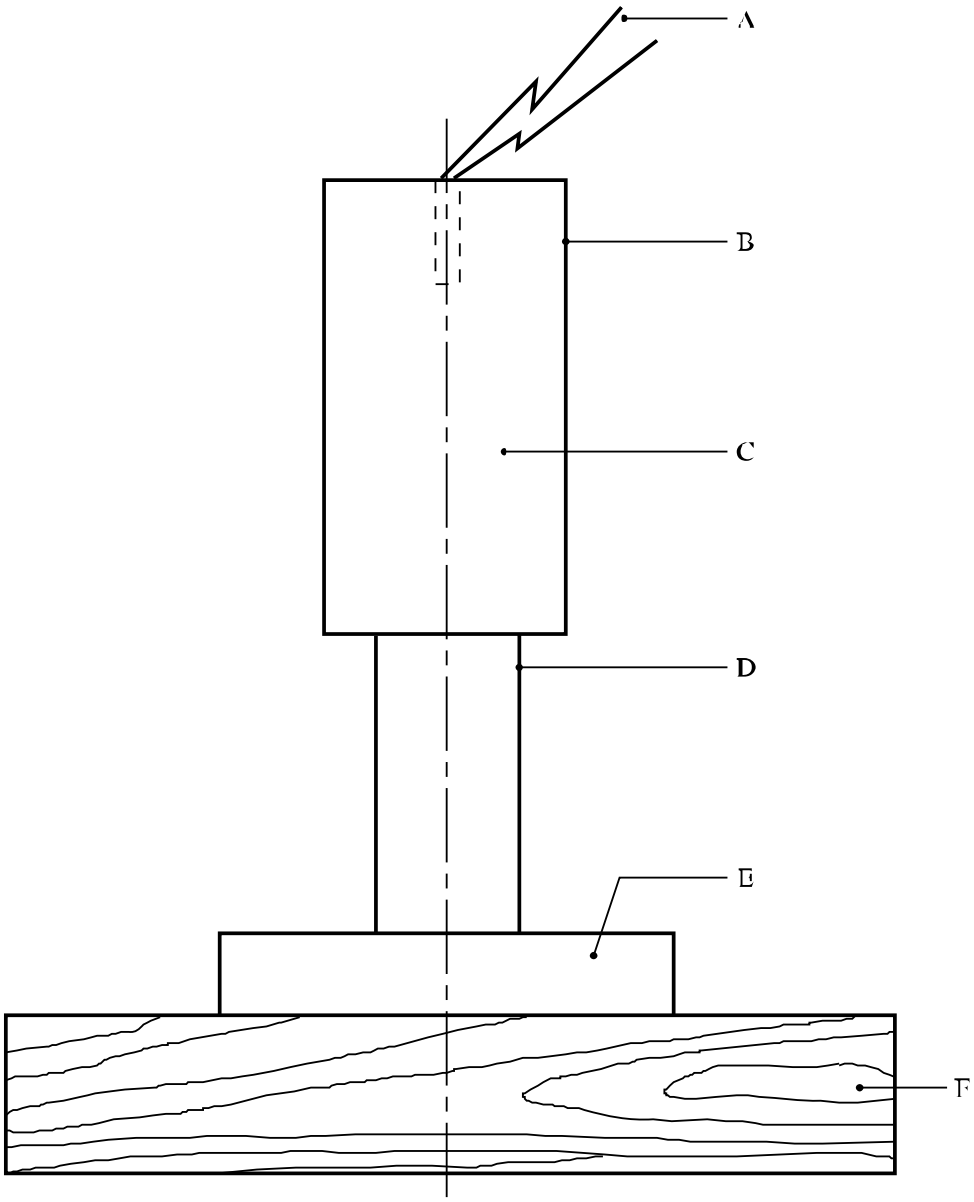
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Detonador	(B)	Tubo de cartón, de hojas arrolladas en espiral
(C)	Sustancia que se somete a la prueba	(D)	Placa testigo, de acero normal para construcciones
(E)	Anillo de acero		

Figura 15.4.1.1: PRUEBA DE SENSIBILIDAD AL CEBO (con placa testigo de acero)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Detonador eléctrico
(B) Tubo de cartón, de 8,6 cm de diámetro × 16,2 de longitud
(C) Muestra del explosivo
(D) Cilindro de plomo
(E) Placa de acero (15 × 15 × 2,5 cm)
(F) Plancha de madera (30 × 30 × 5 cm)

Figura 15.4.1.2: PRUEBA DE SENSIBILIDAD AL CEBO (con cilindro testigo de plomo)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

15.5 Serie 5, tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

15.5.1 *Prueba 5 b) i): Prueba de transición de deflagración a detonación (Francia)*

15.5.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la tendencia de la sustancia a experimentar la transición de deflagración a detonación.

15.5.1.2 *Aparatos y materiales*

El aparato consiste en un tubo de acero sin costura (tipo A37), de 40,2 mm de diámetro interior, 4,05 mm de espesor y 1.200 mm de longitud. Su resistencia estática es de 74,5 MPa. Como puede observarse en la figura 15.5.1.1, el tubo se cierra por ambos extremos con dos tapones roscados, y lleva una sonda con la que se verifica la velocidad de la onda de choque. El tubo se coloca horizontalmente sobre una placa testigo, de plomo, de 30 mm de espesor. Se inflama la sustancia mediante un hilo caliente de Ni/Cr (80/20) de 0,4 mm de diámetro y 15 mm de longitud, situado en un extremo del tubo.

15.5.1.3 *Procedimiento*

Se aloja en el tubo la sustancia que se desea someter a ensayo, recalcándola manualmente de manera que forme una masa compacta. Deben registrarse la temperatura, la densidad y el contenido en agua de la sustancia. Se hace pasar una corriente de 8 A durante tres minutos como máximo por el hilo de encendido para inflamar la sustancia. Se efectúan tres ensayos, a no ser que se produzca la transición de deflagración a detonación, como indica la compresión de la placa testigo de plomo o la velocidad de propagación medida.

15.5.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia no debe clasificarse en la división 1.5 si se produce una detonación en cualquiera de los ensayos. Para evaluar la existencia de una detonación, se tiene en cuenta:

a) Si la placa testigo de plomo lleva una huella de compresión que es típica de una detonación; y

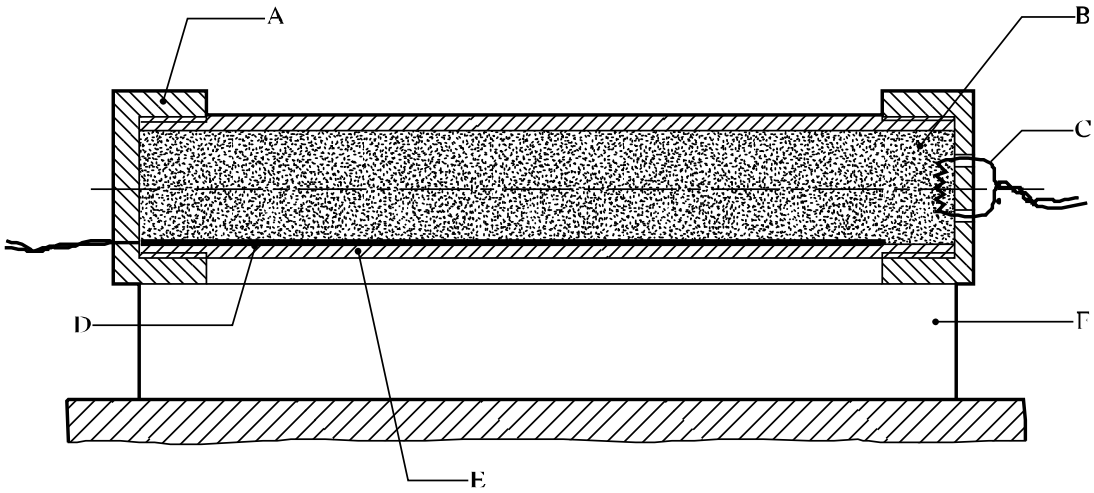
b) Si la velocidad de propagación medida es superior a la velocidad del sonido en la sustancia y si es constante en la parte del tubo más alejada del medio de iniciación.

Debe anotarse el recorrido antes de la detonación y la velocidad de propagación medida. Se considera que el resultado es negativo (-) si la placa testigo no lleva huella de compresión y si la velocidad de propagación, caso de haberse medido, es inferior a la velocidad del sonido en la sustancia.

15.5.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad (kg/m^3)**	**Resultado**
Dinamita gelatina (nitroglicerina/dinitrato de etilenglicol, 40%; nitrato amónico, 48%; aluminio, 8%, NC)	1.450	Positivo
Dinamita-diatomita (nitroglicerina, 60%; diatomita, 40%)	820	Positivo
Explosivo en suspensión acuosa espesa sensibilizado	1.570	Negativo
Gel aluminizado (sales oxidantes, 62,5%; aluminio, 15%; otras sustancias combustibles, 15%)	1.360	Negativo
NA/fueloil (tamaño de los granos de nitratoamónico, 0,85 mm; retención de fueloil, 15%)	860	Negativo

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tapones roscados, de fundición	(B)	Sustancia objeto de la muestra
(C)	Hilo de encendido	(D)	Sonda de verificación de la velocidad
(E)	Tubo de acero sin costura	(F)	Placa testigo, de plomo

Figura 15.5.1.1:
PRUEBA DE TRANSICIÓN DE DEFLAGRACIÓN A DETONACIÓN (FRANCIA)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

15.5.2 *Prueba 5 b) ii): Prueba de transición de deflagración a detonación (Estados Unidos)*

15.5.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la tendencia de una sustancia a experimentar una transición de deflagración a detonación.

15.5.2.2 *Aparatos y materiales*

En la figura 15.5.2.1 se representa esquemáticamente el aparato de ensayo. La muestra de la sustancia objeto de la prueba se aloja en un tubo de acero al carbono ("3 pulgadas, ficha 80" (A53, calidad B)), de 74 mm de diámetro interior y 7,6 mm de espesor de pared, que se cierra por uno de sus extremos con un tapón hembra roscado de acero forjado (tipo "3000 lb"), y por el otro con una placa testigo cuadrada, de acero dulce, de 13 cm de lado y 8 mm de espesor, soldada al tubo. En el centro del tubo se coloca un inflamador constituido por 5,0 g de pólvora negra (que pasó en el 100% por la malla N° 20 de 0,84 mm y quedó retenida en el 100% por la malla N° 50, de 0,297 mm). El artefacto del inflamador comprende un receptáculo cilíndrico de acetato de celulosa de 21 mm de diámetro y 0,54 mm de espesor, que se mantiene fijo mediante dos capas de cinta de ese mismo material, reforzado con hilo de nilón. La cápsula, que en el caso del inflamador de 5 g, tiene una longitud aproximada de 1,6 cm, lleva en su interior un pequeño circuito cerrado de 0,30 mm de diámetro, constituido por un hilo de resistencia (0,343 ohmios) de 25 mm de longitud, de una aleación de cromoníquel. Dicho circuito va conectado a dos hilos conductores aislados, de plomo y cobre, que atraviesan la pared del tubo por unos pequeños orificios, que se taponan con un aislamiento de resina epoxídica.

15.5.2.3 *Procedimiento*

La muestra, a la temperatura ambiente, se introduce en el tubo hasta una altura de 23 cm. En el centro del tubo se coloca el inflamador (cuyos cables se hacen pasar a través de los orificios existentes en la pared del tubo) y, una vez atirantados, se aíslan con resina epoxídica en dichos orificios. Seguidamente, se introduce el resto de la muestra, y se enrosca el tapón del extremo superior. En el caso de las muestras gelatinosas, se embute la sustancia de manera que su densidad en el interior del tubo sea la más próxima posible a la que tenga normalmente en condiciones de transporte. Cuando se trate de muestras en forma de granos, la densidad correcta es la que se obtiene golpeando repetidas veces el tubo con suavidad contra una superficie dura. El tubo se coloca en posición vertical y el inflamador se activa con una corriente de 15 amperios, procedente de un transformador de 20 voltios. Se efectúan tres ensayos, a no ser que antes se produzca una transición de deflagración a detonación.

15.5.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

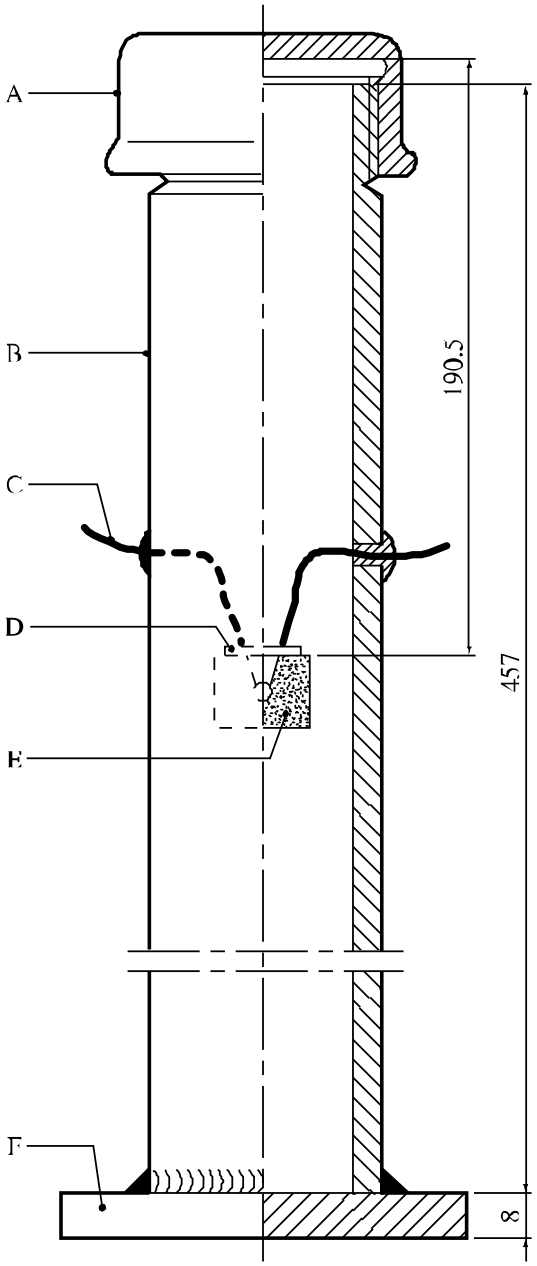
Se considera que el resultado de la prueba es positivo (+) y que la sustancia no debe clasificarse en la división 1.5 si se produce una perforación en la placa testigo. De lo contrario, se considera que el resultado es negativo (-).

15.5.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad (kg/m^3)**	**Resultado**
Dinamita NG[a]	900	+
Explosivo NA/FO (con aditivo combustible de baja densidad)	793	+
Explosivo en emulsión (sensibilizado con microesferas)	1.166	-
Explosivo en emulsión (sensibilizado con NC)	1.269	-
Explosivo en emulsión (sensibilizado con fueloil)	1.339	-
Nitrato amónico/fueloil (94/6)	795	-
Pentrita (humidificada con 25% de agua)[a]	1.033	+
Perclorato amónico (200 micrones)[a]	1.145	-

[a] *Utilizado a efectos de calibración, y no de clasificación en la división 1.5.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tapón de acero forjado	(B)	Tubo de acero
(C)	Cables del inflamador	(D)	Junta de estanqueidad
(E)	Inflamador	(F)	Placa testigo

Figura 15.5.2.1:
PRUEBA DE TRANSICIÓN DE DEFLAGRACIÓN A DETONACIÓN (ESTADOS UNIDOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

15.5.3 *Prueba 5 b) iii): Prueba de transición de deflagración a detonación*

15.5.3.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la tendencia de una sustancia a experimentar una transición de deflagración a detonación.

15.5.3.2 *Aparatos y materiales*

En las pruebas de comparación de la tendencia a la transición de deflagración a detonación, se utilizan tubos de acero de 40 mm de diámetro interior, 10 mm de espesor de pared y 1.000 mm de longitud. El tubo tiene una resistencia a la rotura de 130 MPa (véase la figura 15.5.3.1). Uno se sus extremos se cierra con un tapón roscado de metal u otro sistema de cierre, como por ejemplo un perno, un tornillo o una soldadura. Este cierre debe tener una resistencia al menos igual a la resistencia a la rotura del tubo. Se prepara un receptáculo roscado para el inflamador en la pared del tubo, a 100 mm del tapón. El inflamador consiste en una caja de acero dulce que contiene pólvora negra y lleva un cebo eléctrico. Una vez comprobada la conductividad del cebo con un aparato especial o un ohmímetro, se cargan $3 \pm 0{,}01$ g de pólvora negra (SGP N° 1) en la caja y se cierra la abertura de ésta con cinta de plástico.

15.5.3.3 *Procedimiento*

La sustancia objeto de prueba se introduce en el tubo hasta alcanzar su densidad normal a granel. El extremo de una mecha detonante (cargada con 12 g/m) de 10 m de longitud se introduce en la muestra en el extremo abierto del tubo hasta una profundidad de 100 mm, y a continuación se cierra el tubo con cinta de plástico. El tubo cargado se coloca horizontalmente sobre una placa de acero. El otro extremo de la mecha se fija a una placa de aluminio de 200 mm de longitud, 50 mm de ancho y 2 a 3 mm de espesor (véase la figura 15.5.3.1). El inflamador se enrosca en la pared del tubo, cuidándose de que la rosca esté limpia, y se conecta con el circuito de activación. Seguidamente, se prende fuego al material de prueba. Tras la operación se examina el tubo. Se anota el tipo de rotura (abolladura, rotura en grandes fragmentos o fragmentación en trozos pequeños), la presencia o ausencia de sustancia que no ha reaccionado y la presencia o ausencia de huellas de la mecha sobre la placa testigo. Deben efectuarse tres ensayos, a no ser que se produzca una transición de deflagración a detonación en el primer o segundo ensayos.

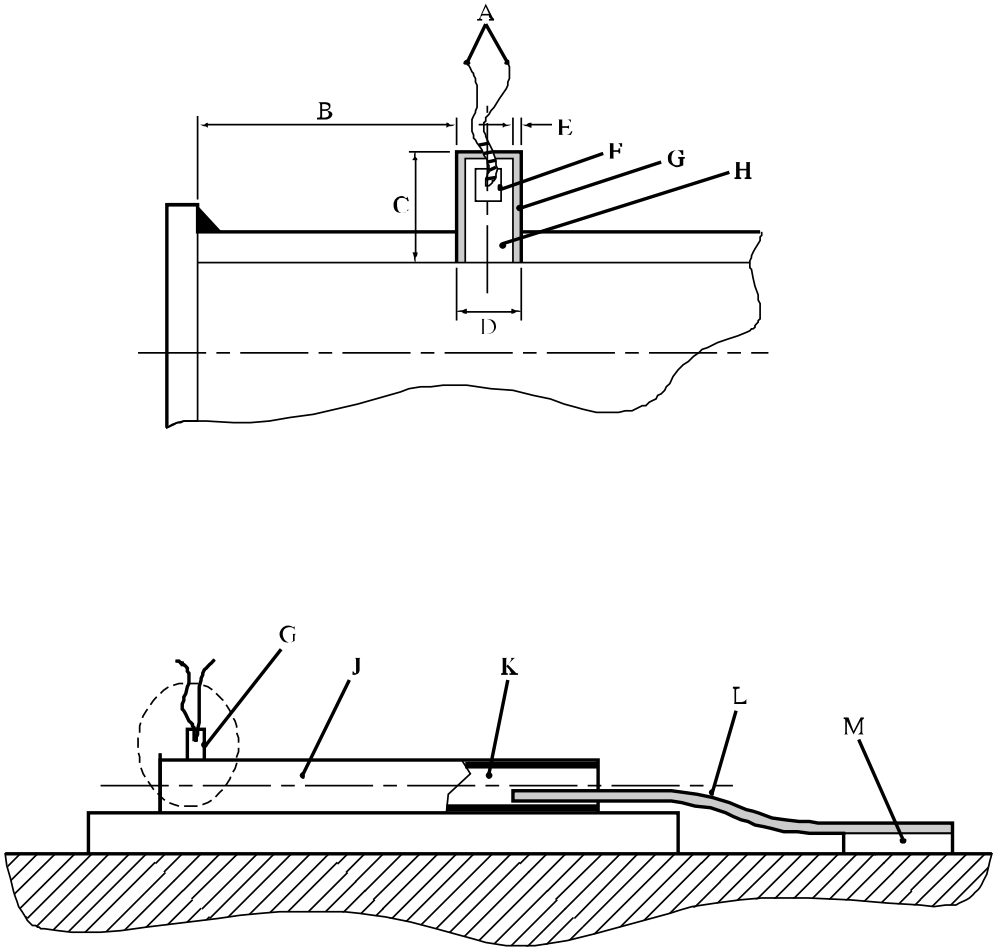
15.5.3.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Para evaluar los resultados de la prueba se tiene en cuenta el tipo de rotura sufrido por el tubo o la explosión de la mecha detonante. Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia no debe clasificarse en la división 1.5 si se ha producido la fragmentación del tubo. Se considera que el resultado es negativo (-) si no ha habido fragmentación.

15.5.3.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia (a 20ºC)	**Densidad (kg/m^3)**	**Resultado**
Amonal (nitrato amónico: 80,5%; trotilo: 15%; aluminio: 4,5%) (en polvo)	1.000	-
Amonal detonante N° 1 (nitrato amónico: 66%; hexógeno: 24%; aluminio: 5%)	1.100	+
Amonita 6Zhv (nitrato amónico: 79%; trotilo: 21%) (en polvo)	1.000	-
Granulita AS-4 (nitrato amónico: 91,8%; fueloil: 4,20%; aluminio: 4%)	1.000 (1.600)	-
Granulita ASR-8 (nitrato amónico: 70%; nitrato sódico: 4,20 %; aluminio: 8%; fueloil: 2%)	1.000 (1.600)	-
Perclorato amónico	1.100	-
Perclorato amónico más 1,5% de aditivos combustibles	1.100	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cables del inflamador	(B)	Distancia entre el inflamador y el extremo del tubo (100 mm)
(C)	Longitud del inflamador (40 mm)	(D)	Diámetro exterior del inflamador (16 mm)
(E)	Espesor de la caja del inflamador (1 mm)	(F)	Cebo
(G)	Inflamador	(H)	Pólvora negra
(J)	Tubo de acero sin costura, con tapón	(K)	Sustancia que se somete a la prueba
(L)	Mecha detonante	(M)	Placa testigo de aluminio

Figura 15.5.3.1: PRUEBA DE TRANSICIÓN DE DEFLAGRACIÓN A DETONACIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

15.6 Serie 5, tipo c): Disposiciones relativas a las pruebas

15.6.1 *Prueba 5 c): Prueba de reacción al fuego exterior, para las sustancias de la división 1.5*

15.6.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar si una sustancia, en el mismo tipo de embalaje/envase en que será transportada, puede hacer explosión bajo los efectos del fuego.

15.6.1.2 *Aparatos y materiales*

Se necesitan los siguientes artículos:

a) Uno o varios bultos de sustancia explosiva en el estado y la forma en que se presenta para el transporte. El volumen total del bulto (o de los bultos) que va a ser objeto de la prueba no debe ser inferior a 0,15 m^3; no es necesario que la cantidad neta de sustancia explosiva exceda de 200 kg;

b) Una parrilla metálica, que servirá de soporte sobre el que se colocarán los productos sobre el fuego para calentarlos debidamente. Si se utiliza un fuego de tablillas de madera entrecruzadas, la parrilla debe colocarse a 1,0 m del nivel del suelo; si se utiliza algún hidrocarburo líquido, la parrilla debe estar a 0,5 m del suelo;

c) Fleje o alambre para sujetar, de ser necesario, los bultos sobre la parrilla;

d) Cantidad suficiente de combustible para mantener el fuego durante 30 minutos, como mínimo, o un tiempo suficiente para que la sustancia reaccione al fuego;

e) Un medio apropiado de inflamación para prender fuego al combustible en al menos dos lados; por ejemplo, queroseno para impregnar la madera o inflamadores pirotécnicos para un fuego de virutas de madera;

f) Cámaras de cine o vídeo (preferentemente, de toma rápida y normal) para grabar las operaciones en color.

15.6.1.3 *Procedimiento*

15.6.1.3.1 Los bultos, en el número prescrito, y en el estado y forma en que se presenten para el transporte, se colocan sobre la parrilla metálica lo más cerca posible unos de otros. Si es necesario, deben ir rodeados de un fleje de acero que les sirva de soporte durante la prueba. El combustible se coloca debajo de la parrilla de manera que los bultos queden envueltos en llamas. Puede ser necesario tomar precauciones contra los vientos laterales a fin de evitar pérdidas de calor. Para hacer fuego pueden utilizarse, entre otros, los medios siguientes: tablillas de madera entrecruzadas, combustible líquido y quemador de propano.

15.6.1.3.2 El método recomendado consiste en producir fuego con madera cuya combustión tenga una relación aire/combustible equilibrada (evitándose así una excesiva presencia de humo, que dificultaría la observación) y cuya intensidad y duración sean suficientes para provocar la reacción de muy diversos tipos de explosivos embalados/envasados en un plazo de 10 a 30 minutos. Se pueden utilizar tablillas de madera secadas al aire (de 50 mm de lado), de manera que formen un enrejado debajo de la parrilla (a 1 m del suelo) y hasta la base de la parrilla que soporta los bultos. El montón de madera debe sobresalir en por lo menos 1 m en cada dirección con respecto a los bultos y debe haber una distancia lateral de unos 100 mm entre las tablillas. Debe utilizarse combustible suficiente para mantener el fuego por lo menos durante 30 minutos o hasta que la sustancia u objeto haya tenido tiempo más que suficiente para reaccionar al fuego.

15.6.1.3.3 En vez del fuego con madera, puede utilizarse un recipiente con un combustible líquido apropiado, solo o combinado con madera, o un gas. Si se utiliza un combustible líquido, la superficie del recipiente ha de ser mayor que la de los bultos, debiendo haber una separación de, por lo menos, 1,0 m en

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

cada dirección. Entre el plano de la parrilla y el recipiente debe haber una separación de 0,5 m aproximadamente. Antes de utilizar este método, hay que tener en cuenta la posibilidad de una extinción del fuego o de una interacción negativa entre los explosivos y el combustible líquido, a consecuencia de la cual puedan desvirtuarse los resultados de la prueba. Si se utiliza un fuego de gas, la parrilla debe situarse sobre el quemador a una altura tal que los bultos queden envueltos en llamas.

15.6.1.3.4 El sistema de encendido debe colocarse de tal manera que el combustible se inflame simultáneamente por dos lados, siendo uno de éstos el lado del viento. La prueba no debe efectuarse cuando la velocidad del viento exceda de 6 m/s**.** ***Tras la extinción del fuego, debe respetarse un plazo de seguridad, fijado por el organismo encargado de las pruebas***.

15.6.1.3.5 Se realizan observaciones para constatar indicios de explosión, tales como un ruido violento o la proyección de fragmentos desde la zona del fuego.

15.6.1.3.6 Normalmente, la prueba sólo se efectúa una vez, pero si se agota la madera o cualquier otro combustible utilizado y queda una cantidad apreciable de sustancia explosiva sin consumir en los rescoldos o cerca de ellos, la prueba debe efectuarse de nuevo utilizando más combustible o recurriendo a un método diferente, a fin de incrementar la intensidad y/o duración del fuego. Si los resultados de la prueba no permiten determinar la división de riesgo, debe efectuarse otra prueba.

15.6.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si se produce una explosión en esta prueba, se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia no debe clasificarse en la división 1.5.

15.6.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Nitrato amónico/fueloil	-
Nitrato amónico/fueloil (con 6% de polvo de aluminio)	-
Nitrato amónico/fueloil (con 6% de material combustible)	-
Nitrato amónico/fueloil, en emulsión (con 1% de microesferas)	-
Nitrato amónico/fueloil, en emulsión (con 3,4% de microesferas)	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 16

SERIE DE PRUEBAS 6

16.1 Introducción

16.1.1 Los resultados de los cuatro tipos de pruebas de la serie 6 sirven para determinar cuál de las divisiones 1.1, 1.2, 1.3 ó 1.4 es más conforme con el comportamiento de un producto cuando a una carga le afecte un fuego de origen interno o externo o una explosión de origen interno (casillas 26, 28, 30, 32 y 33 de la figura 10.3). Dichos resultados también son necesarios para determinar si un producto puede asignarse al grupo de compatibilidad S de la división 1.4 o si debe o no excluirse de la clase 1 (casillas 35 y 36 de la figura 10.3). Existen cuatro tipos de pruebas:

Tipo 6 a): una prueba que se efectúa con un solo bulto para determinar si hay explosión de toda la masa;

Tipo 6 b): una prueba que se efectúa con bultos de una sustancia explosiva o de objetos explosivos, o con objetos explosivos no embalados/envasados, para determinar si la explosión se propaga de un bulto a otro o de un objeto no embalado/envasado a otro;

Tipo 6 c): una prueba que se efectúa con bultos de una sustancia explosiva o de objetos explosivos, o con objetos explosivos no embalados/envasados, para determinar si hay explosión de toda la masa o un riesgo de proyecciones peligrosas, de radiación térmica y/o de combustión violenta o cualquier otro efecto peligroso cuando esos bultos u objetos sean afectados por un fuego; y

Tipo 6 d): Prueba con un bulto, en espacio no limitado, de objetos explosivos a los que se aplique la disposición especial 347 del capítulo 3.3 de la Reglamentación Modelo, para determinar si fuera del bulto hay efectos peligrosos resultantes de la inflamación o iniciación accidentales del contenido.

16.2 Métodos de prueba

16.2.1 En el cuadro 16.1 se enumeran los métodos de prueba que se utilizan en la actualidad.

Cuadro 16.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE 6

Código	Nombre de la prueba	Sección
6 a)	Prueba con un solo bulto[a]	16.4.1
6 b)	Prueba con una pila de bultos[a]	16.5.1
6 c)	Prueba de reacción al fuego exterior (prueba de la hoguera)[a]	16.6.1
6 d)	Prueba con un solo bulto en espacio no limitado[a]	16.7.1

[a] *Prueba recomendada.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.2.2 Las pruebas 6 a), 6 b), 6 c) y 6 d) se realizan por orden alfabético. No obstante, no siempre es necesario efectuar todas las pruebas. Puede prescindirse de la prueba 6 a) si los objetos explosivos se transportan sin embalaje/envase o si el bulto contiene un solo objeto. Puede prescindirse de la prueba 6 b) si, en cada prueba 6 a):

a) El exterior del bulto no ha sufrido ningún daño tras una detonación y/o inflamación internas; o

b) El contenido del bulto no llega a explosionar o la fuerza de la explosión es tan escasa que no existe riesgo de que se propague de un bulto a otro en la prueba 6 b).

Puede prescindirse de la prueba 6 c) si, en una prueba 6 b) se produce una explosión de manera prácticamente instantánea de la casi totalidad del contenido de la pila de bultos. En tal caso, el producto se asigna a la división 1.1.

La prueba de tipo 6 d) es una prueba que se utiliza para determinar si es procedente la clasificación en la división 1.4, grupo de compatibilidad S, y sólo se utiliza si se aplica la disposición especial 347 del capítulo 3.3 de la Reglamentación Modelo.

Los resultados de las series de pruebas 6 c) y 6 d) indican si es procedente la clasificación en la división 1.4, grupo de compatibilidad S; de lo contrario, la clasificación se hará en la división 1.4, pero en un grupo de compatibilidad distinto del S.

16.2.3 Si una sustancia da un resultado negativo (no hay propagación de la detonación) en la prueba de tipo 1 a), se puede prescindir de la prueba 6 a) con un detonador. Si una sustancia da un resultado negativo (deflagración nula o lenta) en una prueba de tipo 2 c), se puede prescindir de la prueba 6 a) con inflamador.

16.2.4 En el Glosario del apéndice B de la Reglamentación Modelo se explican algunos términos utilizados en la asignación de divisiones y grupos de compatibilidad (por ejemplo, explosión de la totalidad de la masa o de la totalidad del contenido, objetos pirotécnicos, etc).

16.3 Condiciones de las pruebas

16.3.1 Las pruebas de la serie 6 deben efectuarse con bultos de sustancias y objetos explosivos en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte. La disposición material de los productos debe ser realista en lo que se refiere al método de embalaje/envasado y a las condiciones de transporte, y ha de ser tal que la prueba produzca los resultados más desfavorables. En el caso de los objetos explosivos que hayan de transportarse sin embalaje/envase, las pruebas deben efectuarse con los objetos no embalados/envasados. Todos los tipos de embalaje/envase que contengan sustancias u objetos deben someterse a las pruebas, a menos que:

a) El producto, con cualquier embalaje/envase, pueda ser clasificado sin ambigüedad por un experto en una división de riesgo, basándose en los resultados de otras pruebas o en la información disponible; o

b) El producto, con cualquier embalaje/envase, se clasifique en la división 1.1.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.4 Serie 6, tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

16.4.1 *Prueba 6 a): Prueba con un solo bulto*

16.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba se efectúa con un solo bulto para determinar si se produce una explosión de todo el contenido.

16.4.1.2 *Aparatos y materiales*

Se necesitan los siguientes artículos:

a) Un detonador para provocar la ignición de la sustancia u objeto;

b) Un inflamador cuya potencia sea la estrictamente necesaria para provocar la inflamación de la sustancia u objeto;

c) Materiales necesarios para formar una barrera de contención; y

d) Una chapa de acero dulce, de 3,0 mm de espesor, que se utiliza como placa testigo.

Puede utilizarse un instrumento de medición de la onda expansiva.

16.4.1.3 *Procedimiento*

16.4.1.3.1 La prueba se efectúa con los bultos de sustancias y objetos explosivos, en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte. En el caso de los objetos explosivos que hayan de transportarse sin embalaje/envase, las pruebas deben efectuarse con los objetos no embalados/envasados. La utilización de un artificio iniciador o inflamador dependerá de los supuestos que se indican a continuación.

16.4.1.3.2 Con sustancias embaladas/envasadas:

a) Si la sustancia está concebida para que funcione por detonación, debe efectuarse la prueba con un detonador normalizado (apéndice 1);

b) Si la sustancia está concebida para que funcione por deflagración, debe efectuarse la prueba con un inflamador que, sin contener más de 30 g de pólvora negra, sea de potencia suficiente para provocar la inflamación de la sustancia que se encuentra en el interior del bulto. El inflamador debe colocarse en el centro de la sustancia en el bulto;

c) Las sustancias no concebidas para utilizarse como explosivos, pero que, con carácter provisional, están adscritas a la clase 1, se prueban primero con un detonador normalizado (apéndice 1) y, si no se produce explosión, con un inflamador, como en el apartado b) precedente. Si una sustancia da un resultado negativo (no hay propagación de la detonación) en la prueba del tipo 1 a), puede prescindirse de la prueba con un detonador, y si una sustancia da un resultado negativo (deflagración nula o lenta) en la prueba del tipo 2 c), puede prescindirse de la prueba con inflamador.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.4.1.3.3 Con objetos embalados/envasados[1]:

a) Objetos provistos de medios de iniciación o inflamación propios:

se hace que un objeto que esté próximo al centro del bulto funcione por sus propios medios de iniciación o inflamación. De no ser esto posible, se sustituyen los medios de iniciación o inflamación del objeto por otra forma de excitación que produzca el efecto deseado.

b) Objetos no provistos de medios de iniciación o ignición propios:

i) se hace que funcione en la forma prevista un objeto que esté próximo al centro del bulto, o bien

ii) se sustituye un objeto que esté próximo al centro del bulto por otro que se pueda hacer funcionar para producir el mismo efecto.

16.4.1.3.4 Se coloca el bulto en el suelo, sobre una placa testigo, de acero. Para formar una barrera de contención, se recomienda utilizar recipientes de forma y tamaño análogos a los del bulto objeto de la prueba, totalmente llenos de tierra o de arena, que se colocan en torno a aquél, lo más cerca posible, de forma que la barrera tenga, en todas las direcciones, un espesor mínimo de 0,5 m en el caso de un bulto que no exceda de 0,15 m^3, o de 1 m en el caso de que el bulto rebase ese volumen. Aparte del procedimiento descrito, pueden utilizarse también cajas o sacos llenos de tierra o de arena, con los que se rodea y cubre el bulto, o bien arena suelta.

16.4.1.3.5 Se aplica el medio de iniciación a la sustancia u objeto y se observan los efectos siguientes: efectos térmicos, proyecciones, detonación, deflagración o explosión de la totalidad del contenido del bulto. ***Tras la iniciación, debe respetarse un plazo de seguridad, fijado por el organismo encargado de las pruebas***. Deben efectuarse tres ensayos, a no ser que se produzca un resultado decisivo en el primer o segundo ensayo (por ejemplo, explosión de la totalidad del contenido). Si los resultados del número de ensayos recomendado no permiten extraer una interpretación inequívoca de los resultados, debe incrementarse el número de ensayos.

16.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

La explosión en masa (véase la definición en el capítulo 2.1 de la Reglamentación Modelo) indica que el producto puede clasificarse en la división 1.1. Como signos de tal explosión pueden citarse los siguientes:

a) Formación de un hoyo en el lugar de la prueba;

b) Deterioro de la placa testigo colocada bajo el bulto;

c) Onda expansiva verificada mediante un instrumento de medida;

d) Disgregación y dispersión de la materia de que se compone la barrera de contención.

Si se acepta el producto en la división 1.1, no es necesario efectuar más ensayos; en caso contrario, se procede a efectuar una prueba del tipo 6 b).

---

[1] *Con la salvedad de que, en el caso de los objetos que contengan una cantidad muy reducida de una o más sustancias del grupo de compatibilidad A únicamente, se excita simultáneamente un número suficiente de ellos, o de otros objetos que sean equivalentes, para provocar la explosión de al menos 0,2 g de explosivo primario.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Embalaje/envase**	**Dispositivo de iniciación**	**Efectos**	**Resultado**
Almizcle xileno	Bidón de cartón de 50 kg	Detonador	Descomposición localizada	Excluido de la división 1.1
Almizcle xileno	Bidón de cartón de 50 kg	Inflamador	Descomposición localizada	Excluido de la división 1.1
Perclorato amónico (12 micrones)	Bidón de cartón de 10 kg	Detonador	Detonación	Puede clasificarse en la división 1.1
Propulsante de base única (no poroso)	Bidón de cartón de 60 *l*	Inflamador	No hay explosión	Excluido de la división 1.1
Propulsante de base única (poroso)	Bidón de cartón de 60 *l*	Inflamador	Explosión	Puede clasificarse en la división 1.1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.5 Serie 6, tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

16.5.1 *Prueba 6 b): Prueba con una pila de bultos*

16.5.1.1 *Introducción*

Esta prueba se efectúa con bultos que contienen una sustancia explosiva u objetos explosivos, o con objetos explosivos no embalados/envasados, para determinar si una explosión se propaga de un bulto a otro o de un objeto no embalado/envasado a otro.

16.5.1.2 *Aparatos y materiales*

Se necesitan los siguientes artículos:

a) Un detonador para provocar la inflamación de la sustancia u objeto;

b) Un inflamador cuya potencia sea lo estrictamente necesaria para provocar la inflamación de la sustancia u objeto;

c) materiales adecuados para formar una barrera de contención; y

d) Una chapa de acero dulce, de 3,0 mm de espesor, que actúa de placa testigo.

Puede utilizarse, además, un instrumento de medida de la onda expansiva.

16.5.1.3 *Procedimiento*

La prueba se efectúa con una pila de bultos que contienen un producto explosivo, o con una pila de objetos no embalados/envasados, en ambos casos en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte. En el caso de los objetos explosivos que hayan de transportarse sin embalaje/envase, las pruebas se efectúan con los objetos no embalados/envasados. Se apilan en el suelo, sobre una placa testigo de acero, bultos u objetos cuyo volumen total sea de 0,15 m^3. Si el volumen de un solo bulto (u objeto no embalado/envasado) excede de 0,15 m^3, se coloca al menos un bulto, a manera de receptor, en la posición más propicia en cuanto a favorecer la comunicación entre los distintos productos (véase el párrafo 16.3.1). Si no se conoce dicha posición, se utilizan varios receptores. Para formar una barrera de contención, se recomienda utilizar recipientes totalmente llenos de tierra o de arena, y de forma y tamaño análogos a los de los bultos que se han de someter a la prueba, que se colocan en torno a éstos, lo más cerca posible, de modo que la barrera tenga un espesor mínimo de 1 m en todas las direcciones. Aparte de este procedimiento, pueden utilizarse también cajas o sacos llenos de tierra o de arena, con los que se rodea y cubre la pila, o bien arena suelta. En este último caso, la pila debe cubrirse o protegerse de manera que no penetre ninguna arena en los intersticios existentes entre los bultos o los objetos no embalados/envasados. En el caso de los objetos que se transporten sin embalaje/envase, la barrera de contención es análoga a la que se utiliza con los que llevan embalaje/envase. La utilización de un artificio iniciador o inflamador dependerá de los supuestos que se indican a continuación.

16.5.1.4 Con sustancias embaladas/envasadas:

a) Si la sustancia está concebida para que funcione por detonación, se efectúa la prueba con un detonador normalizado (apéndice 1).

b) Si la sustancia está concebida para que funcione por deflagración, se efectúa la prueba con un inflamador que, sin contener más de 30 g de pólvora negra, sea de potencia suficiente para provocar la inflamación de la sustancia alojada en el interior de uno de los bultos. El inflamador debe colocarse en el centro de la sustancia, en el bulto.

c) Las sustancias no concebidas para utilizarse como explosivos pero que, con carácter provisional, estén adscritas a la clase 1, se ensayan utilizando cualquier medio de iniciación que dio un resultado positivo en una prueba del tipo 6 a).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.5.1.5 Con objetos embalados/envasados y no embalados/envasados[2]:

a) Objetos provistos de medios de iniciación o de inflamaciónpropios:

se hace que un objeto que esté próximo al centro de un bulto que, a su vez, esté próximo al centro de la pila funcione por sus propios medios de iniciación o de inflamación. De no ser esto posible, se sustituyen los medios de iniciación o de ignición del objeto por otra forma de excitación que produzca el efecto deseado.

b) Objetos no provistos de medios de iniciación o inflamación propios:

i) se hace que funcione en la forma prevista un objeto que esté próximo al centro del bulto que, a su vez, esté próximo al centro de la pila, o bien

ii) se sustituye un objeto que esté próximo al centro de un bulto que, a su vez, esté próximo al centro de la pila, por otro que se pueda hacer funcionar y que produzca el mismo efecto.

16.5.1.6 El punto de iniciación o de inflamación ha de estar situado en un bulto que se encuentre próximo al centro de la pila. A los objetos que se transporten sin embalaje/envase se les aplica el mismo procedimiento de ensayo que a los objetos embalados/envasados.

16.5.1.7 Se aplica el medio de iniciación a la sustancia u objeto y se observan los efectos siguientes: efectos térmicos, proyecciones, detonación, deflagración o explosión de la totalidad del contenido del bulto. ***Tras la iniciación, debe respetarse un plazo de seguridad, fijado por el organismo encargado de las pruebas***. Deben efectuarse tres ensayos, a no ser que se produzca un resultado decisivo en el primer o segundo ensayo (por ejemplo, explosión de la totalidad del contenido). Si los resultados del número de ensayos recomendado no permiten extraer una interpretación inequívoca de los resultados, debe incrementarse el número de ensayos.

16.5.1.8 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si en la prueba 6 b) se produce una explosión casi instantánea del contenido de más de un bulto o de un objeto no embalado/envasado, el producto debe clasificarse en la división 1.1. Como signos de la explosión pueden citarse los siguientes:

a) Formación, en el lugar de la prueba, de un hoyo mucho más grande que el que resulta de la explosión de un solo bulto o de un objeto no embalado/envasado;

b) Deterioro de la placa testigo colocada bajo el bulto, mucho más importante que el que resulta de la explosión de un solo bulto o de un objeto no embalado/envasado;

c) Efectos de la onda expansiva muy superiores a los que resultan de la explosión de un solo bulto o de un objeto no embalado/envasado; y

d) Disgregación y dispersión violentas de la mayor parte del material de que se compone la barrera de contención.

En caso contrario, se procede a efectuar una prueba del tipo 6 c).

16.5.1.9 *Ejemplos de resultados*

No se pueden dar ejemplos de los resultados, ya que éstos se aplican específicamente al bulto u objeto que se sometió a prueba.

---

[2] *Con la salvedad de que, en el caso de los objetos que contengan una muy reducida cantidad de una o más sustancias del grupo de compatibilidad A únicamente, se excita simultáneamente un número suficiente de ellos, o de otros objetos que sean equivalentes, para provocar la explosión de al menos 0,2 g de explosivo primario.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.6 Serie 6, tipo c): Disposiciones relativas a las pruebas

16.6.1 *Prueba 6 c): Prueba de reacción al fuego exterior (prueba de la hoguera)*

16.6.1.1 *Introducción*

Esta prueba se efectúa con bultos que contienen una sustancia explosiva u objetos explosivos, o con objetos explosivos no embalados/envasados, para determinar si se produce una explosión en masa o si existe un riesgo de proyecciones peligrosas, radiación térmica y/o fuego violento o cualquier otro efecto peligroso en caso de fuego.

16.6.1.2 *Aparatos y materiales*

Se necesitan los siguientes artículos:

a) Si el volumen del bulto de sustancia u objetos, o de un objeto no embalado/envasado, es inferior a 0,05 m^3, un número suficiente de bultos o de objetos no embalados/envasados para que el volumen total sea de 0,15 m^3 como mínimo;

b) Si el volumen del bulto de sustancia u objetos, o de un objeto no embalado/envasado, es igual o superior a 0,05 m^3, tres bultos u objetos no embalados/envasados. Si el volumen de un bulto o de un objeto no embalado/envasado es superior a 0,15 m^3, la autoridad competente puede renunciar a exigir que se sometan a prueba tres bultos u objetos no embalados/envasados;

c) Una parrilla metálica, para mantener los productos por encima del combustible y así permitir un caldeo adecuado. Si se utiliza un fuego de tablillas de madera entrecruzadas, la parrilla debe estar situada a 1,0 m del suelo; si se utiliza un hidrocarburo líquido, la parrilla debe estar situada a 0,5 m del suelo;

d) Flejes y alambres para sujetar, en caso necesario, los bultos u objetos no embalados/ envasados sobre la parrilla;

e) Suficiente combustible para mantener el fuego durante 30 minutos por lo menos o, en caso necesario, hasta que la sustancia u objeto haya tenido claramente tiempo suficiente para reaccionar al fuego (véase 16.6.1.3.8);

f) Medios de inflamación suficientes para prender fuego al combustible en al menos dos lados (por ejemplo, queroseno para un fuego de madera e inflamadores pirotécnicos para un fuego de virutas);

g) Tres chapas de aluminio de tipo 1100-0 (dureza Brinell: 23; resistencia a la tracción 90 MPa) de 2000 mm × 2000 mm × 2 mm, o equivalente, que se utilizarán como pantallas testigo, con soportes que permitan mantenerlas en posición vertical. Las pantallas testigo se montarán rígidamente sobre sus marcos. Cuando se utilice más de un panel como pantalla testigo, cada panel deberá estar sujeto en todas las juntas.

h) Cámaras de cine o vídeo, preferentemente de toma rápida y normal, para filmar en color las reacciones.

También pueden utilizarse instrumentos de medida de la onda expansiva, radiómetros y los correspondientes aparatos registradores.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.6.1.3 *Procedimiento*

16.6.1.3.1 El número requerido de bultos u objetos no embalados/envasados, en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte, se colocan lo más cerca posible unos de otros sobre la parrilla. Los bultos se orientarán de forma que aumenten al máximo las probabilidades de que las proyecciones vayan directamente contra las pantallas testigo. Si es necesario, los bultos u objetos no embalados/envasados pueden rodearse de un fleje de acero para sostenerlos durante la prueba. El combustible se sitúa debajo de la parrilla de manera que el fuego envuelva los bultos u objetos. Puede ser necesario tomar precauciones para evitar que los vientos laterales disipen el calor. Entre los diversos métodos de calentamiento cabe citar el fuego con tablillas de madera entrecruzadas, o un fuego de combustible líquido o de gas que produzca una temperatura de llama de 800 ºC como mínimo.

16.6.1.3.2 Un método consiste en utilizar un fuego de madera, que ofrece una relación aire/combustible equilibrada, lo que evita la emisión de humos excesivos que dificultarían la observación, y que tiene una intensidad y duración suficientes para provocar la reacción de muchas clases de explosivos embalados/envasados en un plazo de 10 a 30 minutos. Se pueden apilar las tablillas de madera secadas al aire (de unos 50 mm de lado) de manera que formen un enrejado debajo de la parrilla (a 1 m del suelo), hasta tocar la base de la parrilla que soporta los bultos o los objetos no embalados/envasados. Los listones de madera deben sobresalir en por lo menos 1,0 m en cada dirección horizontal con respecto a los bultos o a los objetos no embalados/envasados, y debe haber una distancia lateral de unos 100 mm entre las tablillas.

16.6.1.3.3 En vez de fuego de madera, puede utilizarse un recipiente con un combustible líquido apropiado, solo o combinado con madera, siempre que las condiciones de la prueba sean igualmente rigurosas. Si se utiliza un combustible líquido, la superficie del recipiente ha de ser mayor que la de los bultos u objetos no embalados/envasados, con una separación mínima de 1,0 m en cada dirección. Entre el plano de la parrilla y el recipiente debe haber una separación de 0,5 m aproximadamente. Antes de utilizar este método, hay que tener en cuenta la posibilidad de una extinción del fuego o de una interacción negativa entre los explosivos y el combustible líquido, a consecuencia de la cual pueden desvirtuarse los resultados de la prueba.

16.6.1.3.4 Si se utiliza un gas como combustible, la superficie de combustión debe rebasar a la de los bultos u objetos no embalados/envasados en una distancia mínima de 1,0 m en cada dirección. El abastecimiento de gas se hará de tal forma que quede asegurado un fuego uniformemente distribuido en torno a los bultos. La bombona de gas será suficientemente grande como para que se pueda mantener el fuego durante 30 minutos por lo menos. El gas se puede encender o bien por un medio pirotécnico de inflamación por control remoto o bien por la liberación a distancia del gas adyacente a una fuente de inflamación preexistente.

16.6.1.3.5 Las pantallas testigo se colocan en posición vertical en tres cuadrantes, a una distancia de 4 m del borde de la pila de los bultos u objetos no embalados/envasados. No se coloca ninguna pantalla en el cuadrante situado en la dirección del viento, dado que una prolongada exposición a las llamas puede modificar la resistencia de las chapas de aluminio a las proyecciones. Las chapas deben colocarse de manera que su centro esté al mismo nivel que el de los bultos u objetos no embalados/envasados, a menos que éstos estén a menos de 1,0 m del suelo, en cuyo caso las chapas deben tocar el suelo. Si las chapas llevan perforaciones o huellas de impacto antes de la prueba, éstas deberán llevar marcas que las distingan claramente de las que se produzcan durante la prueba.

16.6.1.3.6 El sistema de inflamación debe colocarse de tal manera que el combustible se inflame simultáneamente por dos lados, siendo uno de éstos el lado del viento. La prueba no debe efectuarse cuando la velocidad del viento exceda de 6 m/s. ***Tras la extinción del fuego, debe respetarse un plazo de seguridad, fijado por el organismo encargado de las pruebas***.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.6.1.3.7 Se trata de verificar los fenómenos siguientes:

a) Signos de explosión;

b) Proyecciones potencialmente peligrosas; y

c) Efectos térmicos.

16.6.1.3.8 Normalmente, la prueba sólo se efectúa una vez, pero, si se agota la madera o cualquier otro combustible utilizado y queda una cantidad considerable de sustancia explosiva sin consumir en los rescoldos o cerca de ellos, la prueba debe efectuarse de nuevo utilizando más combustible o recurriendo a un método diferente, a fin de incrementar la intensidad y/o duración del fuego. Si los resultados de la prueba no permiten determinar la división del riesgo, debe efectuarse otra prueba.

16.6.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

16.6.1.4.1 A continuación se enuncian los criterios que se siguen para responder a las preguntas que se formulan en la figura 10.3 (casillas 26, 28, 30, 32, 33, 35 y 36) a fin de evaluar los resultados y clasificar el producto.

16.6.1.4.2 Si se produce una explosión en masa, se clasifica el producto en la división 1.1. Se considera que hay explosión en masa si una proporción importante del contenido explosiona, de suerte que para evaluar el riesgo práctico se parte del supuesto de que ha habido una explosión simultánea de todo el contenido explosivo de los bultos o de los objetos no embalados/envasados.

16.6.1.4.3 Si no se produce una explosión en masa, pero se observa alguno de los efectos siguientes:

a) La perforación de alguna de las tres pantallas testigo (véase el párrafo 16.6.1.3.5);

b) Una proyección de metal con una energía cinética superior a 20 J, evaluada por la relación distancia-masa que se da en la figura 16.6.1.1;

se clasifica el producto en la división 1.2.

16.6.1.4.4 Si no se produce ninguno de los efectos por los que se clasificaría el producto en las divisiones 1.1 ó 1.2, pero se observa alguno de los efectos siguientes:

a) Una bola o un chorro de fuego que se expandan más allá de alguna de las tres pantallas testigo;

b) La proyección de porciones del producto, inflamadas, a más de 15 m de distancia del borde de los bultos o de los objetos no embalados/envasados;

c) Un tiempo de incineración del producto medido en menos de 35 segundos por 100 kg netos de masa explosiva (véase el párrafo 16.6.1.4.8 Notas para establecer una escala de las mediciones del tiempo en la evaluación de los efectos del flujo térmico). Además, en el caso de objetos y sustancias de baja energía, la radiancia del producto, al arder, supera a la del fuego en más de 4 kW/m^2, a una distancia de 15 m del borde de los bultos o de los objetos no embalados/envasados. La radiancia se mide por espacio de 5 segundos durante el período de máximo flujo;

se clasifica el producto en la división 1.3.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.6.1.4.5 Si no se produce ninguno de los efectos por los que se clasificaría el producto en las divisiones 1.1, 1.2 ó 1.3, pero se observa alguno de los efectos siguientes:

a) Una bola o un chorro de fuego que sobrepasen en más de 1 m las llamas del fuego;

b) La proyección de porciones del producto, inflamadas, a más de 5 m de distancia del borde de los bultos o de los objetos no embalados/envasados;

c) La formación de una hendidura de más de 4 mm en algunas de las pantallas testigo;

d) Una proyección de metal con una energía cinética superior a 8 J, evaluada por la relación distancia-masa que se da en la figura 16.6.1.1;

e) Un tiempo de incineración del producto medido en menos de 330 segundos por 100 kg netos de masa explosiva (véase 16.6.1.4.8: Notas para establecer una escala de las mediciones del tiempo en la evaluación de los efectos del flujo térmico);

el producto se clasifica en la división 1.4 y se le asigna a un grupo de compatibilidad que no sea el S.

16.6.1.4.6 Si no se produce ninguno de los efectos por los que se clasificaría el producto en las divisiones 1.1, 1.2, 1.3 ó 1.4 en un grupo de compatibilidad distinto del S, y se observan efectos térmicos, explosivos o de proyección que no podrían dificultar en gran medida los trabajos de extinción de incendios ni otras formas de actuación de urgencia en la inmediata proximidad y si el riesgo se limita al interior del bulto, el producto en cuestión se clasifica en la división 1.4, en el grupo de compatibilidad S.

16.6.1.4.7 Si no existe riesgo alguno, se examina si procede excluir el producto de la clase 1. Según se desprende de las casillas 35 y 36 de la figura 10.3, se ofrecen las siguientes posibilidades:

a) Si el producto es un objeto que se fabrica para provocar un efecto práctico explosivo o pirotécnico, y:

i) Si se produce algún efecto (proyección, fuego, humo, calor o ruido intenso) exterior al artefacto propiamente dicho, no se excluye éste de la clase 1 y el producto, tal como esté embalado/envasado, se clasifica en la división 1.4, en el grupo de compatibilidad S. En el párrafo 2.1.1.1 b) de la Reglamentación Modelo se hace explícita mención del artefacto, y no del bulto, razón por la que, comúnmente, es necesario verificar tales efectos por medio de una prueba que consista en hacer funcionar el artefacto sin embalaje/envase ni barrera de contención. En ocasiones, se observan dichos efectos en la prueba 6 c) y en tal caso el producto se clasifica en la división 1.4 S, prescindiéndose de ulteriores ensayos;

ii) Si no se produce ningún efecto (proyección, fuego, humo, calor o ruido intenso) exterior al artefacto propiamente dicho, éste, sin embalaje/envase, se excluye de la clase 1 de conformidad con el párrafo 2.1.1.1 b) de la Reglamentación Modelo. En el párrafo 2.1.1.1 b) de la Reglamentación Modelo se hace explícita mención del artefacto, y no del bulto, razón por la que, comúnmente, es necesario verificar tales efectos por medio de una prueba que consista en hacer funcionar el artefacto sin embalaje/envase ni barrera de contención;

b) Si el producto no se fabrica para provocar un efecto práctico explosivo o pirotécnico, se lo excluye de la clase 1 de conformidad con el párrafo 2.1.1.1 de la Reglamentación Modelo.

16.6.1.4.8 Notas para establecer una escala de las mediciones del tiempo en la evaluación de los efectos del flujo térmico

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Notas:

1) El valor de 35 segundos/100 kg (véase 16.6.1.4.4 c)) mantiene correlación con un flujo térmico medio de 4 kW/m^2 a 15 m y se basa en un presunto calor de combustión de 12500 J/g. Si el verdadero calor de combustión es significativamente distinto, se puede corregir el tiempo de incineración de 35 segundos; por ejemplo, un calor verdadero de combustión de 8372 J/g ardiendo durante (8372/12500) × 35 s = 23,4 s produciría el mismo nivel de flujo. Las correcciones para masas distintas de 100 kg se hacen de acuerdo con las relaciones de la escala y los ejemplos del cuadro 16.2.

2) El valor de 330 segundos/100 kg (véase 16.6.1.4.5 e)) mantiene correlación con un flujo térmico medio de 4 kW/m^2 a 5 m y se basa en un presunto calor de combustión de 12500 J/g. Si el verdadero calor de combustión es significativamente distinto, se puede corregir el tiempo de incineración de 330 segundos; por ejemplo, un calor verdadero de combustión de 8372 J/g ardiendo durante (8372/12500) × 330 s = 221s produciría el mismo nivel de flujo. Las correcciones para masas distintas de 100 kg se hacen de acuerdo con las relaciones de la escala y los ejemplos del cuadro 16.2.

3) En algunas pruebas de tiempo de incineración, se observará que determinados bultos u objetos arden de forma independiente e identificable; en estos casos, deberán utilizarse los tiempos de incineración y las masas de cada una de las incineraciones.

Cuadro 16.2: VALORES COMPARADOS DE FLUJO TÉRMICO PARA DISTINTAS MASAS

	1.3/1.4		**1.4/1.4S**	
Masa (kg)	**Flujo (15 m)**	**Tiempo de incineración (s)**	**Flujo (5 m)**	**Tiempo de incineración (s)**
20	1,36 kW/m^2	21,7	1,36 kW/m^2	195
50	2,5	29,6	2,5	266
100	4	35	4	330
200	6,3	46,3	6,3	419
500	11,7	63,3	11,7	569

***Nota**: La escala de flujos térmicos se hace sobre la base de $(m/m_0)^{2/3}$.*
La escala de tiempo se basa en $(m/m_0)^{1/3}$.

Los valores del flujo térmico se pueden calcular mediante la ecuación:

$$F = \frac{C \times E}{4\pi R^2 t}$$

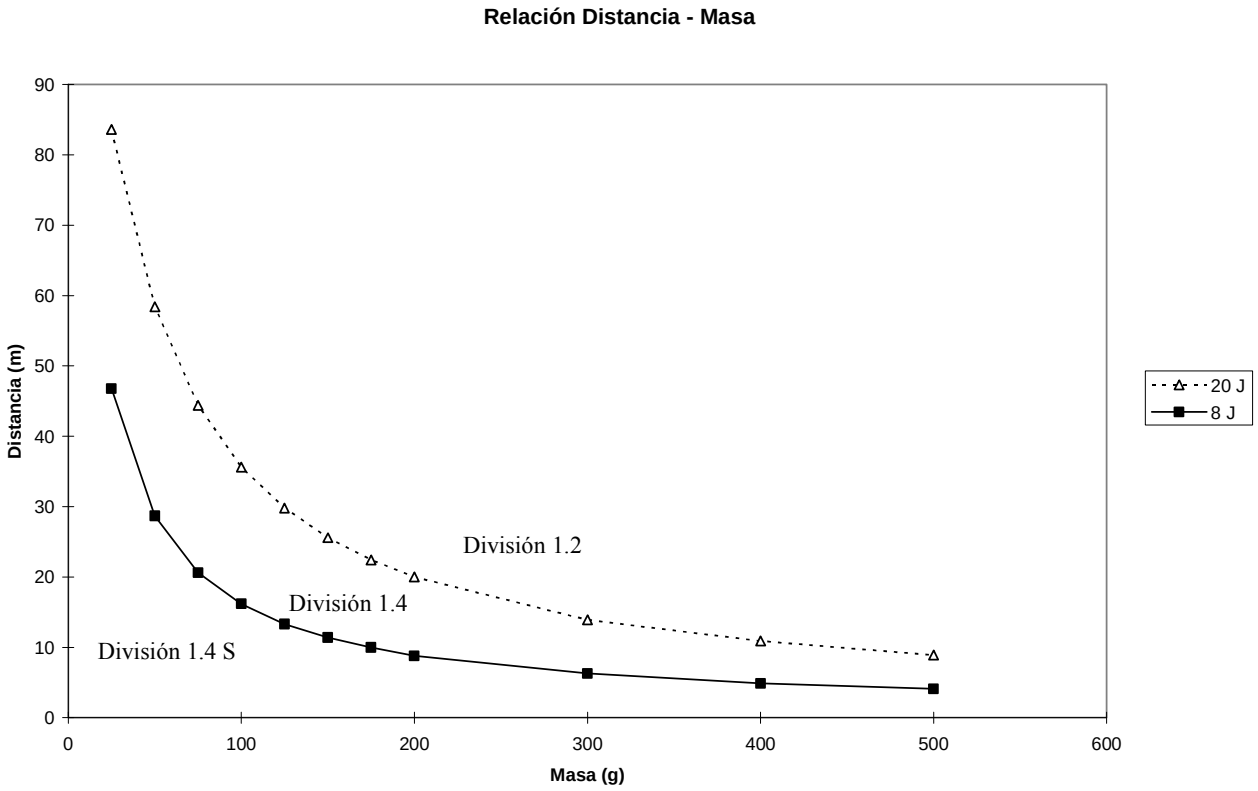
en la que:

F = flujo térmico en kW/m^2,
C = constante = 0,33
E = contenido total de energía en julios,
R = distancia entre el fuego y la posición expuesta, en metros,
t = tiempo de incineración observado, en segundos.

16.6.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Embalaje/envase**	**Efectos**	**Resultado**
Almizcle xileno	3 bidones de cartón de 50 kg	Sólo combustión lenta	Excluido de la clase 1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



Masa	Distancia de proyección (m)	
(g)	**20 J**	**8 J**
25	83,6	46,8
50	58,4	28,7
75	44,4	20,6
100	35,6	16,2
125	29,8	13,3
150	25,6	11,4
175	22,43	10
200	20	8,8
300	13,9	6,3
400	10,9	4,9
500	8,9	4,1

Ejemplos de datos sobre proyecciones metálicas con una energía cinética de 20 J y 8 J

Figura 16.6.1.1: RELACIÓN DISTANCIA-MASA PARA PROYECCIONES METÁLICAS CON UNA ENERGÍA CINÉTICA DE 20 J Y DE 8 J[3]

[3] *Los datos que se presentan en la figura 16.6.1.1 se basan en proyecciones de metal. Las proyecciones de materias distintas del metal producirán distintos resultados y pueden ser peligrosas. Será asimismo necesario tomar en consideración los riesgos consiguientes a las proyecciones no metálicas.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.7 Serie 6, tipo d): Disposiciones relativas a las pruebas

16.7.1 *Prueba 6 d): Prueba con un solo bulto en espacio no limitado*

16.7.1.1 *Introducción*

Esta prueba se efectúa con un solo bulto para determinar si fuera del bulto hay efectos peligrosos resultantes de la inflamación o iniciación accidentales del contenido.

16.7.1.2 *Aparatos y materiales*

Se necesitan los siguientes artículos:

a) Un detonador para provocar la ignición del objeto; o

b) Un inflamador cuya potencia sea la estrictamente necesaria para provocar la inflamación del objeto, y

d) Una chapa de acero dulce, de 3,0 mm de espesor, que se utiliza como placa testigo.

Se puede utilizar equipo de vídeo.

16.7.1.3 *Procedimiento*

16.7.1.3.1 La prueba se efectúa con los bultos de objetos explosivos, en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte. En el caso de los objetos explosivos que hayan de transportarse sin embalaje/envase, las pruebas deben efectuarse con los objetos no embalados/envasados. La utilización de un artificio iniciador o inflamador dependerá de los supuestos que se indican a continuación.

16.7.1.3.2 Con objetos embalados/envasados:

a) Objetos provistos de medios de iniciación o inflamación propios:

Se hace que un objeto que esté próximo al centro del bulto funcione por sus propios medios de iniciación o inflamación. De no ser esto posible, se sustituyen los medios de iniciación o inflamación del objeto por otra forma de excitación que produzca el efecto deseado.

b) Objetos no provistos de medios de iniciación o inflamación propios:

i) Se hace que funcione en la forma prevista un objeto que esté próximo al centro del bulto, o

ii) Se sustituye un objeto que esté próximo al centro del bulto por otro que se pueda hacer funcionar para producir el mismo efecto.

16.7.1.3.3 Se coloca el bulto sobre una placa testigo de acero puesta en el suelo, en espacio no limitado.

16.7.1.3.4 Se enciende el objeto excitador y se observan los efectos siguientes: abolladura o perforación de la placa testigo bajo el bulto; fogonazo o llama capaz de inflamar materiales contiguos; ruptura del bulto que cause proyecciones del contenido explosivo, o perforación completa del embalaje/envase por una proyección. **Tras la iniciación, debe respetarse un plazo de seguridad, fijado por el organismo encargado de las pruebas.** Deben efectuarse tres ensayos, con orientaciones diferentes, a no ser que se observe un resultado decisivo en el primer ensayo o en el segundo. Si los resultados del número de ensayos recomendado no permiten llegar a una interpretación inequívoca de los resultados, debe incrementarse el número de ensayos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

16.7.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Para la inclusión en el grupo de compatibilidad S se requiere que todos los efectos peligrosos resultantes del funcionamiento de los objetos en esta prueba estén limitados al interior del bulto. Hay efectos peligrosos fuera del bulto si se observa uno de los hechos siguientes:

a) Abolladura o perforación de la placa testigo bajo el bulto;

b) Fogonazo o llama capaz de inflamar materiales contiguos, como una hoja de papel de 80 ± 10 g/m² colocada a una distancia de 25 cm del bulto;

c) Ruptura del bulto que cause proyecciones del contenido explosivo, o

d) Proyecciones que atraviesen completamente el embalaje/envase (no se consideran peligrosas las proyecciones o fragmentos que se queden sobre la pared o dentro de la pared del embalaje/envase).

Al evaluar los resultados de la prueba, la autoridad competente podrá tener en cuenta los efectos atribuibles a los dispositivos de iniciación, si estima que esos efectos son significativos en comparación con los efectos provocados por el objeto que se esté sometiendo a prueba. Si se observan efectos peligrosos fuera del bulto, se excluye el producto del grupo de compatibilidad S.

16.7.1.5 *Ejemplos de resultados*

Objeto	**Embalaje/envase**	**Dispositivo de iniciación**	**Efecto**	**Resultado**
Cartuchos para piromecanismos	Caja de cartón que contenga 20 objetos (300 g de propulsor cada uno), envuelto cada uno en una bolsa de plástico	Uno de los objetos	Inflamación de los objetos, uno por uno, con producción, fuera del bulto, de llamas de hasta 2 m de altura.	No puede clasificarse en el grupo de compatibilidad S
Conjuntos de detonadores no eléctricos	Caja de cartón que contenga 60 conjuntos, envuelto cada uno en una bolsa de plástico, con el tubo conductor de la onda de choque enrollado en forma de ocho, con detonadores equipados de atenuadores	Uno de los objetos	Encendido de 1 de los 60 detonadores, sin ningún efecto visible fuera de la caja.	Puede clasificarse en el grupo de compatibilidad S
Detonadores eléctricos	Caja de cartón que contenga 84 conjuntos, enrollado cada uno en su cable de manera que se atenúe la explosión causada por el detonador	Uno de los objetos	Encendido de 1 de los 84 detonadores. La reacción ha hecho que se abra la caja y que se esparzan algunos de los conjuntos, pero se estimó que no había efectos peligrosos fuera del bulto.	Puede clasificarse en el grupo de compatibilidad S
Cargas huecas (perforadoras de cargas huecas de 19 g)	Caja de cartón que contenga 50 cargas en dos capas, de forma que los pares de cargas estén colocados frente a frente	Detonador provisto de 60 mm de cordón detonante	Se hicieron tres ensayos. En cada uno de ellos, la placa testigo quedó perforada por la reacción de 3 a 4 cargas. Los bultos explotaron y las cargas restantes quedaron esparcidas.	No puede clasificarse en el grupo de compatibilidad S
Detonadores eléctricos	Caja de cartón que contenga 50 detonadores, provisto cada uno de un cable conductor de 450 mm. Cada conjunto estaba contenido en su propia caja interior de cartón. Las cajas estaban separadas por paneles de cartón.	Uno de los objetos	Encendido de 1 de los 50 detonadores. Apertura de una de las solapas de la caja. No hubo efectos peligrosos fuera del bulto.	Puede clasificarse en el grupo de compatibilidad S

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 17

SERIE DE PRUEBAS 7

17.1 Introducción

Con la serie de pruebas 7 se contesta a la pregunta "¿Es un objeto extremadamente insensible?" (casilla 40 de la figura 10.3) y los objetos que se propongan para la división 1.6 deben superar una prueba dentro de cada uno de los diez tipos de que consta la serie. Los seis primeros tipos de prueba (7 a) a 7 f)) se utilizan para determinar si se trata de una sustancia detonante extremadamente insensible (sustancia DEI) y los otros cuatro (7 g), 7 h), 7 j) y 7 k)) sirven para determinar si un objeto que contenga una o varias sustancias DEI puede asignarse a la división 1.6. Los diez tipos de prueba son los siguientes:

Tipo 7 a): una prueba de excitación por onda de choque, para determinar la sensibilidad a un estímulo mecánico intenso;

Tipo 7 b): una prueba de excitación por onda de choque, con una carga multiplicadora determinada y en un espacio limitado, para determinar la sensibilidad a dicha onda;

Tipo 7 c): una prueba para determinar la tendencia de la sustancia explosiva a alterarse por efecto de un impacto;

Tipo 7 d): una prueba para determinar el grado de reacción de la sustancia explosiva a un impacto o penetración ocasionados por una determinada fuente de energía;

Tipo 7 e): una prueba para determinar la reacción de la sustancia explosiva, en un espacio limitado, a un fuego exterior;

Tipo 7 f): una prueba para determinar la reacción de la sustancia explosiva en un entorno en el que se eleva paulatinamente la temperatura hasta 365ºC;

Tipo 7 g): una prueba para determinar la reacción que, por efecto de un fuego exterior, experimente un objeto en el estado en que se presente para el transporte;

Tipo 7 h): una prueba para determinar la reacción de un objeto en un entorno en el que se eleva paulatinamente la temperatura a 365ºC;

Tipo 7 j): una prueba para determinar la reacción de un objeto a un impacto o penetración ocasionados por una determinada fuente de energía; y

Tipo 7 k): una prueba para determinar si la detonación de un objeto puede iniciar la detonación de un objeto contiguo idéntico.

La respuesta a la pregunta de la casilla 40 es "No" si se obtiene un resultado positivo en cualquier prueba de la serie 7.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.2 Métodos de prueba

En el cuadro 17.1 se enumeran los métodos de prueba que se utilizan en la actualidad.

Cuadro 17.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE 7

Código	Nombre de la prueba	Sección
Pruebas para sustancias		
7 a)	Prueba de sensibilidad al cebo, para sustancias DEI[a]	17.4.1
7 b)	Prueba de excitación con barrera interpuesta, para sustancias DEI[a]	17.5.1
7 c) i)	Prueba de impacto con el proyectil "Susan"	17.6.1
7 c) ii)	Prueba de friabilidad[a]	17.6.2
7 d) i)	Prueba de impacto con bala, para sustancias DEI[a]	17.7.1
7 d) ii)	Prueba de friabilidad	17.7.2
7 e)	Prueba de reacción al fuego exterior, para sustancias DEI[a]	17.8.1
7 f)	Prueba de calentamiento lento, para sustancias DEI[*]	17.9.1
Pruebas para objetos		
7 g)	Prueba de reacción al fuego exterior, para objetos de la división 1.6[a]	17.10.1
7 h)	Prueba de calentamiento lento, para objetos de la división 1.6[a]	17.11.1
7 j)	Prueba de impacto con bala, para objetos de la división 1.6[a]	17.12.1
7 k)	Prueba con una pila de bultos, para objetos de la división 1.6[a]	17.13.1

[a] *Prueba recomendada.*

17.3 Condiciones de las pruebas

17.3.1 Toda sustancia destinada a emplearse como carga explosiva en un objeto de la división 1.6 debe someterse a las pruebas de las series 3 y 7. En el caso de la serie 7, la sustancia debe ensayarse en la forma (es decir, composición, tipo de granulación, densidad, etc.) en que se vaya a utilizar en el objeto.

17.3.2 Cuando se estudie la inclusión de un objeto en la división 1.6, dicho objeto no deberá someterse a las pruebas de la serie 7 hasta que su carga explosiva haya sido objeto de las pruebas 7 a) a 7 f) para determinar si se trata de una sustancia DEI.

17.3.3 Deben efectuarse las pruebas 7 g), 7 h), 7 j) y 7 k) para determinar si un objeto cuya carga está constituida por una sustancia DEI puede adscribirse a la división 1.6. Estas pruebas se aplican a los objetos en el estado y forma en que se presentan para el transporte, aunque pueden omitirse o simularse los componentes no explosivos si la autoridad competente queda convencida de que no se desvirtúan los resultados de las pruebas.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.4 Serie 7, tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

17.4.1 *Prueba 7 a): Prueba de sensibilidad al cebo, para sustancias DEI*

17.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para *determinar* la sensibilidad de una supuesta sustancia DEI a un estímulo mecánico intenso.

17.4.1.2 *Aparatos y materiales*

El material experimental para esta prueba es igual al de la prueba 5 a) (véase 15.4.1).

17.4.1.3 *Procedimiento*

El procedimiento experimental es igual al de la prueba 5 a) (véase 15.4.1).

17.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia no debe clasificarse como sustancia DEI, si, en cualquiera de los ensayos:

a) La placa testigo ha sufrido alguna desgarradura o perforación (es decir, cuando la luz es visible a través de la placa) - las abolladuras, grietas o dobladuras de la placa testigo no constituyen indicio de sensibilidad al cebo; o

b) Se ha comprimido el centro del cilindro de plomo, respecto de su longitud inicial, en 3,2 mm o más.

En los demás casos, el resultado se considera negativo (-).

17.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	-
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
Octógeno/aluminio/aglutinante energético (51/19/14), moldeado	-
TATB/Kel-F (95/5), prensado	

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.5 Serie 7, tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

17.5.1 *Prueba 7 b): Prueba de excitación con barrera interpuesta, para sustancias DEI*

17.5.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de una supuesta sustancia DEI a una onda de choque de determinada intensidad, es decir, con una carga excitadora y una barrera determinadas.

17.5.1.2 *Aparatos y materiales*

El equipo para esta prueba consta de una carga explosiva (excitadora), una barrera (interpuesta entre la carga y la sustancia), un receptáculo en el que se aloja la carga receptora y una placa testigo, de acero (objetivo).

Se emplean los materiales siguientes:

a) Detonador normalizado de las Naciones Unidas, o equivalente;

b) Galleta prensada de pentolita (50/50) o de ciclonita/cera (95/5), de 95 mm de diámetro y 95 mm de longitud, de densidad equivalente a 1.600 kg/m^3 ± 50 kg/m^3;

c) Tubo de acero estirado sin costura, de 95 mm de diámetro exterior, 11 mm de espesor de pared (± 10% de variación), y de 280 mm de longitud, con las siguientes propiedades mecánicas:

- resistencia a la tracción = 420 MPa (±20% de variación)
- alargamiento (en %) = 22 (± 20% de variación)
- dureza Brinell = 125 (± 20% de variación)

d) Muestra de sustancias objeto de la prueba, maquinadas de manera que su diámetro sea apenas inferior al del tubo de acero. Entre la muestra y la pared de éste debe dejarse un mínimo de separación;

e) Pieza cilíndrica de metacrilato de polimetilo fundido, de 95 mm de diámetro y 70 mm de longitud;

f) Placa de acero dulce, de 200 mm × 200 mm × 20 mm, con las siguientes propiedades mecánicas:

- resistencia a la tracción = 580 MPa (± 20% de variación)
- alargamiento (en %) = 21 (± 20% de variación)
- dureza Brinell = 160 (± 20% de variación)

g) Tubo de cartón, de 97 mm de diámetro interior y 443 mm de longitud;

h) Pieza circular de madera, perforada en el centro, de 95 mm de diámetro y 25 mm de espesor, en cuyo orificio se coloca el detonador.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.5.1.3 *Procedimiento*

17.5.1.3.1 Tal como refleja la figura 17.5.1.1, el detonador, la carga excitadora, la barrera y la muestra de la sustancia objeto de la prueba se colocan en posición coaxial sobre el centro de la placa testigo. Entre el extremo descubierto (inferior) de la muestra y la placa testigo se deja un espacio vacío de 1,6 mm de ancho, utilizándose para ello elementos de separación adecuados que no se interpongan entre la muestra y la placa. Debe cuidarse de que haya pleno contacto entre el detonador y la carga excitadora, entre ésta y la barrera, y entre esta última y la muestra. En el momento de iniciar la prueba, la muestra de ensayo y la carga multiplicadora han de estar a la temperatura ambiente.

17.5.1.3.2 Para facilitar la recogida de lo que quede de la placa testigo, puede montarse el conjunto de ensayo sobre un recipiente con agua, de tal manera que haya una separación de al menos 10 cm entre la superficie del agua y la cara inferior de la placa testigo, que sólo debe apoyarse en dos de sus aristas.

17.5.1.3.3 Pueden utilizarse otros procedimientos de recogida, siempre que, a fin de no impedir la perforación de la placa testigo, se deje espacio libre suficiente por debajo de ésta. Se efectúan tres ensayos con cada muestra, a no ser que se observe un resultado positivo en el primer o segundo ensayos.

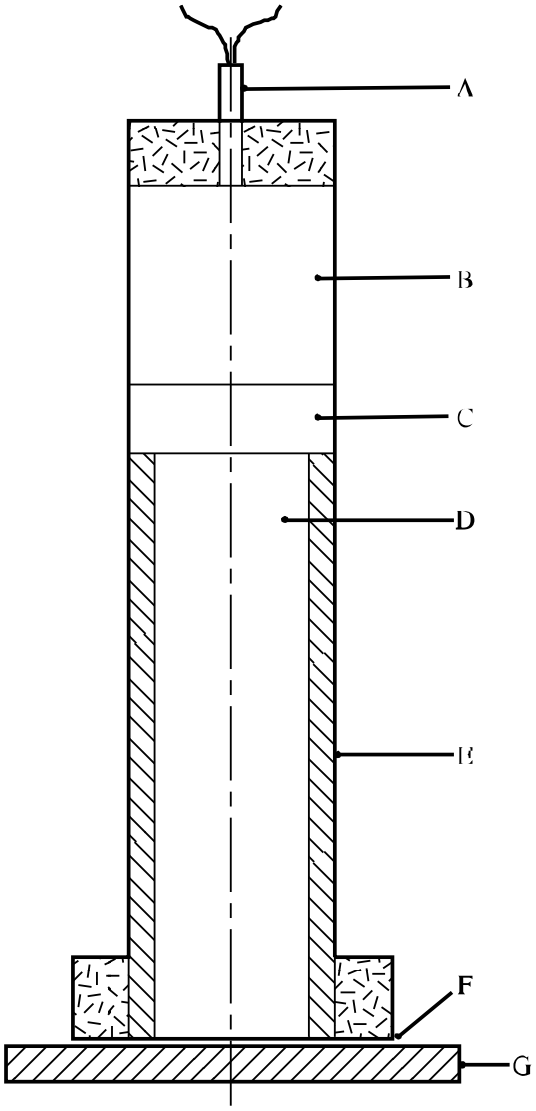
17.5.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

La perforación de la placa significa que la muestra ha producido una detonación. Si la sustancia detona en alguno de los ensayos, se considera que no es una sustancia DEI y el resultado se considera positivo (+).

17.5.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/aglutinante inerte (85/15), moldeado	+
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	+
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
Octógeno/aluminio/aglutinante energético (51/19/14), moldeado	+
TATB/Kel-F (95/5), prensado	-
TNT, moldeado	+

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Detonador	(B)	Carga multiplicadora
(C)	Barrera de metacrilato de polimetilo	(D)	Sustancia objeto de la prueba
(E)	Tubo de acero	(F)	Separación
(G)	Placa testigo		

Figura 17.5.1.1:
PRUEBA DE EXCITACIÓN CON BARRERA INTERPUESTA, PARA SUSTANCIAS DEI

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.6 Serie 7, tipo c): Disposiciones relativas a las pruebas

17.6.1 *Prueba 7 c) i): Prueba de impacto con el proyectil "Susan"*

17.6.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la intensidad de la reacción explosiva bajo el efecto de un impacto a gran velocidad. Para realizar la prueba, se alojan los explosivos en proyectiles normalizados que se disparan a una velocidad predeterminada contra un blanco.

17.6.1.2 *Aparatos y materiales*

17.6.1.2.1 Se utilizan pastillas de explosivo de 51 mm de diámetro y 102 mm de longitud fabricadas según procedimientos normales.

17.6.1.2.2 Como vehículo de la prueba se utiliza el proyectil "Susan", que se reproduce en la figura 17.6.1.1. Pesa, una vez montado, 5,4 kg, y contiene algo menos de 0,45 kg de explosivo. Sus dimensiones externas son: 81,3 mm de diámetro y 220 mm de longitud.

17.6.1.2.3 El proyectil se dispara con un cañón de ánima lisa de 81,3 mm, cuya boca debe situarse a 4,65 m de distancia del blanco, constituido por una placa lisa de acero de blindaje, de 64 mm de espesor. La velocidad de impacto del proyectil se obtiene mediante adaptaciones sucesivas de las cargas propulsantes del cañón.

17.6.1.2.4 En la figura 17.6.1.2 se representa esquemáticamente el campo de tiro, con la colocación del arma y el blanco y las posiciones relativas de los instrumentos indicadores. La trayectoria se sitúa aproximadamente a 1,2 m sobre el nivel del suelo.

17.6.1.2.5 En el lugar de la prueba debe disponerse de indicadores contrastados para medir la onda de choque y de un dispositivo registrador. Este último debe tener una respuesta de frecuencia de al menos 20 kHz. Se mide la velocidad de impacto y la sobrepresión resultante de la onda de choque, esta última a una distancia de 3,05 m del punto de impacto (indicadores C) en la figura 17.6.1.2).

17.6.1.3 *Procedimiento*

17.6.1.3.1 Debe ajustarse la carga propulsante que debe alojarse en el cañón para que el proyectil alcance una velocidad de 333 m/s. Se dispara el proyectil y se registran la velocidad y la onda de choque producida por la reacción de aquél al hacer impacto en el blanco. Si no se ha conseguido una velocidad de 333 m/s (+10%, -0%), se corrige la cantidad de propulsante y se procede a repetir el ensayo.

17.6.1.3.2 Una vez conseguida la velocidad de 333 m/s, se repite la prueba hasta obtener datos de tiempo-presión válidos en al menos cinco disparos distintos. En cada uno de esos disparos válidos, el impacto ha de producirse a una velocidad de 333 m/s (+10%, -0%).

17.6.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

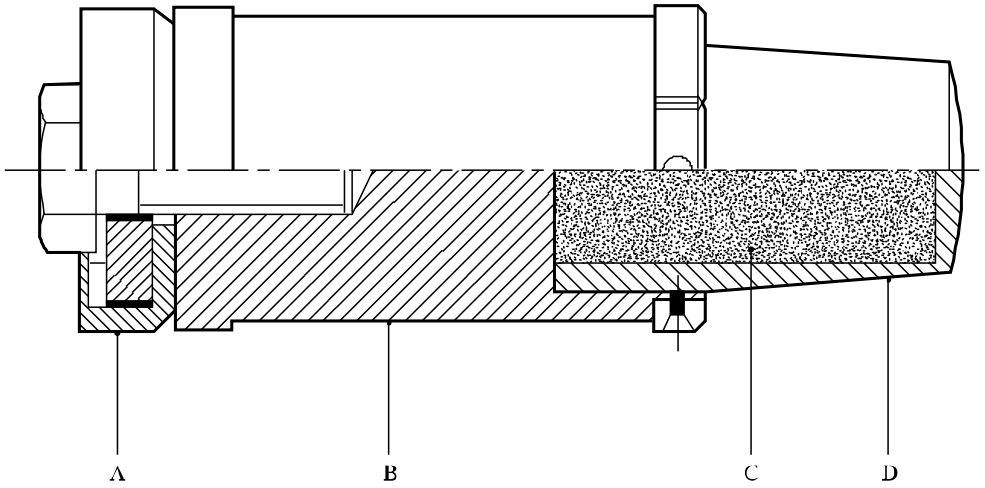
Se anota la sobrepresión máxima producida por cada onda de choque. El promedio de las presiones máximas se determina sobre la base de cinco disparos válidos. Si la presión media así obtenida es igual o superior a 27 kPa, se considera que la sustancia no es un explosivo DEI y que el resultado es positivo.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.6.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	-
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
Octógeno/aluminio/aglutinante energético (51/19/14), moldeado	+
TATB/Kel-F (95/5), prensado	-

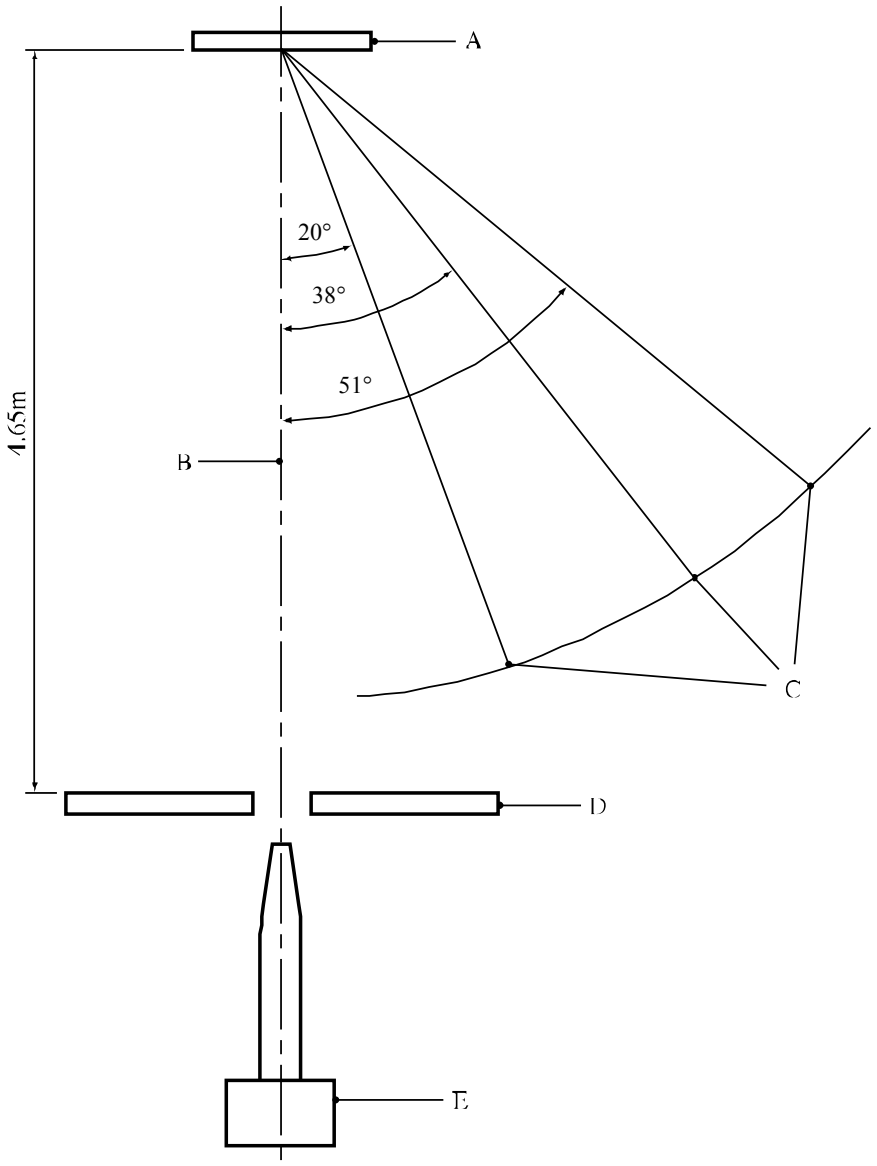
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Junta de cuero
(B)	Cuerpo de acero
(C)	Explosivo que es objeto de la prueba
(D)	Cápsula de aluminio

Figura 17.6.1.1: PROYECTIL "SUSAN"

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Blanco (placa de 6,4 cm de espesor)
(B)	Trayectoria
(C)	Transductores de la onda de choque (a 3,05 m del blanco)
(D)	Pantalla antihumos
(E)	Cañón de 81,3 mm

Figura 17.6.1.2:
PRUEBA DE IMPACTO CON EL PROYECTIL "SUSAN"
ESQUEMA DEL CAMPO DE TIRO (vista superior)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.6.2 *Prueba 7 c) ii): Prueba de friabilidad*

17.6.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la tendencia de una supuesta sustancia DEI, en forma de muestra compacta, a degradrarse peligrosamente por efecto de un impacto.

17.6.2.2 *Aparatos y materiales*

Se necesitan los siguientes aparatos:

a) Un arma diseñada para disparar a una velocidad de 150 m/s muestras cilíndricas de 18 mm de diámetro;

b) Una placa de acero inoxidable Z30C 13, de 20 mm de espesor, cuya cara anterior tenga una rugosidad de 3,2 micrones (normas AFNOR NF E 05-015 y NF E 05-016);

c) Una bomba manométrica de $108 \pm 0{,}5$ cm^3, a 20ºC;

d) Una cápsula de encendido, con hilo térmico, que contenga 0,5 g de pólvora negra con un tamaño medio de partículas de 0,75 mm. La pólvora negra contiene el 74% de nitrato potásico, el 10,5% de azufre y el 15,5% de carbono. El contenido de humedad debe ser inferior al 1%;

e) Una muestra cilíndrica de sustancia compacta, de $18 \pm 0{,}1$ mm de diámetro, cuya longitud ha de corregirse de manera que la muestra tenga una masa de $9{,}0 \pm 0{,}1$ g. La muestra se mantiene a una temperatura de 20ºC;

f) Una caja para recoger los fragmentos.

17.6.2.3 *Procedimiento*

17.6.2.3.1 La muestra se dispara contra la placa de acero a una velocidad inicial suficiente para alcanzar una velocidad de impacto lo más próxima posible a 150 m/s. Los fragmentos recogidos tras el impacto han de tener una masa de al menos 8,8 g. Estos fragmentos se introducen en una bomba manométrica para someterlos a combustión. Se efectúan tres ensayos.

17.6.2.3.2 Se anota la curva de la presión en función del tiempo ($p = f(t)$), lo que permite determinar la curva ($dp/dt = f'(t)$). De esta última se extrae el valor $(dp/dt)_{max}$. Así se puede estimar el valor $(dp/dt)_{max}$ correspondiente a la velocidad de impacto de 150 m/s.

17.6.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si la media de los valores máximos $(dp/dt)_{max}$ obtenida a la velocidad de 150 m/s es superior a 15 MPa/ms, la sustancia sometida a prueba no es una sustancia DEI y se considera que el resultado es positivo (+).

17.6.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	-
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
Octógeno/aluminio/aglutinante energético (51/19/14), moldeado	-
TATB/Kel-F (95/5), prensado	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.7 Serie 7, tipo d): Disposiciones relativas a las pruebas

17.7.1 *Prueba 7 d) i): Prueba de impacto con bala, para sustancias DEI*

17.7.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para evaluar la intensidad de la reacción de una supuesta sustancia DEI al recibir la energía cinética transmitida, mediante impacto y perforación, por una determinada fuente de energía (proyectil de 12,7 mm, lanzado a una velocidad predeterminada).

17.7.1.2 *Aparatos y materiales*

17.7.1.2.1 Se utilizan muestras del explosivo fabricadas por procedimientos normales. Las muestras deben tener 20 cm de longitud y su diámetro será tal que quepan sin huelgo en un tubo de acero sin costura que tenga 45 mm de diámetro interior (± 10%), 4 mm de espesor de pared (± 10%) y 200 mm de longitud. Los tubos se cierran con tapones de acero o fundición, apretados a un par de 204 Nm.

17.7.1.2.2 El proyectil es una bala perforante normalizada de 12,7 mm y 0,046 kg de masa, y se dispara a una velocidad reglamentaria de aproximadamente 840 ± 40 m/s con un arma de 12,7 mm.

17.7.1.3 *Procedimiento*

17.7.1.3.1 Para realizar la prueba deben fabricarse al menos seis artefactos de ensayo (constituido cada uno de ellos por una muestra explosiva alojada en un tubo de acero taponado).

17.7.1.3.2 Se coloca cada uno de los artefactos en un pedestal adecuado, situado a una distancia conveniente de la boca del arma. Se sujeta cada uno de los artefactos al pedestal mediante un soporte que impida su desplazamiento al recibir el impacto del proyectil.

17.7.1.3.3 La prueba consiste en disparar un proyectil contra cada uno de los artefactos. Deben efectuarse, por lo menos, tres ensayos con el artefacto colocado de manera que su eje longitudinal sea perpendicular a la trayectoria (es decir, el proyectil hará impacto en un lado del tubo). También deben efectuarse por lo menos tres ensayos con el artefacto colocado de manera que su eje longitudinal sea paralelo a la trayectoria (es decir, el proyectil hará impacto en el tapón).

17.7.1.3.4 Se recogen los restos del tubo. La fragmentación total de éste significa que ha habido explosión o detonación.

17.7.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si la sustancia hace explosión o detona en alguno de los ensayos, no es una sustancia DEI y se considera que el resultado es positivo (+).

17.7.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	-
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
Octógeno/aluminio/aglutinante energético (51/19/14), moldeado	-
TATB/Kel-F (95/5), prensado	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.7.2 *Prueba 7 d) ii): Prueba de friabilidad*

17.7.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para evaluar la intensidad de la reacción de una supuesta sustancia DEI al recibir la energía cinética transmitida, mediante impacto y perforación, por una determinada fuente de energía a una velocidad predeterminada.

17.7.2.2 *Aparatos y materiales*

Se necesitan los siguientes aparatos:

a) Un arma diseñada para disparar muestras cilíndricas de 18 mm de diámetro a una velocidad de 150 m/s;

b) Una placa de acero inoxidable Z30C 13, de 20 mm de espesor, cuya cara anterior tenga una rugosidad de 3,2 micrones (normas AFNOR NF E 05-015 y NF E 05-016);

c) Una bomba manométrica de $108 \pm 0{,}5$ cm^3, a 20ºC ;

d) Una cápsula de encendido, con hilo térmico, que contenga 0,5 g de pólvora negra con un tamaño medio de partículas de 0,75 mm). La pólvora negra contiene el 74% de nitrato potásico, el 10,5% de azufre y el 15,5% de carbono. El contenido de humedad debe ser inferior al 1%;

e) Una muestra cilíndrica de sustancia compacta, de $18 \pm 0{,}1$ mm de diámetro, cuya longitud ha de corregirse de manera que la muestra tenga una masa de $9{,}0 \pm 0{,}1$ g. La muestra se mantiene a una temperatura de 20ºC ;

f) Una caja para recoger los fragmentos.

17.7.2.3 *Procedimiento*

17.7.2.3.1 La muestra se dispara contra la placa de acero a una velocidad inicial suficiente para alcanzar una velocidad de impacto lo más próxima posible a 150 m/s. Los fragmentos recogidos tras el impacto han de tener una masa de al menos 8,8 g. Estos fragmentos se introducen en una bomba manométrica para someterlos a combustión. Se efectúan tres ensayos.

17.7.2.3.2 Se anota la curva de la presión en función del tiempo ($p = f(t)$), lo que permite determinar la curva ($dp/dt = f'(t)$). De esta última se extrae el valor $(dp/dt)_{max}$. Así se puede estimar el valor $(dp/dt)_{max}$ correspondiente a la velocidad de impacto de 150 m/s.

17.7.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si la media de los valores máximos $(dp/dt)_{max}$ obtenida a la velocidad de 150 m/s es superior a 15 MPa/ms, la sustancia sometida a prueba no es una sustancia DEI y se considera que el resultado es (+).

17.7.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	-
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
Octógeno/aluminio/aglutinante energético (51/19/14), moldeado	-
TATB/Kel-F (95/5), prensado	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.8 Serie 7, tipo e): Disposiciones relativas a las pruebas

17.8.1 *Prueba 7 e): Prueba de reacción al fuego exterior, para sustancias DEI*

17.8.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la reacción de una supuesta sustancia DEI a un fuego exterior, en un espacio limitado.

17.8.1.2 *Aparatos y materiales*

Se utilizan muestras del explosivo fabricadas por procedimientos normales. Deben tener 20 cm de longitud, y su diámetro debe ser tal que quepan sin huelgo en un tubo de acero sin costura que tenga 45 mm (± 10%) de diámetro interior, 4 mm (± 10%) de espesor de pared y 200 mm de longitud. Los tubos se cierran con tapones de acero o fundición, apretados a un par de 204 Nm.

17.8.1.3 *Procedimiento*

17.8.1.3.1 Se aplica el mismo procedimiento que en la prueba 6 c) (véase 16.6.1.3), salvo por lo que se refiere a lo indicado en el párrafo 17.8.1.3.2 siguiente.

17.8.1.3.2 Para la prueba se utiliza:

a) Un fuego que envuelve quince muestras, en un espacio limitado, apiladas en tres lotes contiguos de dos muestras colocadas encima de otras tres muestras; o

b) Tres fuegos en los que cinco muestras se colocan en posición horizontal y sujetas entre sí.

Se toman fotografías en color para examinar el estado en que hayan quedado las muestras. Se comprueban, como indicios de la intensidad de la reacción, la formación de hoyos, el tamaño de los fragmentos del tubo y el lugar al que hayan sido proyectados.

17.8.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si la sustancia explosiva detona o reacciona violentamente, proyectando fragmentos a más de 15 m de distancia, se considera que no es una sustancia DEI y que el resultado es positivo (+).

17.8.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/aglutinante inerte (85/15), moldeado	+
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	-
Octógeno/aglutinante inerte (85/15), moldeado	-
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
Octógeno/aluminio/aglutinante energético (51/19/14), moldeado	-
TATB/Kel-F (95/5), prensado	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.9 Serie 7, tipo f): Disposiciones relativas a las pruebas

17.9.1 *Prueba 7 f): Prueba de calentamiento lento, para sustancias DEI*

17.9.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la reacción de una supuesta sustancia DEI en un entorno en el que se incrementa progresivamente el calor, y verificar la temperatura a que se produce tal reacción.

17.9.1.2 *Aparatos y materiales*

17.9.1.2.1 Se utilizan muestras del explosivo fabricadas por procedimientos normales. Deben tener 200 mm de longitud, y su diámetro debe ser tal que quepan sin huelgo en un tubo de acero sin costura que tenga 45 mm (± 10%) de diámetro interior, 4 mm (± 10%) de espesor de pared y 200 mm de longitud. Los tubos se cierran con tapones de acero o fundición, apretados a un par de 204 Nm.

17.9.1.2.2 Se coloca el artefacto de ensayo en un horno que pueda regularse térmicamente en una gama de temperaturas de 40 a 365ºC, y en cuyo interior sea posible calentar el aire a razón de 3,3 ºC por hora en toda la gama de las temperaturas de ensayo, y de manera que, por circulación o por otro medio, se rodee el artefacto de un ambiente térmicamente uniforme.

17.9.1.2.3 Se emplean termógrafos para comprobar la temperatura a intervalos de 10 minutos o menos, aunque es preferible la comprobación constante. Se utilizan instrumentos de una precisión de ± 2% en la gama de temperaturas de ensayo para medir la temperatura:

a) Del aire en el interior del horno; y

b) De la superficie exterior del tubo de acero.

17.9.1.3 *Procedimiento*

17.9.1.3.1 Colocado el artefacto en el horno, se procede a calentarlo paulatinamente, de manera que la temperatura del aire aumente a razón de 3,3ºC por hora, hasta que se produzca una reacción. Antes de iniciar la prueba puede acondicionarse el artefacto hasta una temperatura que sea inferior en 55ºC a la temperatura prevista de reacción. Se anota la temperatura a partir de la cual la temperatura de la muestra rebasa la del horno.

17.9.1.3.2 Después de cada ensayo, se recogen, en el lugar de la prueba, el tubo o sus fragmentos y se procede a su examen en busca de indicios de una reacción explosiva violenta. Antes y después del ensayo pueden tomarse fotografías en color para examinar el estado en que hayan quedado el artefacto y el aparato de ensayo. Se comprueban también, como indicios de la intensidad de la reacción, la formación de hoyos, el tamaño de los fragmentos y el lugar al que hayan sido proyectados.

17.9.1.3.3 Se efectúan tres ensayos con cada sustancia, a no ser que se observe un resultado positivo en los ensayos primero o segundo.

17.9.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si una sustancia detona o reacciona violentamente (fragmentación de uno o ambos tapones y fragmentación del tubo en más de tres pedazos), se considera que no es una sustancia DEI y que el resultado es positivo (+).

17.9.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Ciclonita/TNT (60/40), moldeado	+
Octógeno/aglutinante inerte (86/14), moldeado	-
Octógeno/aglutinante energético (80/20), moldeado	+
TATB/Kel-F (95/5), prensado	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.10 Serie 7, tipo g): Disposiciones relativas a las pruebas

17.10.1 *Prueba 7 g): Prueba de reacción al fuego exterior, para objetos de la división 1.6*

17.10.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la reacción a un fuego exterior que experimenta un objeto propuesto para la división 1.6, tal como se presenta para el transporte.

17.10.1.2 *Aparatos y materiales*

El equipo experimental para esta prueba es igual que el de la prueba 6 c) (véase el párrafo 16.6.1.2).

17.10.1.3 *Procedimiento*

Se sigue el mismo procedimiento que con la prueba 6 c) (véase el párrafo 16.6.1.3), con la salvedad de que sólo se necesita un objeto si el volumen de éste excede de 0,15 m^3.

17.10.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si se produce una reacción más violenta que una combustión, se considera que el resultado es positivo (+) y el objeto no se clasifica en la división 1.6.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.11 Serie 7, tipo h): Disposiciones relativas a las pruebas

17.11.1 *Prueba 7 h): Prueba de calentamiento lento, para objetos de la división 1.6*

17.11.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la reacción de un objeto propuesto para la división 1.6 en un entorno en el que se incremente gradualmente el calor, y averiguar la temperatura a que se produce tal reacción.

17.11.1.2 *Aparatos y materiales*

17.11.1.2.1 Se utiliza un horno que pueda regularse térmicamente en una gama de temperaturas de 40 a 365 ºC y en cuyo interior sea posible calentar el aire a razón de 3,3ºC por hora en toda la gama de temperaturas de ensayo y reducir al mínimo las zonas de excesiva concentración de calor, de manera que, por circulación u otro medio, se rodee la muestra de un ambiente térmicamente uniforme. Las reacciones secundarias (como las producidas por los exudados y los gases explosivos al entrar en contacto con los instrumentos calefactores) invalidan la prueba, pero pueden evitarse, por lo que se refiere a los objetos que se transportan sin envoltura alguna, colocando la muestra en un recipiente interior hermético. Debe disponerse de algún medio de reducción de la presión que se produce por calentamiento del aire en el interior del horno.

17.11.1.2.2 Se emplean termógrafos (de registro continuo) para comprobar la temperatura de manera continuada o, por lo menos, cada 10 minutos. Se utilizan instrumentos de una precisión de ± 2% en toda la gama de temperaturas de ensayo para medir la temperatura:

a) De la capa de aire inmediata a la muestra de ensayo; y

b) De la superficie exterior de la muestra.

17.11.1.3 *Procedimiento*

17.11.1.3.1 Colocado el objeto en el horno, se procede a calentarlo paulatinamente, de manera que la temperatura del aire aumente a razón de 3,3ºC por hora, hasta que se produzca una reacción. Puede iniciarse la prueba acondicionando la muestra hasta una temperatura que sea inferior en 55ºC a la temperatura prevista de reacción. Se miden y anotan las temperaturas y el tiempo de ensayo transcurrido.

17.11.1.3.2 Antes y después del ensayo, se toman fotografías en color para comprobar el estado del objeto y del aparato de ensayo. Se comprueban también, como indicios de la intensidad de la reacción, la formación de hoyos y el tamaño de los fragmentos desprendidos. Es posible que los materiales energéticos se inflamen y quemen y que el recipiente se funda o debilite lo bastante para permitir una pequeña fuga de gases de combustión. La combustión debe ser tal que los restos del recipiente y los elementos del bulto permanezcan en la zona de la prueba, salvo en lo que se refiere a los cierres del recipiente, que pueden ser arrancados por la presión interna y proyectados hasta 15 metros de distancia.

17.11.1.3.3 La prueba se efectúa dos veces, a no ser que se obtenga un resultado positivo en el primer ensayo.

17.11.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si se produce una reacción más violenta que una combustión, se considera que el resultado es positivo (+) y el objeto no se clasifica en la división 1.6.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.12 Serie 7, tipo j): Disposiciones relativas a las pruebas

17.12.1 *Prueba 7 j): Prueba de impacto con bala, para objetos de la división 1.6*

17.12.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para evaluar la intensidad de la reacción que experimenta un objeto propuesto para la división 1.6 al recibir la energía cinética transmitida, mediante impacto o penetración, por una determinada fuente de energía.

17.12.1.2 *Aparatos y materiales*

Se emplea un arma de calibre 12,7 mm, con municiones perforantes reglamentarias de 12,7 mm y 0,046 kg de masa proyectable, y provistas de una carga propulsora normalizada. El arma debe dispararse con mando a distancia, y conviene protegerla con una gruesa placa de acero que tenga un orificio, a través del cual se efectúan los disparos. La boca del arma debe estar a una distancia de 3 a 20 m del objeto, según sea la potencia de explosión de éste. El objeto se sujeta mediante algún tipo de soporte que impida su desplazamiento al recibir el impacto de los proyectiles. Se graba la prueba con cámara fotográfica u otro medio.

17.12.1.2 *Procedimiento*

La prueba consiste en someter un objeto con carga completa de una sustancia DEI a una ráfaga de tres disparos a una velocidad inicial de 840 ± 40 m/s y a una cadencia equivalente a 600 tiros por minuto. Se efectúan tres ensayos, en cada uno de los cuales se coloca el objeto en distinta posición. En la posición adecuada, se elige el punto del objeto en que se hará el impacto múltiple, de manera que los proyectiles penetren en el o los materiales más sensibles, es decir, no separados de la carga explosiva principal por elementos aisladores ni ningún dispositivo de seguridad. La intensidad de la reacción se averigua analizando la película y los materiales después de la prueba. La fragmentación completa del objeto es indicio de detonación.

17.12.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si se produce una detonación en alguno de los ensayos, el objeto no puede clasificarse en la división 1.6 y se considera que el resultado es positivo (+). La ausencia de reacción, combustión o deflagración se considera como un resultado negativo (-).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

17.13 Serie 7, tipo k): Disposiciones relativas a las pruebas

17.13.1 *Prueba 7 k): Prueba con una pila de bultos, para objetos de la división 1.6*

17.13.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar si la detonación de un objeto propuesto para la división 1.6, tal como se presenta para el transporte, puede provocar la detonación de otro objeto similar contiguo.

17.13.1.2 *Aparatos y materiales*

Se utiliza el mismo equipo experimental que para la prueba 6 b) (véase el párrafo 16.5.1.2), pero no en espacio limitado. El objeto excitador debe ir provisto de su propio dispositivo de activación o de algún otro medio de excitación de potencia equivalente.

17.13.1.3 *Procedimiento*

Se utiliza el mismo material experimental que para la prueba 6 b) (véase el párrafo 16.5.1.3). Se efectúan tres ensayos, a no ser que se observe la detonación de un objeto receptor en el primer o segundo ensayo. Los datos relativos a la fragmentación (tamaño y número de los fragmentos que se desprenden del objeto receptor), los daños sufridos por la placa testigo y las dimensiones de los hoyos se utilizan para determinar si ha habido o no detonación del objeto receptor. Los datos correspondientes a la onda de choque pueden emplearse también como medios complementarios para llegar a una decisión.

17.13.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Si una detonación en la pila se propaga del objeto excitador al receptor, se considera que el resultado es positivo (+) y que el objeto no puede adscribirse a la división 1.6. Si el objeto receptor no experimenta ninguna reacción, combustión o deflagración, se considera que el resultado es negativo (-).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 18

SERIE DE PRUEBAS 8

18.1 Introducción

La evaluación de si una emulsión, una suspensión o un gel de nitrato de amonio, para la fabricación de explosivos para voladuras (ENA), es suficientemente insensible para ser clasificado en la división 5.1, se responde sometiendo la sustancia a los tres tipos de prueba que constituyen la serie 8. Los tres tipos de prueba son los siguientes :

Tipo 8 a): prueba para determinar la estabilidad térmica;

Tipo 8 b): prueba de excitación por onda de detonación para determinar la sensibilidad a una onda de choque intensa;

Tipo 8 c): prueba para determinar el efecto del calentamiento en un espacio limitado.

La serie de pruebas 8 d) figura en la presente sección como método dirigido a determinar si una sustancia puede ser transportada en cisternas.

18.2 Métodos de prueba

Los métodos de prueba actualmente utilizados se enumeran en el cuadro 18.1.

Cuadro 18.1: MÉTODOS DE PRUEBA DE LA SERIE 8

Código	Nombre de la prueba	Sección
8 a)	Prueba de estabilidad térmica para los ENA[a]	18.4
8 b)	Prueba de excitación de la detonación con barrera interpuesta a gran escala para los ENA[a]	18.5
8 c)	Prueba de Koenen[a]	18.6
8 d)	Pruebas del tubo con escape[b]	18.7

[a] *Esta prueba está destinada a la clasificación.*

[b] *Estas pruebas tienen por objeto determinar si la sustancia puede ser transportada en cisternas.*

18.3 Condiciones de las pruebas

18.3.1 La sustancia debe ser ensayada tal como se presenta para su transporte, a la más alta temperatura (véase 1.5.4 del presente Manual).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.4 Serie 8, Tipo a): Disposiciones relativas a las pruebas

18.4.1 *Prueba 8 a): Prueba de estabilidad térmica para emulsiones, suspensiones o geles de nitrato amónico*

18.4.1.1 *Introducción*

18.4.1.1.1 Esta prueba sirve para medir la estabilidad de una sustancia susceptible de ser clasificada como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, para la fabricación de explosivos para voladuras, al someterse la sustancia a temperaturas elevadas a fin de determinar si es demasiado peligrosa para el transporte.

18.4.1.1.2 Esta prueba se emplea para determinar si la emulsión, la suspensión o el gel son estables a las temperaturas que se alcanzan en el transporte. En la forma en que esta prueba se realiza normalmente (ver 28.4.4), el vaso de Dewar de 0,5 l es únicamente representativo para los embalajes, los RIG y las cisternas pequeñas. Esta prueba puede ser igualmente utilizada para medir la estabilidad de las emulsiones, suspensiones y geles de nitrato de amonio durante el transporte en cisterna si se efectúa a una temperatura que supere en 20ºC la temperatura máxima que se puede alcanzar durante el transporte, comprendida la temperatura en el momento de la carga.

18.4.1.2 *Aparatos y materiales*

18.4.1.2.1 El equipo para la prueba consiste en una cámara de prueba apropiada, vasos de Dewar apropiados con sus dispositivos de cierre, sondas térmicas y equipo de medida.

18.4.1.2.2 ***La prueba debe efectuarse en una cámara de ensayo capaz de resistir el fuego y la sobrepresión y que debe, de preferencia, estar dotada de un mecanismo de descompresión, por ejemplo, pared débil.*** El sistema de registro debe estar instalado en una zona de observación separada.

18.4.1.2.3 Se puede utilizar una estufa con termostato (que puede estar dotada de ventilador) lo suficientemente grande para permitir que el aire circule en torno del vaso de Dewar. La temperatura del aire dentro de la estufa debe regularse de manera que la temperatura deseada de una muestra líquida inerte contenida en el vaso de Dewar pueda mantenerse sin una desviación mayor de ± 1ºC durante un período de hasta 10 días. La temperatura del aire dentro de la estufa ha de ser medida y registrada. Se recomienda dotar al cierre de la puerta de la estufa de un cierre magnético o sustituirla por una tapa aislante que se pueda liberar. La estufa puede protegerse con un revestimiento de acero apropiado y situar el vaso de Dewar dentro de una jaula de tela metálica.

18.4.1.2.4 Se utilizan vasos de Dewar de un volumen de 500 ml dotados de un sistema de cierre. El cierre del vaso de Dewar debe ser inerte. En la figura 18.4.1.1, se muestra un sistema de cierre.

18.4.1.2.5 Las características de pérdida de calor del sistema utilizado, a saber, el vaso de Dewar y su sistema de cierre, han de determinarse antes de la ejecución de la prueba. Dado que el dispositivo de cierre influye mucho sobre las características de la pérdida de calor, éstas pueden ser ajustadas en cierta medida modificando el sistema de cierre. Las características de la pérdida de calor pueden determinarse mediante la medida de la constante de vida media de enfriamiento del vaso lleno de una sustancia inerte de similares propiedades físicas. La pérdida de calor por unidad de masa, L (W/kg.K), puede calcularse a partir de la constante de vida media de enfriamiento, $\mathbf{t}_{½}$ (s), y del calor específico, Cp (J/kg.K), de la sustancia, merced a la fórmula siguiente:

$$L = \ln 2 \times C_p / t_{1/2}$$

18.4.1.2.6 Conviene utilizar vasos Dewar llenos de 400 ml de sustancia, con pérdida de calor entre 80 a 100 mW/kg.K.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.4.1.2.7 El vaso de Dewar debe llenarse hasta aproximadamente el 80% de su capacidad. Cuando la viscosidad de la muestra sea muy elevada, puede que sea necesario disponer de una muestra cuya forma encaje perfectamente con el vaso de Dewar. El diámetro de esa muestra preparada por adelantado será ligeramente inferior al diámetro interior del vaso de Dewar. El hueco al fondo del vaso de Dewar puede llenarse con una sustancia sólida inerte antes de la introducción de la muestra en el vaso, a fin de facilitar la utilización de muestras de sustancias de forma cilíndrica.

18.4.1.3 *Procedimiento*

18.4.1.3.1 Poner la cámara de prueba a una temperatura que supere en 20°C la temperatura máxima que se pueda alcanzar durante el transporte o la temperatura en el momento de la carga cuando ésta sea más elevada. Llenar el vaso de Dewar de la sustancia que hay que ensayar y anotar la masa de la muestra. Asegurarse de que la altura de la muestra sea aproximadamente igual al 80% de la altura del vaso. Introducir la sonda térmica en el centro de la muestra. Sellar la tapadera del vaso de Dewar e introducir éste en la cámara de prueba, conectar el dispositivo de registro de la temperatura y cerrar la cámara de prueba.

18.4.1.3.2 La muestra se calienta, mientras su temperatura y la de la cámara de prueba se controla constantemente. Anotar la hora en la que la muestra alcanza una temperatura inferior en 2°C a la de la cámara de prueba. Proseguir entonces la prueba durante siete días o hasta el momento en que la temperatura de la muestra supera en 6°C o más la de la cámara de prueba, si esto no se produce antes. Anotar el tiempo que se ha necesitado para que la muestra pase de una temperatura inferior en 2°C a la de la cámara de prueba a su temperatura máxima.

18.4.1.3.3 Si la muestra resiste la prueba, enfriarla, retirarla de la cámara de prueba y eliminarla con cuidado lo antes posible. Se pueden determinar la pérdida de masa y los cambios de composición.

18.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

18.4.1.4.1 Si la temperatura de la muestra no supera en ninguna prueba la de la cámara en 6ºC o más, la emulsión, la suspensión o el gel de nitrato de amonio se considera térmicamente estable y puede seguir siendo ensayado como sustancia susceptible de clasificarse como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, para la fabricación de explosivos para voladuras.

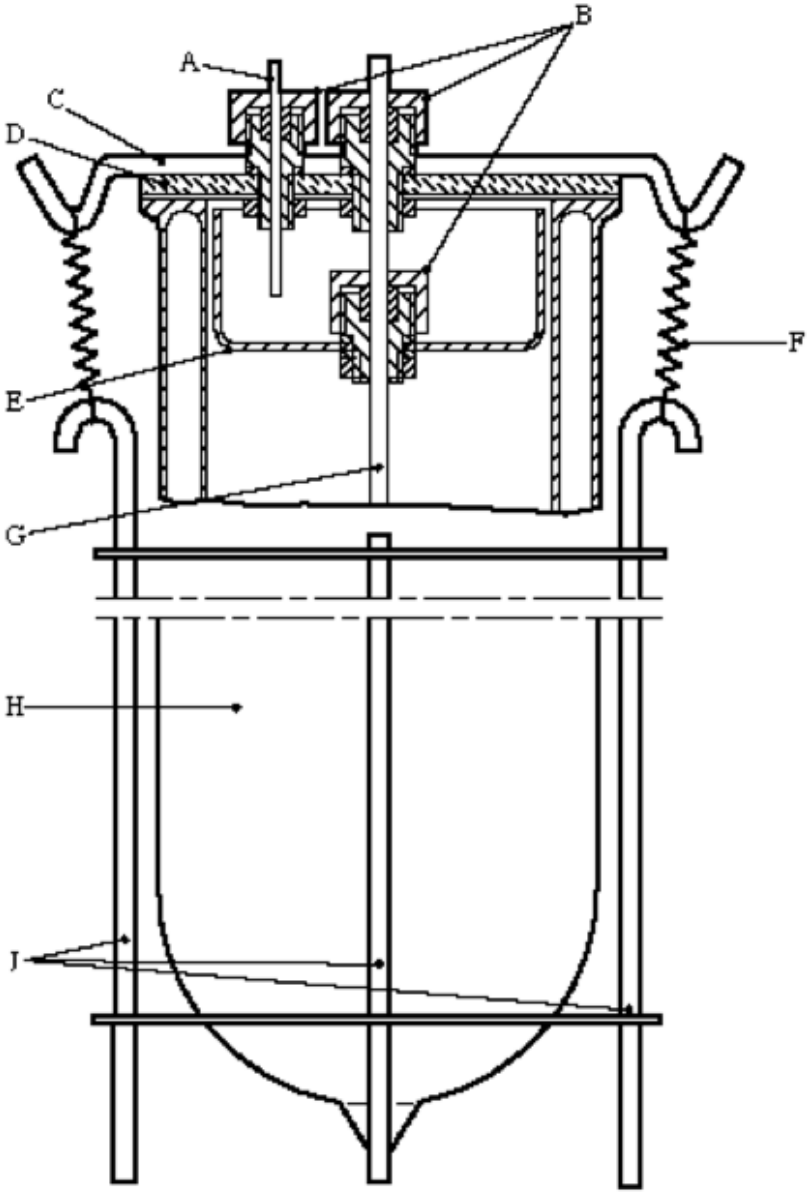
18.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancias	**Masa de la muestra (g)**	**Temp. de la prueba (ºC)**	**Resultado**	**Comentarios**
Nitrato de amonio	408	102	-	Ligera decoloración, Endurecimiento en grumo Pérdida de masa 0,5 %
ENA-1 Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	551	102	-	Separación de aceite y de sales cristalizadas Pérdida de masa 0,8%
ENA-2 (sensibilizado) Nitrato de amonio 75%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	501	102	-	Decoloración parcial Pérdida de masa 0,8%
ENA-Y Nitrato de amonio 77%, agua, 17 %, combustible/emulgente 7%	500	85	-	Pérdida de masa 0,1%
NA-Z Nitrato de amonio 75%, agua 20%, combustible/emulgente 5%	510	95	-	Pérdida de masa 0,2%

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Sustancias	Masa de la muestra (g)	Temp. de la prueba (ºC)	Resultado	Comentarios
ENA-G1 Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 1%, agua 16%, combustible/emulgente 9%	553	85	-	Sin aumento de temperatura
ENA-G2 Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 3%, agua 16%, combustible/emulgente 7%	540	85	-	Sin aumento de temperatura
ENA-J1 Nitrato de amonio 80%, agua 13%, combustible/emulgente 7%	613	80	-	Pérdida de masa 0,1%
ENA-J2 Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente 7 %	605	80	-	Pérdida de masa 0,3%
ENA-J4 Nitrato de amonio 71%, nitrato de sodio 11%, agua 12%, combustible/emulgente 6%	602	80	-	Pérdida de masa 0,1%

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Tubo capilar de PTFE	(B) Encaje roscado (en PTFE o aluminio)
(C) Tira de metal	(D) Tapadera de vidrio
(E) Base recipiente de vidrio	(F) Muelle
(G) Tubo protector de vidrio	(H) Vaso de Dewar
(J) Dispositivo de retención de acero	

Figura 18.4.1.1: VASO DE DEWAR CON CIERRE

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.5 Serie 8, Tipo b): Disposiciones relativas a las pruebas

18.5.1 *Prueba 8 b): Prueba de excitación con barrera interpuesta para los ENA*

18.5.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de una sustancia susceptible de ser clasificada como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, para la fabricación de explosivos para voladuras, con una onda de detonación de una intensidad dada, es decir, con carga excitadora y barrera especificada.

18.5.1.2 *Aparatos y materiales*

18.5.1.2.1 El dispositivo para esta prueba comprende una carga explosiva excitadora, una barrera, un tubo que contiene la carga que hay que ensayar (aceptor) y una placa testigo de acero (objetivo).

Se utiliza el siguiente material:

a) Un detonador normalizado de Naciones Unidas o equivalente;

b) Un comprimido de pentolita 50/50 prensada o de hexogeno/cera 95/5, de 95 mm de diámetro y de 95 mm de largo, con una densidad de 1 600 kg/m^3 ± 50 kg/m^3;

c) Un tubo de acero estirado en frío, sin costura, de 95 mm de diámetro exterior, de 11,1 mm ± 10 de espesor de pared y de 280 mm de largo, con las siguientes características mecánicas :

- resistencia a la tracción = 420 MPa (±20 %)
- elongación (en %) = 22 (±20 %)
- dureza Brinell = 125 (±20 %)

d) Una muestra de la sustancia que se somete a prueba con un diámetro ligeramente inferior al diámetro interior del tubo de acero. El intervalo de aire entre la muestra y pared del tubo debe ser el menor posible;

e) Un trozo de barra de polimetacrilato de metilo (PMMA) moldeado de 95 mm de diámetro y de 70 mm de largo. Un intervalo de 70 mm corresponde a una presión de onda de choque aplicada a la emulsión que se sitúa entre 3,5 y 4 GPa, según el tipo de carga excitadora utilizada (véase el cuadro 18.5.1.1 y la figura 18.5.1.2);

f) Una placa de acero dulce de 200 mm × 200 mm × 20 mm y de las siguientes características mecánicas :

- resistencia a la tracción = 580 MPa (±20 %)
- elongación (en %) = 21 (±20 %)
- dureza Brinell = 160 (±20 %)

g) Un tubo de cartón de 97 mm de diámetro interior y de 443 mm de largo;

h) Un bloque de madera de 95 mm de diámetro y de 25 mm de grosor atravesado por un agujero central para sujetar el detonador.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.5.1.3 *Procedimiento*

18.5.1.3.1 Como lo muestra la figura 18.5.1.1, el detonador, la carga excitadora, la barrera y la muestra que hay que ensayar se superponen y centran sobre el eje que pasa por el centro de la placa testigo. Hay que velar por que haya un buen contacto entre el detonador y la carga excitadora, entre ésta y la barrera y entre la barrera y la muestra. La muestra y la carga excitadora deben estar a la temperatura ambiente en el momento de la prueba.

18.5.1.3.2 Para facilitar la recuperación de los restos de la placa testigo, el conjunto del dispositivo puede colocarse encima de un recipiente de agua con un intervalo de aire de por lo menos 10 cm entre la superficie del agua y la cara inferior de la placa testigo, la cual debe sostenerse sobre dos de sus lados.

18.5.1.3.3 Se pueden utilizar otros métodos de recuperación de los fragmentos, pero es importante reservar bajo la placa testigo un espacio suficiente de manera de no dificultar la perforación de la placa. La prueba se realiza tres veces, a menos que se observe antes un resultado positivo.

18.5.1.4 *Criterios de la prueba y método de evaluación de los resultados*

Un agujero limpio de perforación a través de la placa indica que se ha excitado una detonación en la muestra. Una sustancia que detona durante uno de los ensayos con una barrera de 70 mm de largo no debe ser clasificada como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, para la fabricación de explosivos para voladuras, y el resultado se considera positivo.

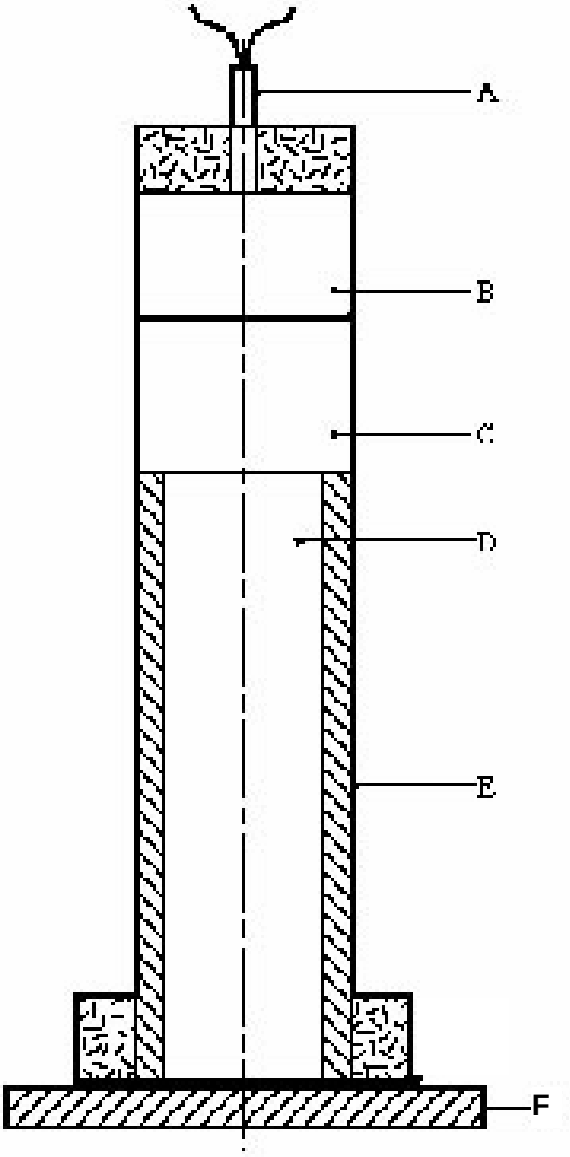
18.5.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancias	**Densidad (g/cm^3)**	**Longitud de la barrera (mm)**	**Resultado**	**Comentarios**
Nitrato de amonio (baja densidad)	0,85	35	-	Tubo fragmentado en grandes trozos Placa doblada Velocidad de detonación (VVD): 2,3-2,8 km/s
Nitrato de amonio (baja densidad)	0,85	35	-	Tubo fragmentado en grandes trozos Placa fracturada
ENA-FA Nitrato de amonio 69%, nitrato de sodio 12%, agua 10%, combustible/emulgente 8%	1,4	50	-	Tubo fragmentado en grandes trozos Placa no perforada
ENA-FA	1,44	70	-	Tubo fragmentado en grandes trozos Placa no perforada
ENA-FB Nitrato de amonio 70%, nitrato de sodio 11%, agua 12%, combustible/emulgente 7%	~ 1,40	70	-	Tubo fragmentado en grandes trozos Placa no perforada
ENA-FC (sensibilizado) Nitrato de amonio 75%, agua 13%, combustible/emulgente 10%	1,17	70	+	Tubo fragmentado en pequeños trozos Placa perforada
ENA-FD Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	~ 1,22	70	+	Tubo fragmentado en pequeños trozos Placa perforada
ENA-1 Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	1,4	35	-	Tubo fragmentado en grandes trozos Placa abollada VDD: 3,1km/s

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Sustancias	Densidad (g/cm^3)	Longitud de la barrera (mm)	Resultado	Comentarios
ENA-2 (sensibilizado) Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente7%	1,3	35	+	Tubo fragmentado en pequeños trozos Placa perforada VDD: 6,7 km/s
ENA-2 (sensibilizado) Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente7%	1,3	70	+	Tubo fragmentado en pequeños trozos Placa perforada VDD: 6,2 km/s
ENA-G1 Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 1%, agua 16%, combustible/emulgente 9%	1,29	70	-	Tubo fragmentado Placa mellada VDD: 1968 m/s
ENA-G2 Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 3%, agua 16%, combustible/emulgente 7%	1,32	70	-	Tubo fragmentado Placa mellada
ENA-G3 (sensibilizada mediante gasificación) Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 1%, agua 16%, combustible/emulgente 9%	1,17	70	+	Tubo fragmentado Placa perforada
ENA- G4 (sensibilizada mediante microesferas) Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 3%, agua 16%, combustible/emulgente 7%	1,23	70	+	Tubo fragmentado Placa perforada
ENA-G5 Nitrato de amonio 70%,nitrato de calcio 8%, agua 16%, combustible/ emulgente 7%	1,41	70	-	Tubo fragmentado Placa mellada VVD: 2061 m/s
ENA-J1 Nitrato de amonio 80%, agua 13%, combustible/ emulgente 7%	1,39	70	-	Tubo fragmentado Placa mellada
ENA--J2 Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/ emulgente 7%	1,42	70	-	Tubo fragmentado Placa mellada
ENA-J4 Nitrato de amonio 71%, nitrato de sodio 11%, agua 12%, combustible/emulgente 6%	1,40	70	-	Tubo fragmentado Placa mellada
ENA-J5 (sensibilizada mediante microesferas), nitrato de amonio 71%, nitrato de sodio 5%, agua 18%, combustible/emulgente 6%	1,20	70	+	Tubo fragmentado Placa perforada VVD: 5.7 km/s
ENA-J6 (sensibilizada mediante microesferas) Nitrato de amonio 80%, agua 13%, combustible/ emulgente 7%	1,26	70	+	Tubo fragmentado Placa perforada VVD: 6,3 km/s

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Detonador	(B) Carga excitadora
(C) Barrera de PMMA	(D) Sustancia sometida a prueba
(E)Tubo de acero	(F) Placa testigo

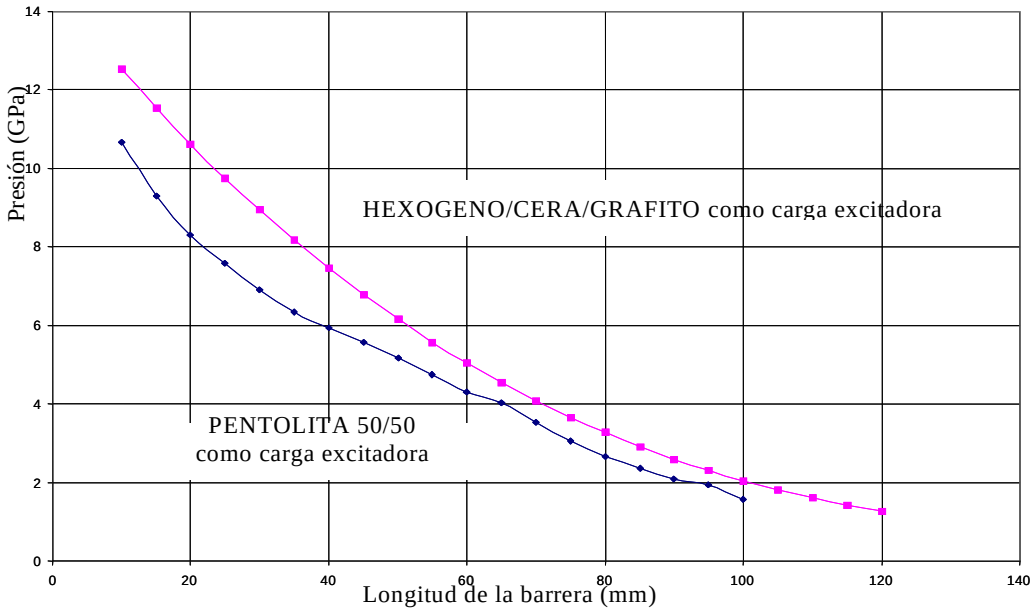
Figura 18.5.1.1:
PRUEBA DE EXCITACIÓN CON BARRERA INTERPUESTA PARA LOS ENA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro 18.5.1.1:
DATOS DE CALIBRACIÓN RELATIVOS A LA PRUEBA DE EXCITACIÓN CON BARRERA INTERPUESTA PARA LOS ENA

PENTOLITA 50/50 como carga excitadora		HEXOCERA/GRAFITO como carga excitadora	
Longitud de la barrera (mm)	**Presión al nivel de la barrera (GPa)**	**Longitud de la barrera (mm)**	**Presión al nivel de la barrera (GPa)**
10	10,67	10	12,53
15	9,31	15	11,55
20	8,31	20	10,63
25	7,58	25	9,76
30	6,91	30	8,94
35	6,34	35	8,18
40	5,94	40	7,46
45	5,56	45	6,79
50	5,18	50	6,16
55	4,76	55	5,58
60	4,31	60	5,04
65	4,02	65	4,54
70	3,53	70	4,08
75	3,05	75	3,66
80	2,66	80	3,27
85	2,36	85	2,91
90	2,10	90	2,59
95	1,94	95	2,31
100	1,57	100	2,04
		105	1,81
		110	1,61
		115	1,42
		120	1,27

Figura 18.5.1.2:
DATOS DE CALIBRACIÓN PARA LA PRUEBA DE EXCITACIÓN CON BARRERA INTERPUESTA PARA LOS ENA



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.6 Serie 8, Tipo c): Disposiciones relativas a las pruebas

18.6.1 *Prueba 8 c) : Prueba de Koenen*

18.6.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar la sensibilidad de una sustancia susceptible de ser clasificada como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, explosivos intermediarios para voladuras, al efecto de un calentamiento intenso en condiciones de alto confinamiento.

18.6.1.2 *Aparatos y materiales*

18.6.1.2.1 El aparato consiste en un tubo de acero no reutilizable con dispositivo de cierre reutilizable, instalado en un dispositivo de caldeo y de protección. El tubo se obtiene por estampado de una chapa fina de acero conforme a las especificaciones de la norma DC04 (EN 10027-1), o de la normas equivalentes A620 (AISI/SAE/ASTM) o SPCEN (JIS G 3141). Sus dimensiones se indican en la figura 18.6.1.1. El extremo abierto del tubo termina en una brida. La placa de cierre, a través de cuyo orificio salen los gases resultantes de la de descomposición de la sustancia que se somete a prueba, es de acero al cromo resistente al calor y puede obtenerse con los siguientes diámetros de orificio: 1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 – 5,0 – 8,0 – 12,0 y 20,0 mm. En la figura 18.6.1.1 se indican las dimensiones del collar roscado y de la tuerca (dispositivo de cierre).

Para el control de la calidad de los tubos de acero, el 1% de los tubos de cada lote de fabricación se someterá a control de calidad y se comprobarán los siguientes datos:

a) La masa de los tubos deberá ser de 26,5 ± 1,5 g, y la masa de los tubos que vayan a utilizarse en una secuencia de ensayos no diferirá en más de un 1 g;

b) La longitud de los tubos será de 75 ± 0,5 mm;

c) El espesor de la pared de los tubos, medido a una distancia de 20 mm del fondo, deberá ser de 0,5 ± 0,05 mm; y

d) La presión de rotura determinada por una carga cuasi estática aplicada por medio de un fluido incompresible deberá ser de 30 ± 3 MPa.

18.6.1.2.2 Para el calentamiento se utilizan cuatro quemadores alimentados con propano a partir de una bombona de gas industrial provista de un regulador de presión, de un medidor de caudal y un colector. Pueden utilizarse otros gases combustibles, a condición de que se respete la velocidad de calentamiento prescrita. Se regula la presión del gas para mantener una velocidad de calentamiento de 3,3 ± 0,3 K/s, valor medido mediante un procedimiento de calibración. Éste consiste en calentar un tubo (provisto de una placa con un orificio de 1,5 mm) que contiene 27 cm^3 de ftalato de dibutilo. Se registra el tiempo necesario para elevar la temperatura del líquido (medida con un termopar de 1 mm de diámetro colocado en posición central a 43 mm por debajo del borde del tubo) de 135ºC a 285ºC y se calcula la velocidad de calentamiento.

18.6.1.2.3 Como es probable que el tubo resulte destruido en la prueba, el calentamiento se efectúa en un caja protectora de metal soldado, con la configuración y las dimensiones indicadas en la figura 18.6.1.2. El tubo está colgado entre dos barras que pasan por agujeros situados en paredes opuestas de la caja. La posición de los quemadores se indica en la figura 18.6.1.2. Los quemadores se encienden simultáneamente mediante una llama piloto o un dispositivo eléctrico de encendido. ***El dispositivo de ensayo se coloca en un local protegido***. Durante el ensayo, hay que tomar medidas para evitar que las llamas de los quemadores se desvíen a causa de las corrientes de aire. El local del ensayo debe estar provisto de un sistema de extracción de los gases y humos procedentes de las pruebas.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.6.1.3 *Procedimiento*

18.6.1.3.1 Se introduce la sustancia en el tubo hasta una altura de 60 mm poniendo especial cuidado en evitar que se formen cavidades. Se desliza el collar roscado en el tubo desde abajo, se inserta la placa con el orificio apropiado y se aprieta a mano la tuerca después de aplicarle algún lubricante con bisulfuro de molibdeno. Es importante asegurarse de que no se deslice ninguna sustancia entre el borde y el disco o en las roscas.

18.6.1.3.2 Para las placas con orificio de un diámetro comprendido entre 1,0 y 8,0 mm, se utilizan tuercas cuya abertura tenga un diámetro de 10 mm, si el diámetro del orificio es superior a 8 mm, se utilizarán tuercas con una abertura de 20 mm. Sólo se utiliza un tubo para cada ensayo. Por el contrario, las placas con orificio, los collares roscados y las tuercas pueden volverse a utilizar si no están estropeados.

18.6.1.3.3 El tubo se coloca en un tornillo de banco de montaje bien firme, y la tuerca se aprieta con una llave inglesa. Se cuelga después entre las dos barras de la caja protectora. Se evacua la zona de prueba, se abre la llegada de gas y se encienden los quemadores. El tiempo de reacción y la duración de la reacción pueden ser informaciones suplementarias útiles para la interpretación de los resultados. Si no se produce un estallido, hay que prolongar el calentamiento por lo menos cinco minutos antes de interrumpir el ensayo. Después de cada ensayo, si ha habido fragmentación, se recogen y pesan los fragmentos del tubo.

18.6.1.3.4 Desde el punto de vista de la fragmentación, cabe distinguir los siguientes efectos :

"O": Tubo intacto;
"A": Combadura del fondo del tubo;
"B": Combadura del fondo y la pared del tubo;
"C": Rajadura del fondo del tubo;
"D": Rajadura de la pared del tubo;
"E": Hendimiento del tubo en dos[1] fragmentos;
"F": Fragmentación del tubo en tres[1] o más trozos, en su mayoría grandes, que en algunos casos pueden estar unidos entre sí por una tira estrecha;
"G": Fragmentación del tubo en muchos trozos, en su mayoría pequeños y dispositivo de cierre intacto;
"H": Fragmentación del tubo en numerosos trozos muy pequeños; combadura o fragmentación del dispositivo de cierre.

En la figura 18.6.1.3 figuran algunos ejemplos de los tipos de fragmentación "D", "E" y "F". Si un ensayo llega a un tipo de fragmentación del tipo "O" a "E", se considera que el resultado es "sin explosión". Si se obtiene el tipo de fragmentación "F","G" o "H", se considera que el resultado es "explosión".

18.6.1.3.5 La serie de ensayos empieza por un ensayo simple con una placa con un orificio de 20 mm. Si en este ensayo hay explosión, se prosigue la serie con ensayos con tubos sin placa con orificio ni tuerca, sino provistos solamente del collar roscado (cobertura 24 mm). Si, al contrario, no hay explosión, se prosigue la serie con un ensayo para cada uno de los diámetros de orificio siguientes: 12,0 – 8,0 – 5,0 – 3,0 – 2,0 – 1,5 y finalmente 1,0 mm, hasta obtener el resultado positivo ("explosión"). Se efectúan entonces ensayos con diámetros crecientes según el orden indicado en 18.6.1.2.1, hasta que se obtengan tres resultados negativos en tres ensayos con el mismo diámetro. El diámetro límite para una sustancia dada es el mayor diámetro para el cual se haya obtenido el resultado "explosión". Si no hay explosiones incluso con el diámetro de 1,0 mm, se anota como resultado para el diámetro límite "menos de 1,0 mm".

[1] *La parte superior del tubo que queda en el dispositivo de cierre se cuenta como un fragmento.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

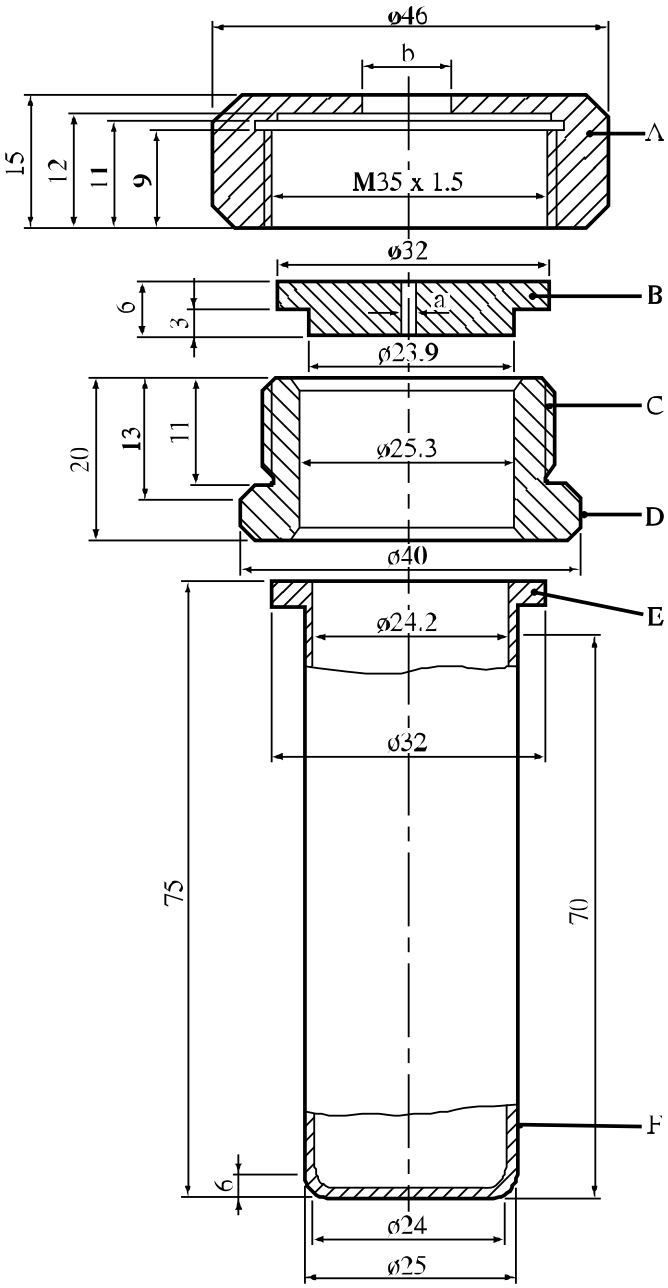
18.6.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia no debe clasificarse en la división 5.1 si el diámetro límite es igual o superior a 2,0 mm. Se considera que el resultado es negativo (-) si es inferior a esta cifra.

18.6.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancias	**Resultado**	**Comentarios**
Nitrato de amonio (baja densidad)	-	Diámetro límite : <1 mm
ENA-F1 Nitrato de amonio 71%, agua 21%, combustible/emulgente 7%	-	
ENA-F2 Nitrato de amonio 77%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	-	
ENA-F3 Nitrato de amonio 70%, nitrato de sodio 11%, agua 12%, combustible/emulgente 7%	-	
ENA-F4 Nitrato de amonio 42%, nitrato de calcio 35%, agua 16%, combustible/emulgente 7%	-	
ENA-F5 Nitrato de amonio 69%, nitrato de sodio 13%, agua 10%, combustible/emulgente 8%	-	
ENA-F6 Nitrato de amonio 72%, nitrato de sodio 11%, agua 10%, combustible/emulgente 6%	-	
ENA-F7 Nitrato de amonio 76%, agua 13%, combustible/emulgente 10%	-	
ENA-F8 Nitrato de amonio 77%, agua 16%, combustible/emulgente 6%	-	
ENA-1 Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	-	Diámetro límite 1.5 mm
ENA-2 (sensibilizada con microesferas) Nitrato de amonio 75%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	+	Diámetro límite 2 mm
ENA-4 (sensibilizada con microesferas) Nitrato de amonio 70%, nitrato de sodio11%, agua 9%, combustible/emulgente 5,5%	+	Diámetro límite 2 mm
ENA-G1 Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 1%, agua 16%, combustible/emulgente 9%	-	
ENA-G2 Nitrato de amonio 74%, nitrato de sodio 3%, agua 16%, combustible/ emulgente 7%	-	
ENA-J1 Nitrato de amonio 80%, agua 13%, combustible/emulgente 7%	-	Tipo de fragmentación "O"
ENA-J2 Nitrato de amonio 76%, agua 17%, combustible/emulgente 7%	-	Tipo de fragmentación "O"
ENA-J4 Nitrato de amonio 71%, nitrato de sodio 11%, agua 12%, combustible/emulgente 6%	-	Tipo de fragmentación "A"

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tuerca (b = 10,0 ó 20,0 mm) ajustable con llave del 41	(B)	Placa con orificio (a = 1,0 a 20,0 mm de diámetro)
(C)	Collar roscado	(D)	Tuerca ajustable con llave del 36
(E)	Brida	(F)	Tubo

Figura 18.6.1.1: TUBO Y ACCESORIOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

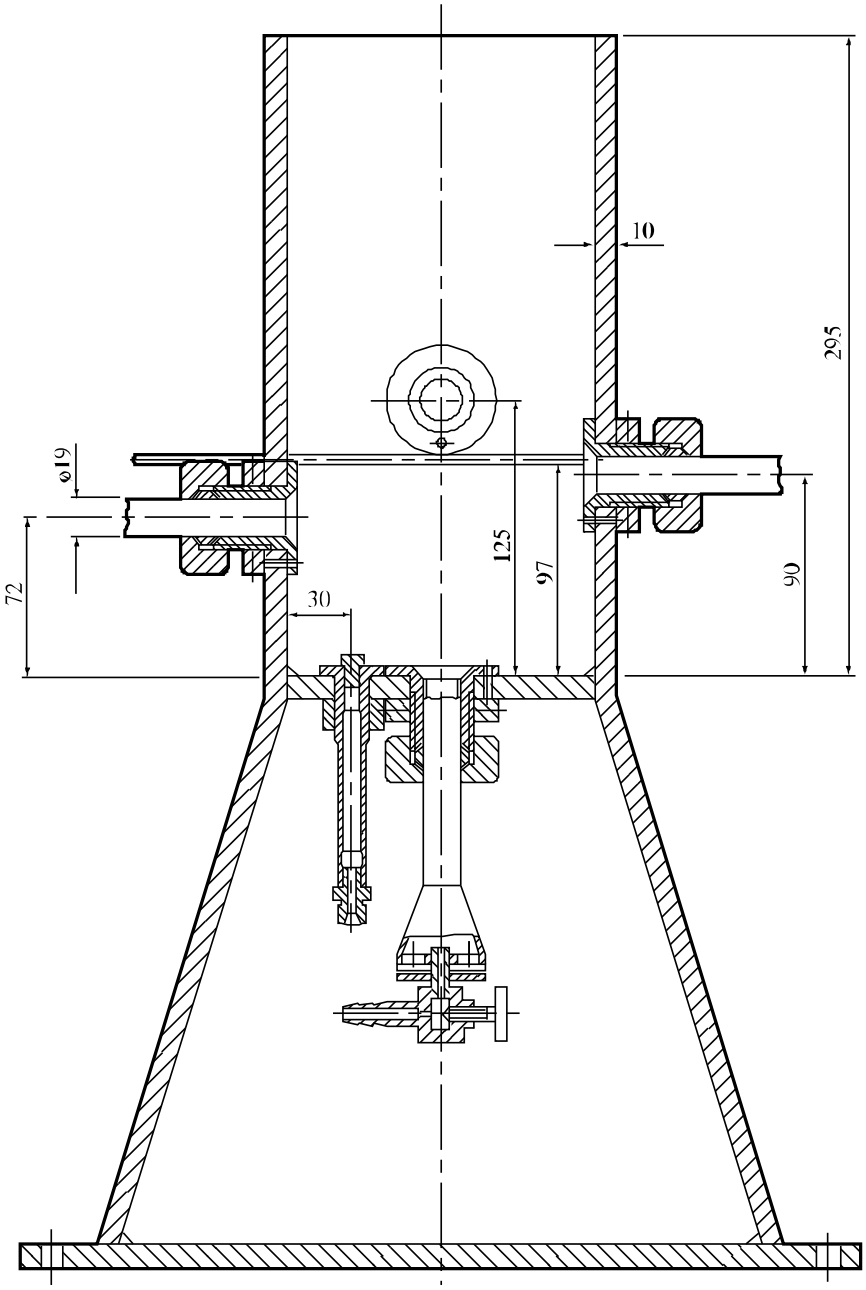


Figura 18.6.1.2: CAJA DE CALENTAMIENTO Y PROTECCIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

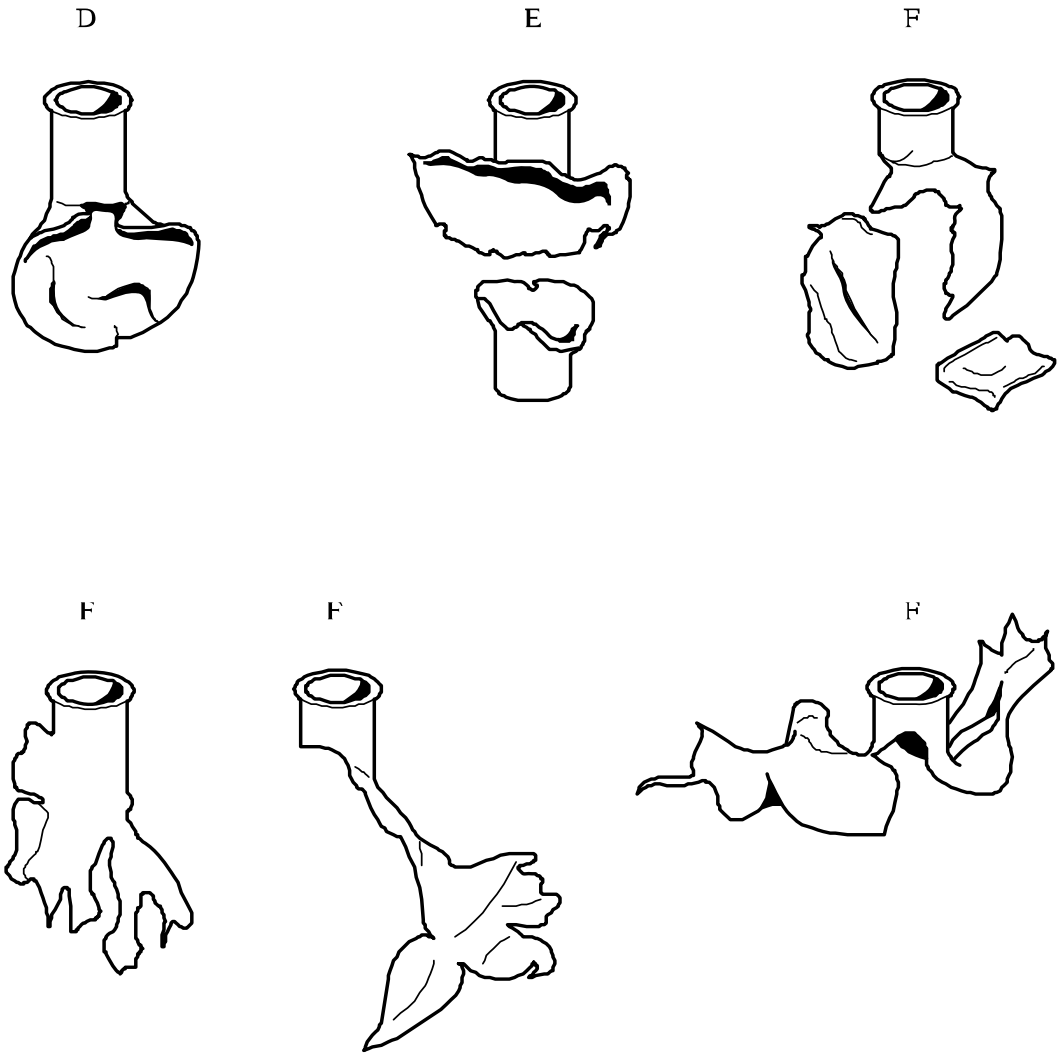


Figura 18.6.1.3: EJEMPLOS DE EFECTOS DE LOS TIPOS D, E Y F

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.7 Serie 8, Tipo d): Disposiciones relativas a las pruebas

18.7.1 *Prueba 8 d) i): Prueba del tubo con escape*

18.7.1.1 *Introducción*

Esta prueba no está destinada a la clasificación pero figura en el presente Manual como método dirigido a determinar si una sustancia puede ser transportada en cisternas.

La prueba del tubo con escape sirve para evaluar los efectos de la exposición a un fuego importante, en espacio limitado con ventilación, de una sustancia susceptible de ser clasificada como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, para la fabricación de explosivos para voladuras (ENA).

18.7.1.2 *Aparatos y materiales*

Se utiliza el siguiente material:

a) Un tubo de acero de un diámetro de 310 ± 10 mm y de una longitud de 610 ± 10 mm cuyo orificio inferior está obturado mediante una placa cuadrada soldada de acero dulce de 380 mm de lado y de 10 ± 0,5 mm de espesor. Una placa similar, provista en su centro de un orificio de 78 mm de diámetro al cual está conectado mediante soldadura un tubo de acero de una longitud de 152 mm y de un diámetro interior de 78 mm, está soldada sobre el orificio superior (véase la figura 18.7.1.1).

b) Una parrilla metálica destinada a mantener el tubo lleno por encima del combustible en una posición que permita un calentamiento eficaz. Si se utiliza un fuego de tablillas de madera entrecruzadas, la parrilla debe estar situada a 1,0 m por encima del suelo; si se utiliza un fuego de hidrocarburo líquido, la parrilla ha de estar situada a 0,5 m del suelo;

c) Suficiente combustible para mantener un fuego durante por lo menos 30 minutos o, si fuera necesario, durante un tiempo ampliamente suficiente para hacer reaccionar la sustancia;

d) Los medios de inflamación para encender el combustible por dos lados: para un fuego de tablillas de madera, por ejemplo, se utilizará keroseno para impregnar la madera y un encendedor pirotécnico para virutas de madera.

e) Cámaras fotográficas o de video, para registrar en color la prueba, de preferencia a gran velocidad y a velocidad normal;

f) Pueden emplearse también medidores de onda expansiva y de radiación y el material de registro asociado.

18.7.1.3 *Procedimiento*

18.7.1.3.1 El tubo se llena de la sustancia que se somete a prueba sin apisonarla mientras se carga. La sustancia se empaqueta con cuidado para evitar que se formen cavidades. El tubo de acero se pone verticalmente sobre la parrilla y se mantiene de manera de evitar que se vuelque. El combustible se pone bajo la parrilla de modo que el fuego envuelva el tubo. Puede que se necesiten protecciones contra los vientos laterales a fin de evitar la disipación del calor. Pueden utilizarse diversos métodos para el calentamiento: pila de tablillas de madera entrecruzadas, combustible líquido o gaseoso que produzca llamas cuya temperatura alcance por lo menos 800ºC.

18.7.1.3.2 Un método recomendado es el de un fuego de madera con una relación aire/combustible equilibrada, que evite el desprendimiento de humos que pueden dificultar la observación y que arda con una intensidad y duración suficientes para que la sustancia pueda eventualmente reaccionar. El combustible puede, por ejemplo, estar constituido por tablillas de madera secadas al aire (de sección cuadrada de

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

aproximadamente 50 mm de lado) apiladas en posición entrecruzada bajo la parrilla (a 1,0 m por encima del nivel del suelo) y que suban hasta la base de la parrilla que sostiene el tubo. El apoyo de madera debe extenderse más allá del contorno del tubo, hasta por lo menos 1, 0 m en cada dirección y la separación entre las tablillas ha de ser de unos 100 mm.

18.7.1.3.3 También se puede emplear para el calentamiento un recipiente lleno de un combustible líquido o de una combinación de combustible líquido y madera, siempre que las condiciones de la prueba sean igualmente rigurosas. Si se utiliza un fuego de combustible líquido, el recipiente debe extenderse más allá del contorno del tubo hasta por lo menos 1,0 m en cada dirección. La distancia vertical entre la rejilla y el recipiente debe ser aproximadamente 0,5 m. Antes de recurrir a este método, no obstante, hay que asegurarse de que no hay riesgo de que se produzca un efecto de extinción o reacciones indeseables entre la sustancia y el combustible líquido que puedan comprometer los resultados de la prueba.

18.7.1.3.4 Si se utiliza un gas como combustible, la zona de combustión debe extenderse más allá del contorno del tubo, a una distancia de por lo menos 1,0 m en cada dirección. La alimentación del gas debe hacerse de manera tal que la llama se distribuya uniformemente en torno al tubo. El depósito del gas ha de ser lo bastante grande para mantener las llamas durante cuando menos 30 minutos. La inflamación del gas puede lograrse sea por un dispositivo pirotécnico accionado a distancia, sea con la apertura a distancia de la alimentación de gas cerca de una fuente de inflamación ya encendida.

18.7.1.3.5 Se instala el sistema de encendido y se enciende el combustible desde dos lados, uno de los cuales debe ser el lado del viento. La prueba no ha de efectuarse con un viento de una velocidad superior a 6 m/s. ***El fuego ha de encenderse desde un lugar seguro. Si el tubo no se rompe, hay que dejar que el sistema se enfríe antes de desmontarlo todo con cuidado y vaciar el tubo.***

18.7.1.3.6 Las observaciones se refieren a los siguientes puntos:

a) Prueba de la explosión;

b) Ruido intenso, y

c) Proyección de fragmentos provenientes de la zona del fuego.

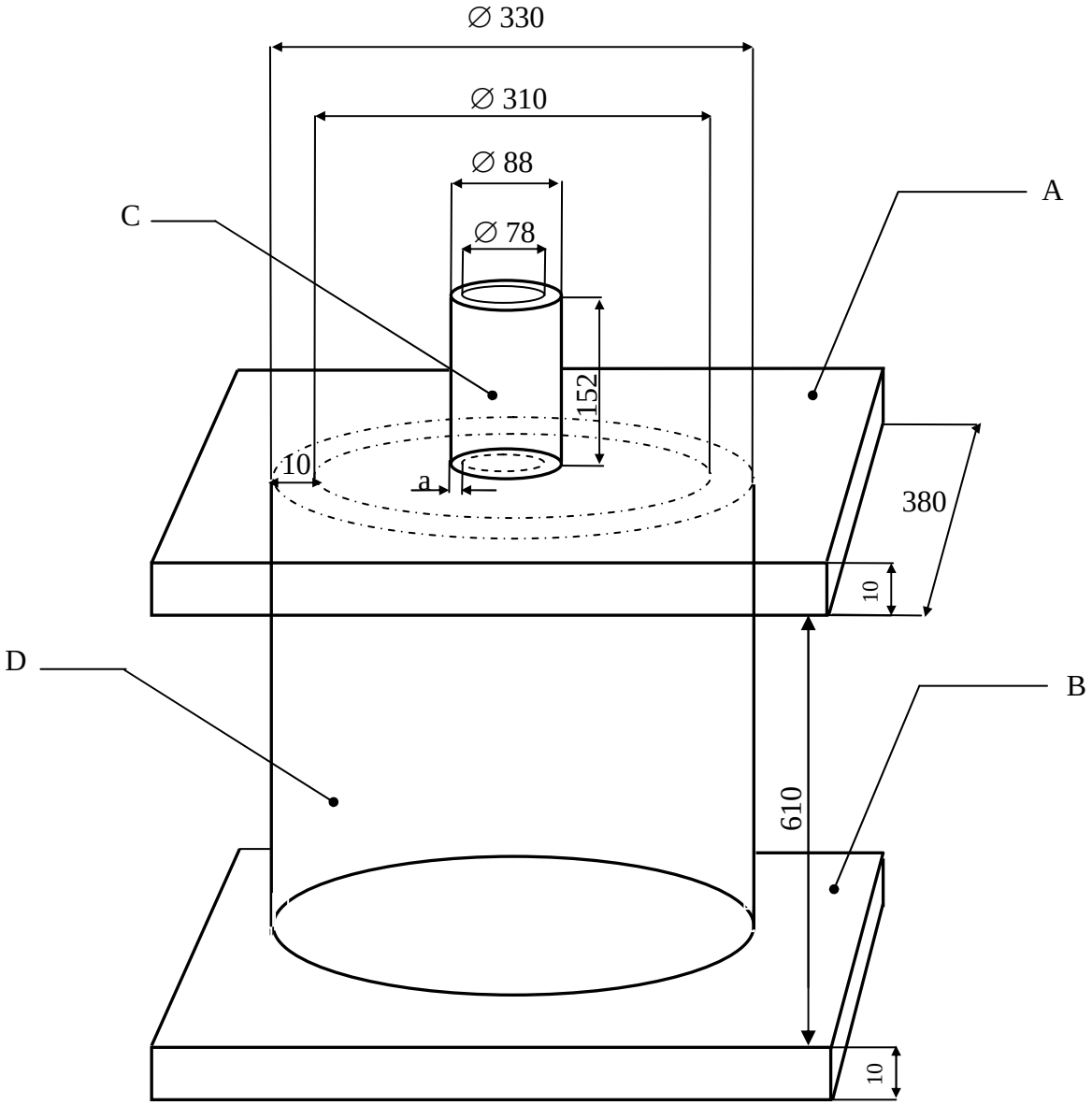
18.7.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia no ha de transportarse en cisternas si se observa una explosión o una fragmentación del tubo. Se considera que el resultado es negativo (-) a falta de explosión o de fragmentación del tubo.

18.7.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Resultado**
Se agregará	

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



Todas las medidas en milímetros

(A) Placa superior (Carbón, ficha 40 (A53 calidad B))
(B) Placa inferior (Carbón, ficha 40 (A53 calidad B))
(C) Tubo de acero (a = 0,5 cm), (Carbón, ficha 40 (A53 calidad B))
(D) Tubo de acero (Carbón, ficha 40 (A53 calidad B))

Figura 18.7.1.1: PRUEBA DEL TUBO CON ESCAPE

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

18.7.2 ***Prueba 8 d) ii): Prueba modificada del tubo con escape***

18.7.2.1 *Introducción*

Esta prueba no está destinada a la clasificación, pero figura en el presente Manual como método dirigido a determinar si una sustancia a granel puede ser transportada en cisternas.

La prueba modificada del tubo con escape sirve para evaluar los efectos de la exposición a un fuego importante, en un espacio limitado, con ventilación, de una sustancia susceptible de ser clasificada como nitrato de amonio en emulsión, suspensión o gel, para la fabricación de explosivos para voladuras (ENA).

18.7.2.2 *Aparatos y materiales*

Se utiliza el siguiente material:

a) Un recipiente con escape constituido por un tubo de acero dulce con un diámetro interior de 265 ± 10 mm, una longitud de 580 ± 10 mm y una pared de 5,0 ± 0,5 mm de espesor. Tanto la placa de cierre inferior como la superior están construidas con placas cuadradas de acero dulce de 300 mm de lado y 6,0 ± 0,5 mm de espesor. La placa superior y la placa de la base están fijadas al tubo mediante una soldadura de al menos 5 mm de espesor. La placa superior tiene un agujero de escape de 85 mm ± 1,0 mm. Se taladran otros dos agujeros pequeños en la placa superior en los que se introducirán ajustadamente sendos termopares;

b) Un bloque de hormigón de unos 400 mm de lado y 50 a 75 mm de espesor;

c) Una peana para sujetar el recipiente a una altura de 150 mm sobre el bloque de hormigón;

d) Un quemador de gas capaz de absorber un caudal de propano de hasta 60 g/min. El quemador se apoya mediante una base en el bloque de hormigón. Un ejemplo típico de quemador apropiado sería un quemador mongol de 32 chorros;

e) Un escudo de chapa metálica para proteger la llama de propano del viento lateral. Ese escudo puede fabricarse de chapa metálica galvanizada de unos 0,5 mm de espesor. El diámetro del escudo contra el viento es de 600 mm y la altura de 250 mm. Se distribuyen en torno al escudo cuatro orificios ajustables de aireación de 150 mm de ancho y 100 mm de alto para conseguir que llegue aire suficiente a la llama de gas;

f) Botellas de propano conectadas mediante un colector a un regulador de presión. Pueden utilizarse otros gases combustibles, a condición de que se respete la velocidad de calentamiento prescrita. El regulador de presión deberá reducir la presión de las botellas de propano de 600 kPa a unos 150 kPa. De ahí el gas pasa a un rotámetro con el que se pueda medir un caudal de hasta 60 g/min de propano y una válvula de aguja. Se utilizará una válvula eléctrica actuada por un solenoide para abrir o cerrar el caudal de propano a distancia. Normalmente, tres botellas de propano de 9 kg proporcionarán el caudal de gas deseado durante cinco pruebas. La presión y el caudal de gas se regularán para conseguir una velocidad de calentamiento de 3,3 ± 0,3 K/min medida según el procedimiento de calibración;

g) Tres termopares con sondas de acero inoxidable de 500 mm (dos sondas) y 100 mm (una sonda) de longitud y cables de conexión recubiertos de fibra de vidrio;

h) Un sistema de almacenamiento de datos capaz de registrar la señal de salida de los termopares;

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

i) Cámaras fotográficas o de vídeo para registrar en color la prueba, de preferencia a gran velocidad y a velocidad normal;

j) Agua pura para la calibración;

k) El ENA objeto de la prueba;

Podrán utilizarse también aparatos de medición del efecto de onda expansiva y de radiación y un material de registro adaptado.

18.7.2.3 *Calibración*

18.7.2.3.1 El recipiente se llena con agua pura hasta el 75% de su capacidad (es decir, hasta una altura de 435 mm), y se calienta mediante el procedimiento especificado en 18.7.2.4. Se calienta el agua desde la temperatura ambiente hasta 90ºC, controlando la temperatura mediante el termopar sumergido en el agua. Los datos temperatura-tiempo deben ajustarse a una línea recta cuya pendiente será "la velocidad de calentamiento de calibración" para esa combinación de recipiente y fuente de calor.

18.7.2.3.2 La presión y el caudal de gas deben regularse para conseguir una velocidad de calentamiento de 3,3 ± 0,3 K/min.

18.7.2.3.3 Esa calibración deberá realizarse antes de someter a prueba cualquier ENA, aunque podrá aplicarse la misma calibración para cualquier prueba realizada en el plazo de un día desde la calibración, siempre que no se introduzcan cambios en la construcción del recipiente o en el suministro de gas. Deberá procederse a una nueva calibración cada vez que se cambie el quemador.

18.7.2.4 *Procedimiento*

18.7.2.4.1 El bloque de hormigón se coloca sobre una base arenosa y se nivela mediante un nivel de burbuja. El quemador de propano se coloca en el centro del bloque de hormigón y se conecta a la tubería de suministro de gas. La peana metálica se coloca sobre el quemador.

18.7.2.4.2 El recipiente se coloca verticalmente sobre la peana y se sujeta para que no vuelque. El recipiente se llena hasta el 75% de su capacidad (hasta una altura de 435 mm) con el ENA objeto de la prueba, sin apisonar mientras se carga. Debe registrarse la temperatura inicial del ENA. La sustancia se coloca con cuidado para evitar que se formen cavidades. Se coloca el escudo contra el viento alrededor de la base del conjunto para proteger la llama de propano de la disipación de calor debida al viento lateral.

18.7.2.4.3 Los termopares se sitúan de la forma siguiente:

a) la primera sonda de 500 mm de longitud (T1) en la llama de gas;

b) la segunda sonda de 500 mm de longitud (T2) extendida dentro del recipiente de forma que la punta esté situada a una distancia de entre 80 y 90 mm del fondo;

c) la tercera sonda de 100 mm de longitud (T3) en la parte superior del recipiente de manera que penetre 20 mm en éste.

Los termopares se conectan al sistema de almacenamiento de datos y tanto los cables de los termopares como el sistema de almacenamiento de datos se protegen adecuadamente del aparato de prueba por si se produjera una explosión.

18.7.2.4.4 Se comprueban la presión y el caudal de propano y se ajustan a los valores utilizados durante la calibración con agua que se describe en 18.7.2.3. Se comprueban y se ponen en marcha las cámaras de vídeo y cualquier otro equipo de registro. Se comprueba el funcionamiento de los termopares y se da comienzo al almacenamiento de datos, estableciéndose un intervalo entre lecturas de los termopares no superior a 10 segundos, y preferentemente menor. La prueba no ha de efectuarse si la velocidad del viento es

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

superior a 6 m/s. Si la velocidad del viento fuera superior, será necesario adoptar precauciones adicionales contra el viento lateral a fin de evitar la disipación del calor.

18.7.2.4.5 El quemador de propano puede encenderse in situ o a distancia y todos los trabajadores deben retirarse inmediatamente a un lugar seguro. El desarrollo de la prueba se sigue mediante la vigilancia de las lecturas de los termopares y las imágenes de circuito cerrado de televisión. Se considera que la prueba se ha iniciado cuando el termopar T1 introducido en la llama comienza a subir.

18.7.2.4.6 El depósito de gas ha de ser lo bastante grande como para que la sustancia pueda eventualmente reaccionar y la llama pueda mantenerse hasta después de que se haya consumido totalmente la muestra objeto de ensayo. Si el recipiente no se rompe, hay que dejar que el sistema se enfríe antes de desmontarlo todo con cuidado.

18.7.2.4.7 El resultado de la prueba viene determinado por la observación o no de una rotura del recipiente después de concluida la prueba. La prueba de que el ensayo ha concluido se basará en:

a) la observación visual y auditiva de la rotura del recipiente acompañada por la pérdida de señal de los termopares;

b) la observación visual y auditiva de un escape importante acompañado por un pico en la señal de ambos termopares introducidos en el recipiente y la comprobación de que no queda sustancia en el recipiente; o

c) la observación visual de una reducción del nivel de humos después de un pico en las lecturas de ambos termopares introducidos en el recipiente superior a 300ºC y la comprobación de que no queda sustancia en el recipiente.

A los fines de la evaluación de los resultados, el término "rotura" incluye cualquier fallo de las soldaduras o fractura del metal del recipiente.

18.7.2.4.8 La prueba se realizará dos veces a menos que se observe en la primera un resultado positivo.

18.7.2.5 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Se considera que el resultado es positivo (+) y que la sustancia no ha de transportarse en cisternas como sustancia peligrosa de la división 5.1, si se observa una explosión en alguna de las pruebas. La explosión quedará determinada por la rotura del recipiente. Si resulta consumida la sustancia en ambas pruebas sin que se observe la rotura del recipiente, el resultado se considera negativo (-).

18.7.2.6 *Ejemplos de resultados*

Sustancias	**Resultado**
76,0 nitrato amónico/17,0 agua/5,6 aceite de parafina/1,4 emulsificante PIBSA	-
84,0 nitrato amónico/9,0 agua/5,6 aceite de parafina/1,4 emulsificante PIBSA	+
67,7 nitrato amónico/12,2 nitrato sódico/14,1 agua/4,8 aceite de parafina/1,2 emulsificante PIBSA	-
67,4 nitrato amónico/15,0 nitrato de metilamina/12,0 agua/5,0 glicol/0,6 espesante	-
71,4 nitrato amónico/14,0 nitrato de hexamina/14,0 agua/0,6 espesante	-

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

PARTE II

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS DE REACCIÓN ESPONTÁNEA DE LA DIVISIÓN 4.1 Y A LOS PERÓXIDOS ORGÁNICOS DE LA DIVISIÓN 5.2

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE II

NOTA 1: *El país u organización de origen de cada prueba se indica entre paréntesis después del nombre de la prueba.*

NOTA 2: *El método que se recomienda para cada tipo de prueba se indica en negrillas y con un asterisco (véase la subsección 1.6 de la Introducción general).*

Sección **Página**

20. INTRODUCCIÓN A LA PARTE II ... 209
20.1 OBJETIVO ... 209
20.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN ... 209
20.3 PROCEDIMIENTO PRELIMINAR ... 210
20.3.1 Observaciones generales ... 210
20.3.2 Tipos de pruebas ... 211
20.3.3 Aplicación de los métodos de prueba ... 211
20.4 PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN ... 214
20.4.1 Observaciones generales ... 214
20.4.2 Clasificación de las sustancias de reacción espontánea ... 214
20.4.3 Clasificación de los peróxidos orgánicos ... 215
20.4.4 Tipos de pruebas ... 217
20.4.5 Aplicación de los métodos de prueba ... 217
20.5 EJEMPLO DE INFORME DE PRUEBA ... 218

21. SERIE DE PRUEBAS A ... 223
21.1 INTRODUCCIÓN ... 223
21.2 MÉTODOS DE PRUEBA ... 223
21.3 CONDICIONES DE LAS PRUEBAS ... 223
21.4 SERIE A: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS ... 225
21.4.1 Prueba A.1: Prueba BAM del tubo de acero 50/60 (A) ... 225
21.4.2 Prueba A.2: Prueba TNO del tubo de acero 50/70 (PB) ... 229
21.4.3 Prueba A.5: Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas) ... 233
21.4.4 **Prueba A.6: * Prueba de detonación (Naciones Unidas)** ... 236

22. SERIE DE PRUEBAS B ... 239
22.1 INTRODUCCIÓN ... 239
22.2 MÉTODO DE LA PRUEBA ... 239
22.3 CONDICIONES DE LA PRUEBA ... 239
22.4 SERIE B: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS ... 240
22.4.1 **Prueba B.1: * Prueba de detonación en un bulto (PB)** ... 240

23. SERIE DE PRUEBAS C ... 243
23.1 INTRODUCCIÓN ... 243
23.2 MÉTODOS DE PRUEBA ... 243
23.3 CONDICIONES DE LAS PRUEBAS ... 243
23.4 SERIE C: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS ... 244
23.4.1 **Prueba C.1: * Prueba de tiempo/presión (GB)** ... 244
23.4.2 **Prueba C.2 : * Prueba de deflagración (PB)** ... 251

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE II *(continuación)*

Sección		Página
24.	**SERIE DE PRUEBAS D**	255
24.1	INTRODUCCIÓN	255
24.2	MÉTODOS DE PRUEBA	255
24.3	CONDICIONES DE LA PRUEBA	255
24.4	SERIE D: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	256
24.4.1	**Prueba D.1: * Prueba de deflagración en un bulto (PB)**	256
25.	**SERIE DE PRUEBAS E**	259
25.1	INTRODUCCIÓN	259
25.2	MÉTODOS DE PRUEBA	259
25.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS	259
25.4	SERIE E: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	260
25.4.1	**Prueba E.1: * Prueba Koenen (A)**	260
25.4.2	**Prueba E.2: * Prueba del recipiente a presión (PB)**	267
25.4.3	Prueba E.3: Prueba del recipiente a presión (EE.UU)	271
26.	**SERIE DE PRUEBAS F**	275
26.1	INTRODUCCIÓN	275
26.2	MÉTODOS DE PRUEBA	275
26.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS	275
26.4	SERIE F: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	276
26.4.1	Prueba F.1: Prueba del mortero balístico Mk.IIID (GB)	276
26.4.2	Prueba F.2: Prueba del mortero balístico (F)	279
26.4.3	Prueba F.3: Prueba Trauzl (BAM) (A)	286
26.4.4	**Prueba F.4: *Prueba Trauzl modificada (Estados Unidos)**	291
26.4.5	Prueba F.5: Prueba del autoclave de alta presión (PB)	295
27.	**SERIE DE PRUEBAS G**	299
27.1	INTRODUCCIÓN	299
27.2	MÉTODOS DE PRUEBA	299
27.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS	299
27.4	SERIE G: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	300
27.4.1	**Prueba G.1: * Prueba de explosión térmica en un bulto (PB)**	300
27.4.2	Prueba G.2: Prueba de descomposición acelerada en un bulto (EE.UU)	302
28.	**SERIE DE PRUEBAS H**	305
28.1	INTRODUCCIÓN	305
28.2	MÉTODOS DE PRUEBA	305
28.3	CONDICIONES DE LAS PRUEBAS	306
28.4	SERIE H: DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS PRUEBAS	309
28.4.1	**Prueba H.1: * Prueba de determinación de la TDAA (EE.UU.)**	309
28.4.2	**Prueba H.2: * Prueba de almacenamiento adiabático (PB)**	314
28.4.3	Prueba H.3: Prueba de almacenamiento isotérmico (PB)	319
28.4.4	**Prueba H.4: * Prueba de almacenamiento con acumulación de calor (A)**	324

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 20

INTRODUCCIÓN A LA PARTE II

20.1 Objetivo

20.1.1 En la parte II del presente Manual se exponen los sistemas de las Naciones Unidas para la clasificación de las sustancias de reacción espontánea de la división 4.1 y de los peróxidos orgánicos de la división 5.2 (véanse la subsección 2.4.2.3 y la sección 2.5.3 de la Reglamentación Modelo, respectivamente). Incluye una descripción de los procedimientos, métodos de prueba y criterios que se consideran más apropiados para proporcionar a las autoridades competentes la información necesaria para lograr una clasificación correcta de esas sustancias con fines de transporte. Este texto debe utilizarse en conjunción con los principios de clasificación enunciados en los párrafos 20.4.2 (división 4.1) y 20.4.3 (división 5.2) y el diagrama-cuestionario de la figura 20.1 (véanse también los párrafos 2.4.2.3.3 y 2.5.3.3 de la Reglamentación Modelo).

20.1.2 Las sustancias de reacción espontánea y los peróxidos orgánicos se clasifican en siete tipos, según el riesgo que presenten. El esquema de clasificación de estas sustancias se representa en la figura 20.1. Las pruebas se efectúan en dos etapas. ***En la primera etapa, para garantizar la seguridad del personal de laboratorio, deben efectuarse pruebas preliminares con pequeñas cantidades para cerciorarse de la estabilidad y sensibilidad de la sustancia***. En la segunda etapa, se llevan a cabo las pruebas de clasificación.

20.2 Ámbito de aplicación

20.2.1 Las nuevas sustancias que pueden experimentar una descomposición exotérmica, deben someterse, al presentarse para el transporte, a los procedimientos de clasificación de las sustancias de reacción espontánea enunciados en la presente sección, a menos que:

a) Sean explosivas conforme a los criterios relativos a la clase 1;

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

NOTA*: Las mezclas de sustancias 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 a efectos de clasificación como sustancias de la división 5.1 (véase la sección 34).

c) Sean peróxidos orgánicos conforme a los criterios relativos a la división 5.2;

d) Su calor de descomposición (véase 20.3.3.3) sea inferior a 300 J/g; o

e) Su temperatura de descomposición autoacelerada sea superior a 75ºC para un bulto de 50 kg.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

20.2.2 Los nuevos peróxidos orgánicos que se presenten para el transporte deben someterse a los procedimientos de clasificación enunciados en la presente sección, a menos que el preparado de peróxidos orgánicos contenga:

a) No más del 1,0% de oxígeno activo procedente de los peróxidos orgánicos cuando su contenido de peróxido de hidrógeno sea de no más del 1,0%; o

b) No más del 0,5% de oxígeno activo procedente de los peróxidos orgánicos cuando su contenido de peróxido de hidrógeno sea de más del 1,0% pero no más del 7,0%.

20.2.3 En este contexto, se entiende por nueva sustancia toda sustancia que, a juicio de la autoridad competente, tenga cualquiera de las características siguientes:

a) Una nueva sustancia de reacción espontánea que corresponda a la definición dada en el párrafo 2.4.2.3.1.1 de la Reglamentación Modelo, o una mezcla de sustancias de reacción espontánea ya clasificadas que se considera significativamente diferente de las ya clasificadas;

b) Se añade un elemento activador a una sustancia de reacción espontánea o a una sustancia afín ya clasificada (véanse los párrafos 2.4.2.3.2.1 y 2.4.2.3.2.2 de la Reglamentación Modelo) que reduce la estabilidad térmica o altera las propiedades explosivas; o

c) Un nuevo peróxido orgánico que corresponda a la definición dada en el párrafo 2.5.1 de la Reglamentación Modelo, o una mezcla de peróxidos orgánicos ya clasificados que se considera significativamente diferente de los ya clasificados.

20.2.4 Las mezclas de preparados de peróxidos orgánicos ya adscritas a un rubro general pueden ser clasificadas como peróxido orgánico del mismo tipo que el del más peligroso de sus componentes y transportadas en las condiciones de transporte prescritas para ese mismo tipo. No obstante, como dos componentes estables pueden formar una mezcla térmicamente menos estable, debe determinarse la temperatura de descomposición autoacelerada (TDAA) de la mezcla y, de ser necesario, las temperaturas de regulación y de emergencia calculadas a partir de la TDAA como se indica en el párrafo 2.5.3.4 de la Reglamentación Modelo.

20.2.5 Debe aplicarse el procedimiento de clasificación antes de presentar un nuevo producto para el transporte.

20.2.6 Toda sustancia que presente las propiedades de una sustancia de reacción espontánea (excepto el tipo G) debe ser clasificada como tal, aunque esta sustancia dé un resultado positivo con arreglo al método de prueba para las sustancias de reacción espontánea de la división 4.2 (véanse la sección 33.3 del presente Manual y el capítulo 2.4 de la Reglamentación Modelo).

20.3 Procedimiento preliminar

20.3.1 *Observaciones generales*

Para garantizar la seguridad del personal de laboratorio, es indispensable que se realicen pruebas preliminares con pequeñas cantidades antes de acometer ensayos con cantidades mayores. Esto incluye pruebas para determinar la sensibilidad de la sustancia a estímulos mecánicos (impacto y fricción) y al calor y las llamas.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

20.3.2 ***Tipos de pruebas***

Por regla general, para efectuar una evaluación preliminar de la seguridad del producto, pueden utilizarse cuatro tipos de pruebas en pequeña escala:

a) Una prueba del martinete para determinar la sensibilidad al choque;

b) Una prueba de fricción o de fricción con choque para determinar la sensibilidad a la fricción;

c) Una prueba para evaluar la estabilidad térmica y la energía de descomposición exotérmica; y

d) una prueba para evaluar los efectos de la inflamación.

20.3.3 ***Aplicación de los métodos de prueba***

20.3.3.1 *Por razones de seguridad, es habitual que se realicen primero las pruebas que requieran la cantidad más pequeña de sustancia.*

20.3.3.2 Puede evaluarse la sensibilidad al choque y a la fricción utilizando una de las pruebas de la serie 3 del procedimiento de aceptación en la clase 1 (véase la parte I).

20.3.3.3 Para determinar la estabilidad térmica y la energía de descomposición exotérmica puede utilizarse una técnica calorimétrica apropiada, como la calorimetría de exploración diferencial o la calorimetría adiabática. Al emplear estas técnicas debe ponerse especial cuidado al interpretar los resultados cuando:

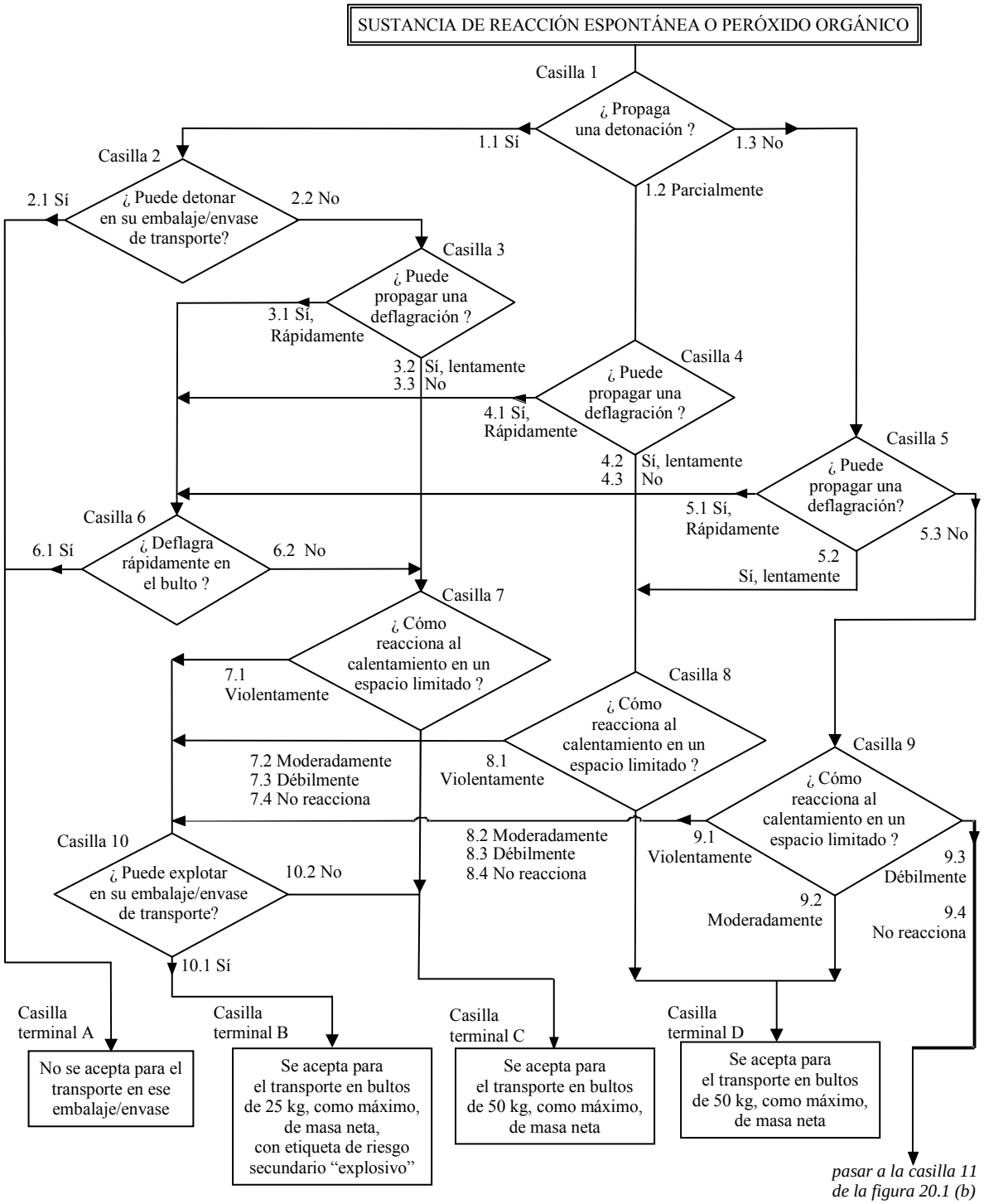
- se tomen muestras de mezclas y se las someta a prueba;
- el material del recipiente de la muestra pueda incidir en el resultado;
- los efectos endotérmicos precedan de modo inmediato a los exotérmicos;
- la evaporación de los componentes reduzca la exotermicidad (normalmente deben utilizarse portamuestras);
- la presencia de aire pueda afectar de modo crítico la energía de descomposición medida;
- haya una diferencia importante entre el calor específico de los reactivos y el de los productos; y
- se utilicen velocidades de calentamiento elevadas (cuando se utilice calorimetría de exploración diferencial, normalmente las velocidades de calentamiento se sitúan entre los límites de 2 y 5 k/min)

Si se utiliza la calorimetría de exploración diferencial, la temperatura de comienzo extrapolada se define como el punto en el que la tangente trazada desde el punto de máxima pendiente hasta el borde anterior del pico corta a la línea basal extrapolada.

20.3.3.4 Para evaluar los efectos de la inflamación puede utilizarse cualquier método apropiado, siempre y cuando permita determinar debidamente aquellos materiales que reaccionen violentamente en una situación de contención débil o nula.

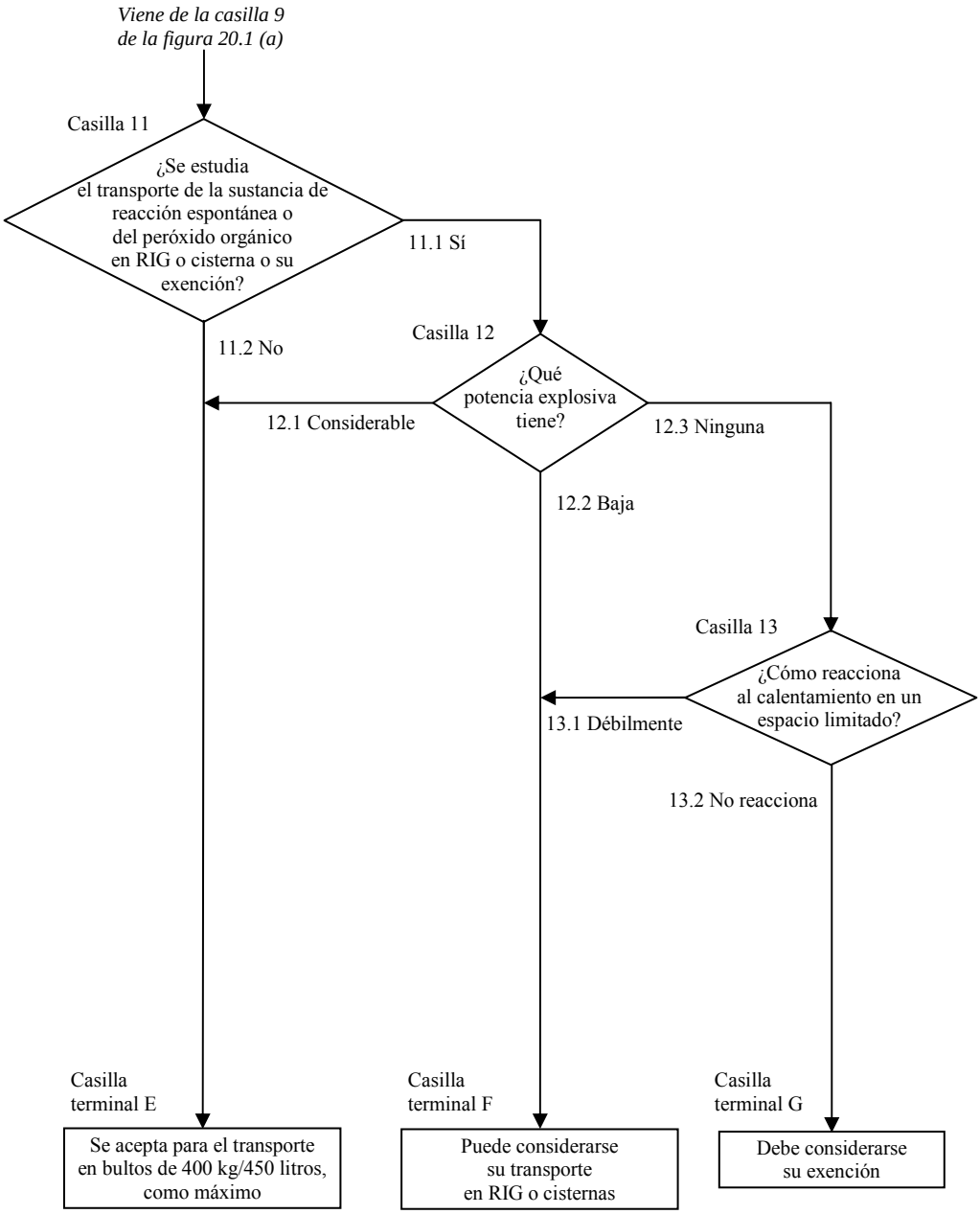
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 20.1 (a): DIAGRAMA-CUESTIONARIO PARA LAS SUSTANCIAS DE REACCIÓN ESPONTÁNEA Y LOS PERÓXIDOS ORGÁNICOS



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 20.1 (b): DIAGRAMA-CUESTIONARIO PARA LAS SUSTANCIAS DE REACCIÓN ESPONTÁNEA Y LOS PERÓXIDOS ORGÁNICOS *(continuación)*



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

20.4 Procedimiento de clasificación

20.4.1 *Observaciones generales*

20.4.1.1 Los principios de clasificación de las sustancias de reacción espontánea y de los peróxidos orgánicos se exponen en las subsecciones 20.4.2 y 20.4.3, respectivamente (véanse también los párrafos 2.4.2.3.3 y 2.5.3.3 de la Reglamentación Modelo). El esquema general de clasificación (diagrama-cuestionario) se reproduce en la figura 20.1. Las sustancias de reacción espontánea y los peróxidos orgánicos pueden clasificarse en siete tipos, según el riesgo que presenten. Para determinar el tipo al que corresponde una sustancia, es necesario establecer sus propiedades, según se indica en el diagrama-cuestionario y en los requisitos adicionales establecidos en los principios de clasificación. Los tipos van desde el tipo A, que no se acepta para el transporte en el embalaje/envase en que se ha sometido a prueba, hasta el tipo G, que está exento de las disposiciones relativas a las sustancias de reacción espontánea de la división 4.1 o a los peróxidos orgánicos de la división 5.2. Los tipos B a F están directamente relacionados con la cantidad máxima de sustancia que se autoriza en un embalaje/envase.

20.4.1.2 Debe considerarse que un preparado de sustancias de reacción espontánea o de peróxidos orgánicos posee propiedades explosivas cuando en una prueba de laboratorio ese preparado pueda detonar, deflagrar rápidamente o experimentar un efecto violento cuando se lo caliente en espacio limitado.

20.4.1.3 La temperatura de descomposición autoacelerada (TDAA) se define como la temperatura ambiente más baja a la que puede producirse la descomposición autoacelerada de una sustancia en el embalaje/envase utilizado para el transporte (véase la subsección 2.5.3.4 de la Reglamentación Modelo). Debe determinarse una TDAA para averiguar:

a) Si una sustancia debe someterse a regulación de la temperatura durante el transporte;

b) Si, cuando proceda, una sustancia se ajusta a las disposiciones relativas al tipo G; o

c) Si, cuando proceda, una sustancia cumple el criterio de TDAA para las sustancias de reacción espontánea.

20.4.1.4 Cuando proceda, debe determinarse el estado físico de la sustancia, según lo dispuesto en la definición de líquidos dada en el párrafo 1.2.1 de la Reglamentación Modelo.

20.4.1.5 Para asignar la sustancia al rubro general apropiado debe tenerse en cuenta el tipo de la sustancia, su estado físico y el hecho de que se requiera o no una regulación de la temperatura.

20.4.2 *Clasificación de las sustancias de reacción espontánea*

La clasificación de las sustancias de reacción espontánea que no figuren en el párrafo 2.4.2.3.2.3 de la Reglamentación Modelo debe obedecer a los principios siguientes:

a) Toda sustancia que en su embalaje/envase de transporte pueda detonar o deflagrar rápidamente será inaceptable a efectos de transporte en dicho embalaje/envase en virtud de las disposiciones relativas a las sustancias de reacción espontánea de la división 4.1 (se calificará como sustancia de reacción espontánea tipo A: casilla terminal A de la figura 20.1).

b) Toda sustancia que tenga características propias de los explosivos y que en su embalaje/envase de transporte no detone ni deflagre rápidamente, pero que pueda experimentar una explosión térmica en dicho embalaje/envase, llevará también una etiqueta de riesgo secundario de "EXPLOSIVO". Tal sustancia podrá transportarse embalada/envasada en cantidades no superiores a 25 kg, salvo que para evitar la detonación o la deflagración rápida en el bulto, haya que reducir la cantidad máxima autorizada (se calificará como sustancia de reacción espontánea tipo B: casilla terminal B de la figura 20.1).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

c) Toda sustancia que tenga características propias de los explosivos podrá ser transportada sin etiqueta de riesgo secundario de "EXPLOSIVO" si en su embalaje/envase de transporte (50 kg como máximo) no puede detonar, deflagrar rápidamente o experimentar una explosión térmica (se calificará como sustancia de reacción espontánea tipo C: casilla terminal C de la figura 20.1).

d) Toda sustancia que en los ensayos de laboratorio:

i) detone parcialmente, no deflagre rápidamente y no reaccione violentamente al calentamiento en un espacio limitado; o

ii) no detone en absoluto, deflagre lentamente y no reaccione violentamente al calentamiento en un espacio limitado; o

iii) no detone ni deflagre en absoluto y reaccione moderadamente al calentamiento en un espacio limitado;

podrá ser aceptada para el transporte en bultos cuya masa neta no exceda de 50 kg (se calificará como sustancia de reacción espontánea tipo D: casilla terminal D de la figura 20.1).

e) Toda sustancia que en los ensayos de laboratorio no detone ni deflagre en absoluto y reaccione débilmente, o no reaccione, al calentamiento en un espacio limitado, podrá ser aceptada para el transporte en bultos que no excedan de 400 kg/450 litros (se calificará como sustancia de reacción espontánea tipo E: casilla terminal E de la figura 20.1).

f) Toda sustancia que en los ensayos de laboratorio no detone en estado de cavitación ni deflagre en absoluto y reaccione débilmente, o no reaccione, al calentamiento en un espacio limitado, y cuya potencia explosiva sea baja o nula, podrá ser considerada para su transporte en RIG o cisternas (se calificará como sustancia de reacción espontánea tipo F: casilla terminal F de la figura 20.1); véanse, además, las disposiciones de la subsección 4.1.7.2 de la Reglamentación Modelo, así como la subsección 4.2.1.13 de la instrucción de embalaje/envasado IBC520 y la instrucción T23 relativa a cisternas portátiles.

g) Toda sustancia que en los ensayos de laboratorio no detone en estado de cavitación ni deflagre en absoluto y no reaccione al calentamiento en un espacio limitado, y cuya potencia explosiva sea nula, quedará exenta de la clasificación como sustancia de reacción espontánea de la división 4.1, a condición de que el preparado de que se trate sea térmicamente estable (con temperatura de descomposición autoacelerada de 60 a 75ºC en un bulto de 50 kg) y de que el diluyente que se utilice satisfaga lo prescrito en el párrafo 2.4.2.3.5 de la Reglamentación Modelo (y se la calificará como sustancia de reacción espontánea tipo G: casilla terminal G de la figura 20.1). Si no es térmicamente estable, o si se emplea como medio de insensibilización un diluyente compatible con punto de ebullición inferior a 150ºC, se calificará al preparado como líquido/sólido de reacción espontánea tipo F.

20.4.3 *Clasificación de los peróxidos orgánicos*

La clasificación de los preparados de peróxidos orgánicos que no figuren en el párrafo 2.5.3.2.4 de la Reglamentación Modelo debe obedecer a los principios siguientes:

a) Todo preparado de peróxido orgánico que, en la forma en que esté embalado/envasado para el transporte, pueda detonar o deflagrar rápidamente será inaceptable a efectos de transporte en el tipo de embalaje/envase aludido como sustancia de la división 5.2 (se calificará como peróxido orgánico tipo A: casilla terminal A de la figura 20.1).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

b) Todo preparado de peróxido orgánico que tenga características propias de los explosivos y que, en la forma en que esté embalado/envasado para el transporte, no detone ni deflagre rápidamente, pero que pueda experimentar una explosión térmica en el embalaje/envase aludido, deberá llevar una etiqueta de riesgo secundario de "EXPLOSIVO". Tal peróxido orgánico podrá transportarse embalado/envasado en cantidades no superiores a 25 kg, a menos que, para evitar la detonación o la deflagración rápida en el bulto, haya que limitar la cantidad máxima autorizada (se calificará como peróxido orgánico tipo B: casilla terminal B de la figura 20.1).

c) Todo preparado de peróxido orgánico que tenga características propias de los explosivos podrá transportarse sin etiqueta de riesgo secundario de "EXPLOSIVO" si, en la forma en que esté embalado/envasado para el transporte (50 kg como máximo), no puede detonar ni experimentar una deflagración rápida ni una explosión térmica (se calificará como peróxido orgánico tipo C: casilla terminal C de la figura 20.1).

d) Toda preparado de peróxido orgánico que en los ensayos de laboratorio:

i) detone parcialmente, no deflagre rápidamente y no reaccione violentamente al calentamiento en un espacio limitado; o

ii) no detone en absoluto, deflagre lentamente y no reaccione violentamente al calentamiento en un espacio limitado; o

iii) no detone ni deflagre en absoluto y reaccione moderadamente al calentamiento en un espacio limitado;

es aceptable para el transporte en bultos cuya masa neta no exceda de 50 kg (se calificará como peróxido orgánico tipo D: casilla terminal D de la figura 20.1).

e) Todo preparado de peróxido orgánico que, en los ensayos de laboratorio, no detone ni deflagre en absoluto, y que reaccione débilmente, o no reaccione, al calentamiento en un espacio limitado, es aceptable para el transporte en bultos que no excedan de 400 kg/450 litros (se calificará como peróxido orgánico tipo E: casilla terminal E de la figura 20.1).

f) Todo preparado de peróxido orgánico que, en los ensayos de laboratorio, no detone en estado de cavitación ni deflagre en absoluto, que reaccione débilmente, o no reaccione, al calentamiento en un espacio limitado, y cuya potencia explosiva sea baja o nula, podrá considerarse para su transporte en RIG y en cisternas (se calificará como peróxido orgánico tipo F: casilla terminal F de la figura 20.1); véanse, además, las disposiciones de la subsección 4.1.7.2 y la instrucción de embalaje/envasado IBC520, la subsección 4.2.1.13 y la instrucción T23 relativa a cisternas portátiles, de la Reglamentación Modelo.

g) Todo preparado de peróxido orgánico que, en los ensayos de laboratorio, no detone en estado de cavitación ni deflagre en absoluto, que no reaccione al calentamiento en un espacio limitado, y cuya potencia explosiva sea nula, quedará exenta de las disposiciones relativas a la división 5.2 a condición de que sea térmicamente estable (temperatura de descomposición autoacelerada igual o superior a 60ºC en un bulto de 50 kg) y de que, en el caso de los preparados líquidos, se emplee un diluyente del tipo A como medio de insensibilización (se calificará como peróxido orgánico tipo G: casilla terminal G de la figura 20.1). Si el preparado no es térmicamente estable, o si se emplea como medio de insensibilización un diluyente que no sea del tipo A, el preparado debe ser calificado como peróxido orgánico tipo F.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

20.4.4 *Tipos de pruebas*

20.4.4.1 Los párrafos 20.4.2 y 20.4.3 se refieren únicamente a aquellas propiedades de las sustancias de reacción espontánea y de los peróxidos orgánicos que son determinantes para su clasificación. Esas propiedades deben determinarse experimentalmente.

20.4.4.2 Los métodos de prueba utilizados para determinar el tipo de sustancia de reacción espontánea o de peróxido orgánico se agrupan en ocho series, con las letras A a H, destinadas a proporcionar la información necesaria para responder a las preguntas del diagrama-cuestionario de la figura 20.1 y aplicar los principios de clasificación.

20.4.4.3 La serie A comprende pruebas de laboratorio y criterios relativos a la propagación de una detonación, según se indica en la casilla 1 del diagrama-cuestionario.

20.4.4.4 La serie B comprende una prueba y criterios relativos a la propagación de la detonación de una sustancia en su embalaje/envase de transporte, según se indica en la casilla 2 del diagrama-cuestionario.

20.4.4.5 La serie C comprende pruebas de laboratorio y criterios relativos a la propagación de la deflagración, según se indica en las casillas 3, 4 y 5 del diagrama-cuestionario.

20.4.4.6 La serie D comprende pruebas de laboratorio y criterios relativos a la propagación de la deflagración rápida de una sustancia en su embalaje/envase de transporte, según se indica en la casilla 6 del diagrama-cuestionario.

20.4.4.7 La serie E comprende pruebas de laboratorio y criterios relativos a la determinación de los efectos del calentamiento en espacio limitado, según se indica en las casillas 7, 8, 9 y 13 del diagrama-cuestionario.

20.4.4.8 La serie F comprende pruebas de laboratorio y criterios relativos a la potencia explosiva de sustancias que se proyecta transportar en recipientes intermedios para graneles (RIG) o cisternas o excluir de la división (véase la casilla 11 del diagrama-cuestionario), según se indica en la casilla 12 del mismo.

20.4.4.9 La serie G comprende pruebas y criterios relativos a la determinación de los efectos de una explosión térmica de la sustancia en su embalaje/envase de transporte, según se indica en la casilla 10 del diagrama-cuestionario.

20.4.4.10 La serie H comprende pruebas y criterios relativos a la determinación de la temperatura de descomposición autoacelerada de los peróxidos orgánicos y de las sustancias de reacción espontánea o de posible reacción espontánea.

20.4.5 *Aplicación de los métodos de prueba*

20.4.5.1 El orden en que se han atribuido las letras A a H a las distintas series corresponde más a la secuencia de evaluación de los resultados que al orden de realización de las pruebas. La secuencia recomendada para las pruebas de laboratorio es como sigue: E, H, F, C y A. Puede ocurrir que algunas pruebas no sean necesarias (véase la introducción a cada una de las series).

20.4.5.2 Las pruebas de las series B, D y G, que se realizan en bultos, sólo deben llevarse a cabo si lo requieren los resultados de las pruebas correspondientes de las series A, C y E.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

20.5 Ejemplo de informe de prueba

20.5.1 En las figuras 20.2 y 20.3 se dan ejemplos de un informe de prueba y de una clasificación, respectivamente.

20.5.2 Para tener en cuenta las incertidumbres analíticas, la concentración de la sustancia que ha de transportarse puede exceder en un 2% la concentración utilizada en la prueba. Cuando la prueba se refiera a un peróxido orgánico, el contenido de oxígeno activo debe constar en la sección de datos generales del informe. De modo análogo, si se trata de una sustancia de reacción espontánea, deben indicarse, cuando proceda, el tipo y la concentración del activador.

20.5.3 Si los resultados de la prueba preliminar indican que la sustancia es muy sensible a la inflamación (por ejemplo, por impacto, fricción o chispa), deben constar estos resultados en el informe.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 20.2: EJEMPLO DE INFORME DE PRUEBA

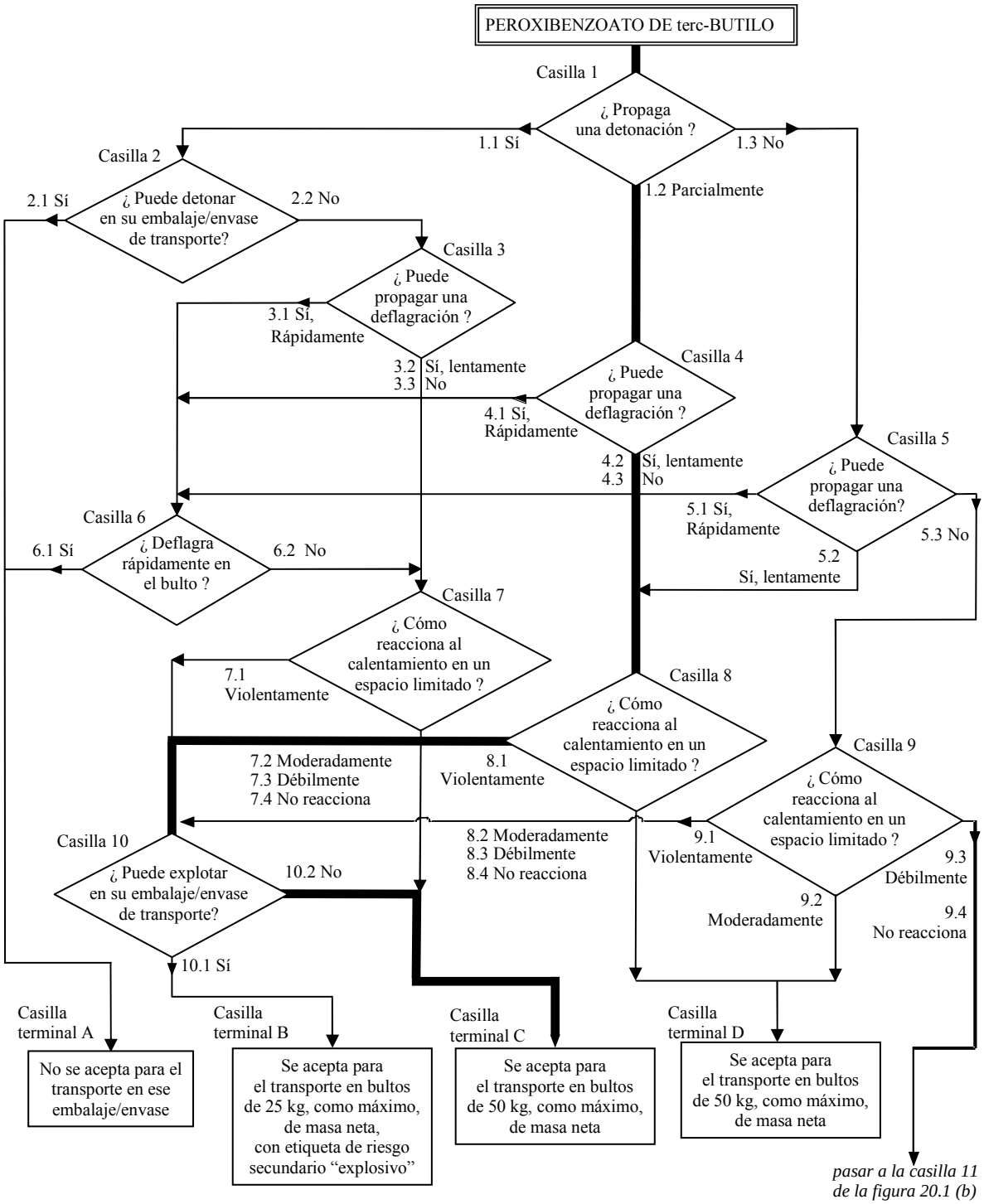
1.	Nombre de la sustancia	:	PEROXIBENZOATO DE terc-BUTILO, técnicamente puro
2.	Datos generales		
2.1	Composición	:	peroxibenzoato de terc-butilo al 98%
2.2	Fórmula molecular	:	$C_{11}H_{14}O_3$
2.3	Proporción de oxígeno activo	:	8,24%
2.4	Contenido de activador	:	No es aplicable
2.5	Estado físico	:	Líquido
2.6	Color	:	Incoloro
2.7	Densidad aparente	:	1.040 kg/m^3
2.8	Granulometría	:	No es aplicable
3.	Detonación (serie de pruebas A)		
	Casilla 1 del diagrama-cuestionario	:	¿Propaga una detonación?
3.1	Método	:	Prueba BAM del tubo de acero 50/60 (prueba A.1)
3.2	Condiciones de la muestra	:	Temperatura ambiente
3.3	Efectos observados	:	Fragmentación del tubo en una longitud de 30 cm; la sustancia que no reaccionó quedó en el tubo
3.4	Resultado	:	Parcialmente
3.5	Casilla terminal	:	1.2
4.	Deflagración (serie de pruebas C)		
	Casilla 4 del diagrama-cuestionario	:	¿Propaga una deflagración?
4.1	Método 1	:	Prueba de tiempo/presión (prueba C.1)
4.2	Condiciones de la muestra	:	Temperatura ambiente
4.3	Efectos observados	:	Tiempo: 2,5 s
4.4	Resultado	:	Sí, lentamente
4.5	Método 2	:	Prueba de deflagración (prueba C.2)
4.6	Condiciones de la muestra	:	Temperatura 50ºC
4.7	Efectos observados	:	Velocidad de deflagración 0,65 mm/s
4.8	Resultado	:	Sí, lentamente
4.9	Resultado global	:	Sí, lentamente
4.10	Casilla terminal	:	4.2
5.	Calentamiento en espacio limitado (serie de pruebas E)		
	Casilla 8 del diagrama-cuestionario	:	¿Cómo reacciona al calentamiento en un espacio cerrado?
5.1	Método 1	:	Prueba Koenen (prueba E.1)
5.2	Condiciones de la muestra	:	Masa 26,0 g
5.3	Efectos observados	:	Diámetro límite 3,5 mm (tiempo hasta la reacción, 19 s; duración de la reacción, 22 s)
5.4	Resultado	:	Violentamente
5.5	Método 2	:	Prueba del recipiente a presión (Países Bajos) (prueba E.2)
5.6	Condiciones de la muestra	:	10,0 g
5.7	Efectos observados	:	Diámetro límite 10,0 mm (tiempo hasta la reacción 110 s; duración de la reacción 4 s)
5.8	Resultado	:	Violentamente
5.9	Resultado definitivo	:	Violentamente
5.10	Casilla terminal	:	8.1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

6.	Explosión en un bulto (serie de pruebas E)		
	Casilla 10 del diagrama- cuestionario	:	¿Puede hacer explosión en su embalaje/envase de transporte?
6.1	Método	:	Prueba de explosión térmica en un bulto (prueba G.1)
6.2	Condiciones de la muestra	:	25 kg de sustancia en embalaje/envase de tipo 6HG2, con capacidad de 30 litros
6.3	Efectos observados	:	Emanación de humos solamente; no hay fragmentación del bulto
6.4	Resultado	:	No hay explosión (método de embalaje/envase OP5)
6.5	Casilla terminal	:	10.2
7.	Estabilidad térmica (serie de pruebas H)		
7.1	Método	:	Prueba de determinación de la TDAA (Estados Unidos) (prueba H.1)
7.2	Condiciones de la muestra	:	20 litros de sustancia en embalaje/envase del tipo 6HG2, con capacidad de 25 litros
7.3	Efectos observados	:	Descomposición autoacelerada a 63ºC; no hay descomposición autoacelerada a 58ºC; temperatura de descomposición autoacelerada 63ºC
7.4	Resultado	:	No es necesaria la regulación de la temperatura
8.	Datos complementarios (véase 20.5.3)		
8.1	Método	:	Prueba del martinete BAM (prueba 3 a) ii))
8.2	Condiciones de la muestra	:	Temperatura ambiente
8.3	Observaciones	:	Energía límite de impacto 5 J
8.4	Resultado	:	Sensible al impacto
9.	Asignación propuesta		
9.1	Designación oficial de transporte	:	PERÓXIDO ORGÁNICO TIPO C, LÍQUIDO
9.2	Número ONU	:	3103
9.3	División	:	5.2
9.4	Nombre técnico	:	peroxibenzoato de terc-butilo
9.5	Concentración	:	≤ 100%
9.6	Diluyente(s)	:	Ninguno
9.7	Riesgos secundarios	:	Ninguno
9.8	Grupo de embalaje/envasado	:	II
9.9	Método de embalaje/envasado	:	OP5
9.10	Temperatura de regulación	:	No es necesaria
9.11	Temperatura de emergencia	:	No es necesaria

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 20.3: CLASIFICACIÓN DEL PEROXIBENZOATO DE terc-BUTILO



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 21

SERIE DE PRUEBAS A

21.1 Introducción

21.1.1 La serie A comprende pruebas de laboratorio y criterios relativos a la propagación de la detonación, según se indica en la casilla 1 de la figura 20.1.

21.2 Métodos de prueba

21.2.1 Para responder a la pregunta "¿Propaga una detonación?" (casilla 1 de la figura 20.1) se tiene en cuenta los resultados de uno de los métodos de prueba del cuadro 21.1. Si se trata de transportar un líquido en contenedores cisterna o en RIG cuya capacidad exceda de 450 litros, puede utilizarse una versión cavitada de una prueba de la serie A (véase el apéndice 3).

Cuadro 21.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE A

Código	Nombre de la prueba	Sección
A.1	Prueba BAM del tubo de acero 50/60	21.4.1
A.2	Prueba TNO del tubo de acero 50/70	21.4.2
A.5	Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)	21.4.3
A.6	Prueba de la detonación (Naciones Unidas)[a]	21.4.4

[a] *Prueba recomendada.*

Todas estas pruebas se consideran equivalentes, y sólo es preciso efectuar una de ellas.

21.2.2 En el caso de los peróxidos orgánicos y de las sustancias de reacción espontánea, como procedimiento de preselección para evaluar la capacidad de propagación de una detonación se puede combinar una prueba de potencia explosiva (cualquier prueba de la serie F, salvo la prueba F.5, en el caso de los peróxidos orgánicos, y cualquier prueba de la serie F, salvo las pruebas F.4 y F.5, en el caso de las sustancias de reacción espontánea) y dos pruebas para determinar los efectos del calentamiento en un espacio limitado. No es necesario efectuar una prueba de la serie A:

a) Si el resultado de una prueba de potencia explosiva es "Nula";

b) Si el resultado de la prueba E.2 *y* de la prueba E.1 o E.3 es "No reacciona" o "Débilmente".

Para el transporte en bultos (excepto los RIG), si del procedimiento de preselección se desprende que no es necesaria una prueba de la serie A, la respuesta a la pregunta de la casilla 1 es "No". No obstante, si se proyecta transportar la sustancia en contenedores cisterna o en RIG, o si se pretende excluir esa sustancia, es necesario efectuar una prueba de la serie A, a menos que el resultado de una prueba de la serie A sobre un preparado de la sustancia con una concentración más elevada y en el mismo estado físico sea "No".

21.3 Condiciones de las pruebas

21.3.1 Como la densidad aparente de la sustancia tiene efectos importantes en los resultados de las pruebas de la serie A, siempre debe constar esa densidad. La densidad aparente de los sólidos debe determinarse por medición del volumen del tubo y de la masa de la sustancia.

21.3.2 Si se trata de una mezcla cuyos elementos pueden separarse durante el transporte, la prueba debe efectuarse poniendo el inflamador en contacto con el elemento potencialmente más explosivo.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.3.3 Las pruebas deben efectuarse a la temperatura ambiente, a menos que la sustancia deba transportarse en condiciones que puedan alterar su estado físico o su densidad. Los peróxidos orgánicos y las sustancias de reacción espontánea que requieran una regulación de la temperatura deben someterse a prueba a la temperatura de regulación, si ésta es inferior a la temperatura ambiente.

21.3.4 El procedimiento preliminar debe aplicarse antes de efectuar estas pruebas (véase la sección 20.3).

21.3.5 Cuando se utilice una nueva partida de tubos de acero, deben efectuarse pruebas de calibración utilizando agua (para las pruebas de líquidos) y un sólido orgánico inerte (para las pruebas de sólidos) para determinar la longitud media de fragmentación del blanco (longitud testigo). Los criterios correspondientes a las respuestas "No" y "Parcialmente" deben fijarse en 1,5 veces esa longitud testigo.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4 Serie A: Disposiciones relativas a las pruebas

21.4.1 *Prueba A.1: Prueba BAM del tubo de acero 50/60*

21.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia para propagar una detonación sometiéndola a la acción de una carga multiplicadora detonante en un espacio limitado, en el interior de un tubo de acero. Puede utilizarse para responder a la pregunta de la casilla 1 de la figura 20.1.

21.4.1.2 *Aparatos y materiales*

Se utiliza un tubo de acero estirado sin costura, de 500 mm de longitud, 60 mm de diámetro exterior y 5 mm de espesor de pared (por ejemplo, un acero que corresponda a la norma DIN 2448), calidad St.37.0, con una resistencia a la tracción de 350 a 480 $N.mm^{-2}$ (por ejemplo, según la norma DIN 1629). El tubo se cierra con un tapón roscado de fundición maleable o con un tapón de plástico apropiado, que se coloca en el extremo abierto del tubo. La carga multiplicadora consiste en una galleta de forma cilíndrica de 50 g de peso, compuesta de ciclonita/cera (95/5) y comprimida a una presión de 1.500 bar, cuyas dimensiones se indican en la figura 21.4.1.1. En su parte superior, la carga multiplicadora tiene un rebajo axial de 7 mm de diámetro y 20 mm de profundidad, en el que se aloja un detonador de potencia suficiente para activar la carga eficazmente. Las sustancias que puedan experimentar alguna reacción peligrosa con el acero St.37.0 se ensayan en tubos provistos de un revestimiento interior de polietileno[1].

21.4.1.3 *Procedimiento*

21.4.1.3.1 Normalmente, la sustancia con la que ha de llenarse el tubo se deposita en éste en el mismo estado en que haya sido recibida. Se determina la masa de la muestra y, si se trata de un sólido, se calcula la densidad aparente. No obstante, para evitar que queden espacios vacíos, los terrones se trituran y las sustancias pastosas o de características propias de los geles se embuten a mano cuidadosamente. En todos los casos, la densidad final de la sustancia en el interior del tubo ha de ser lo más próxima posible a la que tenga en condiciones de transporte. La carga multiplicadora se introduce en la parte superior del tubo, situándola en el punto medio de la luz de éste, de manera que quede rodeada por la sustancia objeto de la prueba. Si la sustancia en cuestión es un líquido, la carga multiplicadora se aísla de éste envolviéndola en una hoja delgada de aluminio o en una materia plástica apropiada. Así envuelta, se la conecta a la tapa, de hierro maleable, por medio de hilos delgados, haciendo pasar éstos por cuatro horados practicados al efecto en la propia tapa. Se enrosca ésta cuidadosamente en el tubo, y se introduce el detonador en la carga multiplicadora a través del orificio existente en el centro de la tapa. A continuación, se activa el detonador.

21.4.1.3.2 Se efectúan por lo menos dos ensayos, para los que pueden utilizarse instrumentos de medida (por ejemplo, una sonda de medición continua de la velocidad), a no ser que se observe una detonación. Si no ha sido posible extraer un resultado concluyente mediante dos ensayos efectuados sin instrumento de medida, puede ser necesario realizar un tercer ensayo con tal instrumento.

21.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

21.4.1.4.1 Los resultados de las pruebas se evalúan en función de:

a) El modo de fragmentación del tubo;

b) La mayor o menor cantidad de sustancia que experimente reacción; y

c) La velocidad de propagación medida en la sustancia, en su caso.

[1] *En casos especiales, el tubo puede ser de aluminio puro o de acero 1.4571, según la norma DIN 17440.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

A efectos de clasificación se tendrá en cuenta el ensayo cuyos resultados reflejen una máxima intensidad de la reacción.

21.4.1.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Sí":
- el tubo se ha fragmentado completamente; o
- el tubo se ha fragmentado en ambos extremos; o
- una de las medidas de la velocidad indica que la velocidad de propagación en la parte no fragmentada es constante y superior a la del sonido en la propia sustancia.

"Parcialmente":
- el tubo se ha fragmentado únicamente en el extremo del dispositivo de iniciación y la longitud media de fragmentación del tubo (promedio de los dos ensayos) es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con una sustancia inerte en el mismo estado físico; y

- una parte considerable de la sustancia no ha experimentado reacción, o una de las medidas de la velocidad indica que la velocidad de propagación en la parte no fragmentada del tubo es inferior a la del sonido en la propia sustancia.

"No":
- el tubo se ha fragmentado únicamente en el extremo del dispositivo de iniciación y la longitud media de fragmentación (promedio de los dos ensayos) no es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con sustancias inertes en el mismo estado físico; y

- una parte considerable de la sustancia no ha experimentado reacción, o una de las medidas de la velocidad indica que la velocidad de propagación en la parte no fragmentada del tubo es inferior a la del sonido en la propia sustancia.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

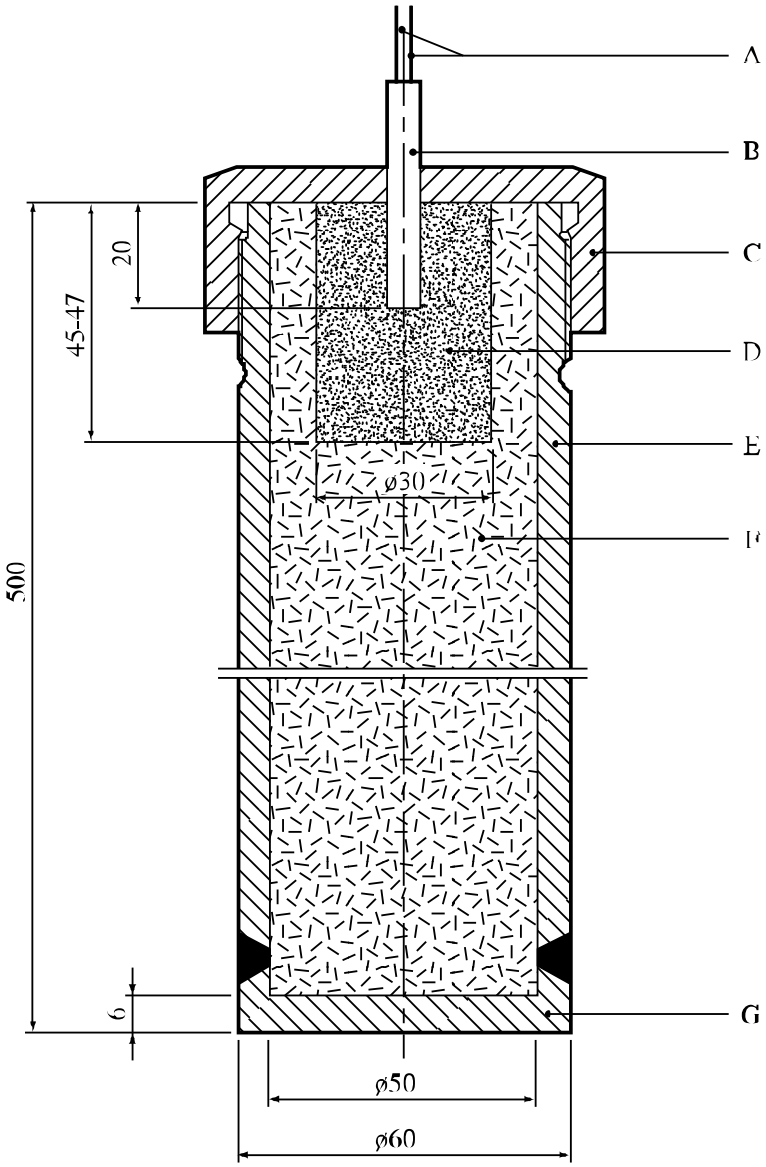
Sustancia	Densidad aparente (kg/m^3)	Longitud de Fragmentación (cm)	Resultado
Ácido 3-cloroperoxibenzoico, con una concentración máxima del 86% en ácido 3-clorobenzoico	610	24,6[a]	Sí
Azodicarbonamida	627	15	No
2,2´- Azodi (2,4-dimetilvalero-nitrilo)	793	16	No
Cloruro de 2-diazo-1-naftol-5-sulfonilo	690	20	No[b]
N,N´-Dinitrosopentametilentetramina, 90% en aceite mineral	590	50	Sí[c]
N,N´-Dinitrosopentametilentetramina, 80% en 17% de sólido inorgánico y 3% de aceite mineral	500	50	Sí
N,N´-Dinitrosopentametilente-tramina, 75% en 15% de carbonato cálcico y 10% de aceite mineral	-	26	Parcialmente
1,3-Disulfohidrazida del benceno	640	50	Sí
Hidroperóxido de cumilo, 84% en cumeno	-	15	No
Peroxibenzoato de terc-butilo	-	30	Parcialmente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	-	18	No
Peroxidicarbonato de dicetilo	590	13	No
Peroxidicarbonato de diisopropilo	790	50	Sí
Peroxidicarbonato de dimiristilo	460	20	No
Peroxidicarbonato de dimiristilo, 42% en dispersión estable en agua	-	15	No
Peróxido (s) de ciclohexanona	620	50	Sí
Peróxido de dibenzoílo	730	30,12[a]	Sí
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	740	20	No
Peróxido de di-terc-butilo	-	16	No
Peróxido de dicumilo	520	14	No
Peróxido dilauroílo	580	25	Parcialmente
Sulfohidrazida de benceno	630	17	No
Sustancias inertes: Agua		14	
Aire		8	
Arena		13	
Azúcar	682	14	
Ftalato de dimetilo		13	

[a] *Fragmentación en los dos extremos.*

[b] *Reacción completa de la sustancia por deflagración.*

[c] *Velocidad de detonación 3.040 m/s.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cables del detonador
(B)	Detonador (penetra 20 mm en la carga multiplicadora)
(C)	Tapón roscado, de fundición maleable o plástico
(D)	Carga multiplicadora de ciclonita/cera (95/5), de 30 mm de diámetro y 46 mm de longitud aproximadamente
(E)	Tubo de acero, de 500 mm de longitud, 50 mm de diámetro interior y 60 mm de diámetro exterior
(F)	Sustancia objeto de la prueba
(G)	Fondo de acero soldado, de 6 mm de espesor

Figura 21.4.1.1: PRUEBA BAM DEL TUBO DE ACERO 50/60

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4.2 *Prueba A.2: Prueba TNO del tubo de acero 50/70*

21.4.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia para propagar una detonación, sometiéndola a la acción de una carga multiplicadora detonante en un espacio limitado, en el interior de un tubo de acero. Puede utilizarse para responder a la pregunta de la casilla 1 de la figura 20.1.

21.4.2.2 *Aparatos y materiales*

21.4.2.2.1 Sólidos

El aparato consiste en un tubo de acero sin costura (por ejemplo, de material St.35, según la norma DIN 1629/P3), de 50 mm de diámetro interior, 10 mm de espesor de pared y 1.160 mm de longitud (tubo del tipo A). En uno de sus extremos (que se denominará fondo), está cerrado por una chapa de acero, de 20 mm de espesor, soldada al tubo (véase la figura 21.4.2.1). El tubo lleva un instrumento de control (por ejemplo, una sonda de medición continua de la velocidad) que permite verificar la velocidad de propagación en la sustancia. La carga multiplicadora consta de cuatro cartuchos de ciclonita/cera (95/5), de 50 mm de diámetro, 50 g de masa y 16,4 mm de longitud.

21.4.2.2.2 Líquidos

El tubo que se emplea para determinar la capacidad de detonación de los líquidos es el mismo que para los sólidos, pero de 750 mm de longitud. Uno de los extremos del tubo (que se denominará fondo) va cerrado por una chapa metálica de 0,5 mm, bajo la que se colocan las cuatro cargas multiplicadoras (tubo del tipo B); véase la figura 21.4.2.2. Se mantiene el tubo en posición vertical mediante algún tipo de montura o tres pies soldados a él. Con los líquidos corrosivos y con los que se descomponen en contacto con el St.35, se utiliza un tubo de acero inoxidable 316 (si es necesario, pasivado), de 750 mm de longitud, 50 mm de diámetro interior y 63 mm de diámetro exterior (tubo del tipo C).

21.4.2.3 *Procedimiento*

21.4.2.3.1 Sólidos

Debe ensayarse la sustancia a la temperatura ambiente o, si es inferior a ésta, a la temperatura de regulación. Una vez colocada la sonda de velocidad, se introduce la sustancia por el extremo abierto del tubo, a la vez que se golpea éste suavemente y de manera ininterrumpida. Cuando el nivel de la sustancia esté a 60 mm por debajo del borde superior del tubo, se determina la masa de la muestra y se calcula la densidad aparente utilizando el volumen interior, medido, del tubo. Se introducen las cuatro cargas multiplicadoras, se aplica un detonador a la carga colocada en último lugar y se hace detonar el conjunto. Se efectúan dos ensayos, a no ser que se observe una detonación de la sustancia en el primero.

21.4.2.3.2 Líquidos

Para las pruebas con líquidos, la carga multiplicadora, que es idéntica a la que se utiliza con las sustancias sólidas, se coloca bajo la chapa metálica, tras lo cual se llena el tubo por completo con el líquido y se determina la masa de éste. A continuación, se sigue el mismo procedimiento que con las sustancias sólidas.

21.4.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

21.4.2.4.1 Para la evaluación de los resultados se tiene en cuenta el modo de fragmentación del tubo y, en algunos casos, la velocidad de propagación medida. A efectos de clasificación se tiene en cuenta el ensayo cuyos resultados reflejen una máxima intensidad de la reacción.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4.2.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Sí": - el tubo se ha fragmentado completamente; o

- una de las medidas de la velocidad indica que la velocidad de propagación en la parte no fragmentada del tubo es constante y superior a la del sonido en la propia sustancia.

"Parcialmente": - en todos los ensayos, la sustancia no ha llegado a detonar, pero la longitud media de fragmentación del tubo (promedio de los dos ensayos) es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con sustancias inertes en el mismo estado físico.

"No": - en todos los ensayos, la sustancia no ha llegado a detonar y la longitud media de fragmentación (promedio de los dos ensayos) no es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con sustancias inertes en el mismo estado físico.

21.4.2.5 *Ejemplos de resultados*

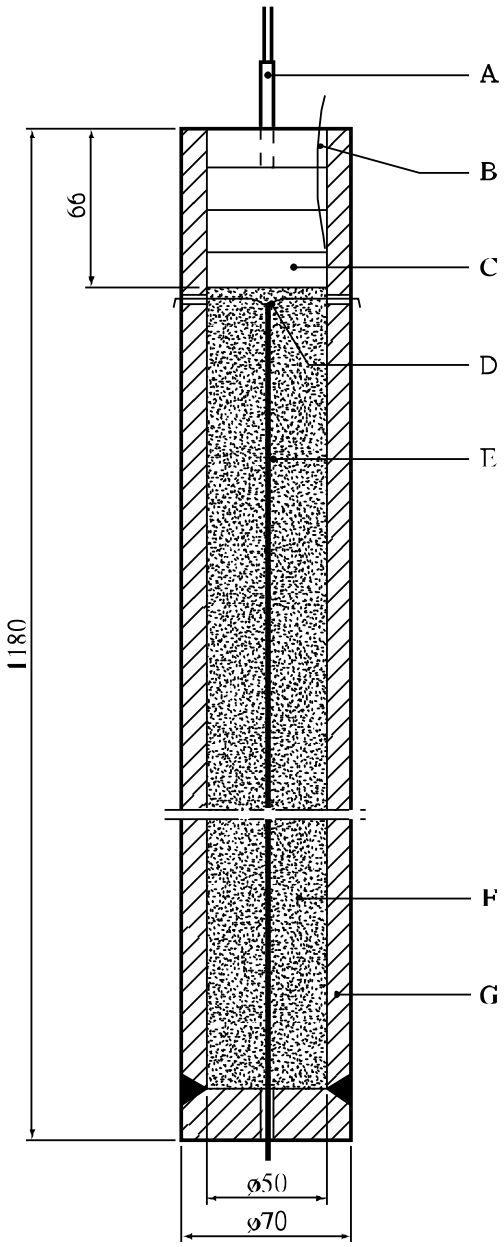
Sustancia	**Tipo de tubo**	**Densidad aparente (kg/m^3)**	**Longitud de fragmentación (cm)**	**Resultado**
Carbonato de terc-butilperoxi-isopropilo	B	-	17	Parcialmente
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-morfolinobencenodiazonio y de cinc, 90%	A	-	17	No
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-(fenilsulfonil)-bencenodiazonio y de cinc, 67%	A	-	25	No
1,1-Di-(terc-butilperoxi)-3,3,5-trimetilciclohexano	C	-	7	No
Peroxibenzoato de terc-butilo	B	-	20	Parcialmente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	B	-	14	No
Peroxidicarbonato de diciclohexilo[a]	A	630	33[b]	Sí
Peroxidicarbonato de diciclohexilo, con el 10% de agua	A	640	33[c]	Sí
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	A	770	30	Parcialmente
Peróxido de dilauroílo	A	610	34	Parcialmente
Peróxido de di-n-octanoílo (líquido)	B	-	10	No
Tetrafluoroborato de 3-metil-4-(pirrolidin-1) bencenodiazonio, 95%	A	-	19	No

[a] *Prueba efectuada a la temperatura de regulación.*

[b] *La velocidad de propagación (660 m/s) es superior a la del sonido en la sustancia.*

[c] *La velocidad de propagación (690 m/s) es superior a la del sonido en la sustancia.*

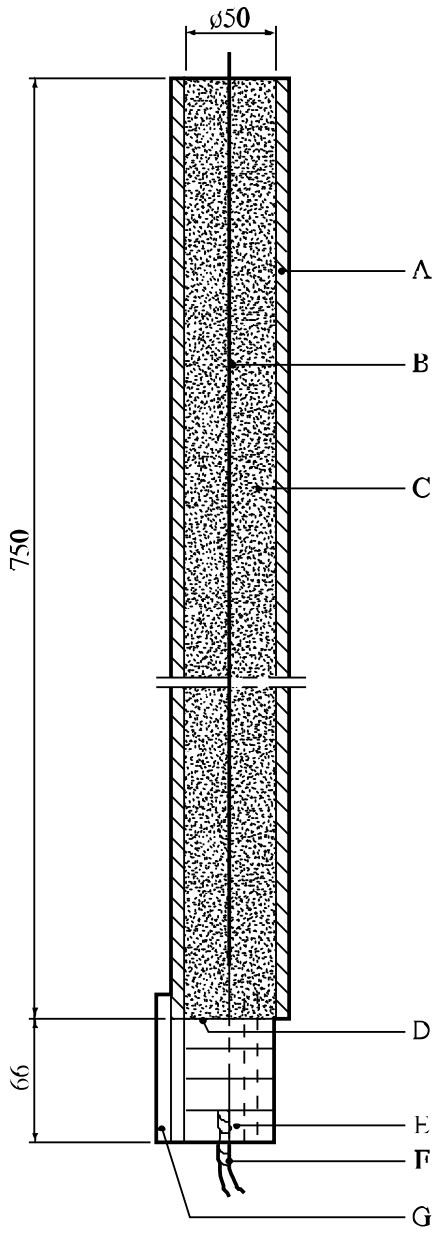
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Detonador	(B)	Sonda de ionización
(C)	Cuatro cartuchos de ciclonita/cera	(D)	Ojo
(E)	Sonda de velocidad	(F)	Sustancia objeto de la prueba
(G)	Tubo de acero		

Figura 21.4.2.1:
PRUEBA TNO DEL TUBO DE ACERO 50/70 PARA SÓLIDOS (TUBO DEL TIPO A)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tubo de acero de 63,5 (C) ó 70 mm (B) de diámetro exterior	(B)	Sonda de velocidad
(C)	Sustancia objeto de la prueba	(D)	Disco de acero
(E)	Cuatro cartuchos de ciclonita/cera	(F)	Detonador
(G)	Pies		

Figura 21.4.2.2:
PRUEBA TNO DEL TUBO DE ACERO 50/70 PARA LÍQUIDOS (TUBO DE LOS TIPOS B Y C)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4.3 *Prueba A.5: Prueba de excitación con barrera interpuesta (Naciones Unidas)*

21.4.3.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia para propagar una detonación, sometiéndola a la acción de una carga multiplicadora detonante en un espacio limitado, en el interior de un tubo de acero. Permite responder a la pregunta de la casilla 1 de la figura 20.1.

21.4.3.2 *Aparatos y materiales*

El aparato que se utiliza aparece en la figura 21.4.3.1. La muestra se aloja en un tubo de acero al carbono, estirado en frío, sin costura, de 48 ± 2 mm de diámetro exterior, 4,0 ± 0,1 mm de espesor de pared y 400 ± 5 mm de longitud. Si la sustancia que se somete a prueba puede reaccionar con el acero, puede revestirse el interior del tubo con resina de fluorocarbono. El fondo del tubo va cerrado por dos capas de lámina de polietileno, de 0,08 mm de espesor, que se ciñen estrechamente (hasta deformarse plásticamente) al fondo y se sujetan con tiras de goma elástica y cinta aislante. Para las muestras que afectan al polietileno, puede utilizarse una lámina de politetrafluoretileno. La carga multiplicadora consiste en una galleta de 160 g de ciclonita/cera (95/5) o de pentrita/TNT (50/50), de 50 ± 1 mm de diámetro y de una densidad de 1.600 ± 50 kg/m^3, lo que da una longitud de unos 50 mm. La carga de ciclonita/cera puede prensarse en uno o varios trozos, a condición de que la carga total se ajuste a las especificaciones, y la carga de pentrita/TNT sea moldeada. En el extremo superior del tubo se monta una placa testigo de acero dulce, de 150 ± 10 mm de lado y 3,2 ± 0,2 mm de espesor, que queda separada del tubo por unos elementos separadores de 1,6 ± 0,2 mm de espesor.

21.4.3.3 *Procedimiento*

21.4.3.3.1 Se introduce la muestra en el tubo de acero, llenándolo hasta el borde. La densidad correcta de las muestras sólidas en el interior del tubo se consigue golpeando éste con suavidad, hasta que deje de percibirse que la sustancia sigue asentándose. Se determina la masa de la muestra y, si se trata de un sólido, se calcula la densidad aparente utilizando el volumen interior, medido, del tubo. La densidad debe aproximarse lo más posible a la densidad requerida para el transporte de la sustancia.

21.4.3.3.2 El tubo se coloca en posición vertical y la carga multiplicadora queda en contacto directo con la lámina que cierra el fondo del tubo. Se coloca el detonador contra la carga multiplicadora y se activa. Deben efectuarse dos ensayos, a no ser que se observe una detonación de la sustancia en el primero.

21.4.3.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

21.4.3.4.1 Se evalúan los resultados de la prueba sobre la base del modo de fragmentación del tubo. La placa testigo se emplea únicamente para obtener datos complementarios sobre la violencia de la reacción. A efectos de clasificación se tiene en cuenta el ensayo cuyos resultados reflejen una máxima intensidad de la reacción.

21.4.3.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

Sí": - el tubo se ha fragmentado en toda su longitud.

Parcialmente": - el tubo no se ha fragmentado en toda su longitud, pero la longitud media de fragmentación del tubo (promedio de los dos ensayos) es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con sustancias inertes en el mismo estado físico.

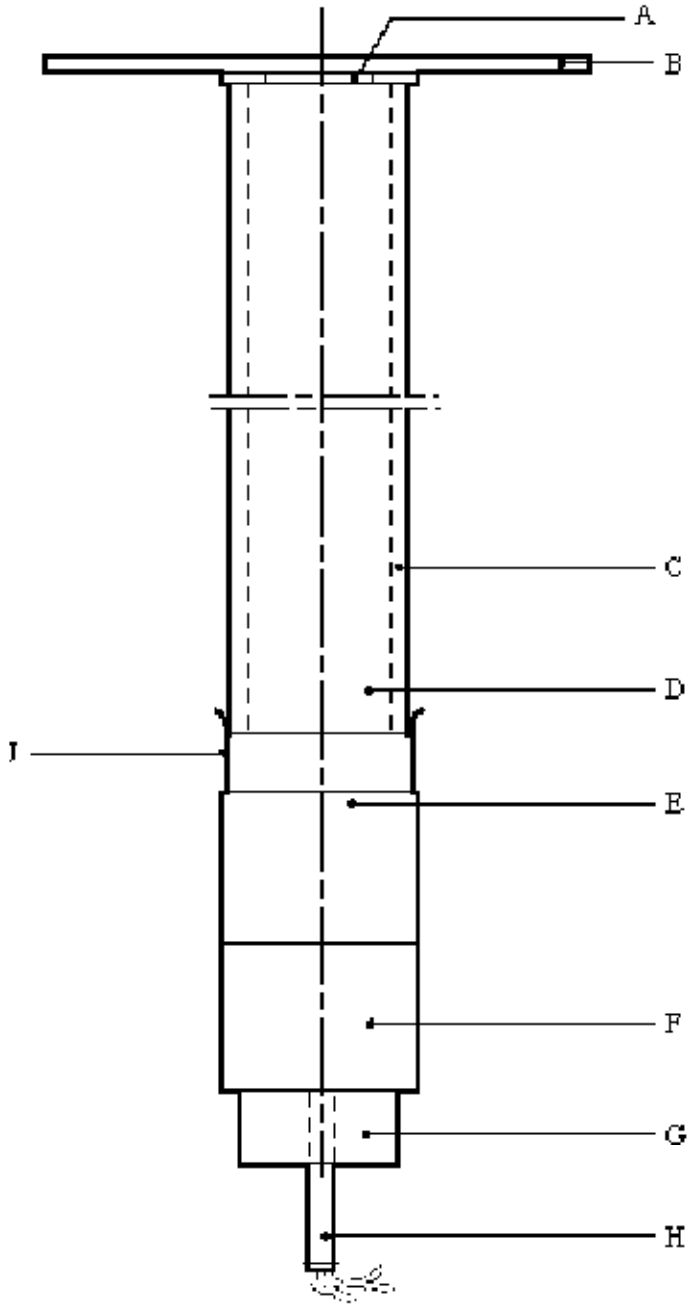
"No": - el tubo no se ha fragmentado en toda su longitud, y la longitud media de fragmentación del tubo (promedio de los dos ensayos) no es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con sustancias inertes en el mismo estado físico.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4.3.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad aparente (kg/m^3)**	**Longitud de fragmentación (cm)**	**Resultado**
2,2´-Azodi (isobutironitrilo)	366	40	Sí
2,5-Di-(terc-butilperoxi)-2,5-dimetilhexino-3	-	34	Parcialmente
Peroxibenzoato de terc-butilo	-	25	Parcialmente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	-	25	Parcialmente
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	685	40	Sí
Peróxido de dilauroílo	564	28	No

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Elementos separadores	(B)	Placa testigo
(C)	Tubo de acero	(D)	Sustancia objeto de la prueba
(E)	Carga multiplicadora de ciclonita/cera o pentrita/TNT	(F)	Receptáculo del detonador
(G)	Detonador	(H)	Lámina de plástico

Figura 21.4.3.1: PRUEBA DE EXCITACIÓN CON BARRERA INTERPUESTA (Naciones Unidas)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4.4 ***Prueba A.6: Prueba de detonación (Naciones Unidas)***

21.4.4.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia para propagar una detonación, sometiéndola a la acción de una carga multiplicadora detonante en un espacio limitado, en el interior de un tubo de acero. Permite responder a la pregunta de la casilla 1 de la figura 20.1.

21.4.4.2 *Aparatos y materiales*

El aparato, que es idéntico para sólidos y líquidos, se reproduce en la figura 21.4.1.4. La muestra se coloca en un tubo de acero al carbono, estirado en frío, sin costura, de 60 ± 1 mm de diámetro exterior, 5 ± 1 mm de espesor de pared y 500 ± 5 mm de longitud. Si la sustancia puede reaccionar al acero, se reviste el interior del tubo con resina de fluorocarbono. El fondo del tubo se cierra con dos láminas de polietileno de 0,08 mm de espesor, sujetas con tiras de goma elástica y cinta aislante. Para las muestras que afectan al polietileno, puede utilizarse una lámina de politetrafluoretileno. La carga multiplicadora consiste en una galleta de 200 g de ciclonita/cera (95/5) o de pentrita/TNT (50/50), de 60 ± 1 mm de diámetro y unos 45 mm de longitud y de una densidad de 1.600 ± 50 kg/m^3. La carga de ciclonita/cera puede prensarse en uno o más trozos, a condición de que la carga total se ajuste a las especificaciones, y la carga de pentrita/TNT sea moldeada. El tubo puede llevar un instrumento de control (por ejemplo, una sonda de medición continua de la velocidad) que permite verificar la velocidad de propagación en la sustancia. Puede obtenerse información adicional sobre la capacidad explosiva de la muestra utilizando una placa testigo, según se describe en la figura 21.4.4.1. En el extremo superior del tubo se monta la placa testigo, de acero dulce, de 150 mm de lado y 3,2 mm de espesor, que queda separada del tubo por unos elementos separadores de 1,6 mm de espesor.

21.4.4.3 *Procedimiento*

Se introduce la muestra en la parte superior del tubo. La densidad correcta de las muestras sólidas en el interior del tubo se consigue golpeando éste con suavidad, hasta que deje de percibirse que la sustancia sigue asentándose. Se determina la masa de la muestra y, si se trata de un sólido, se calcula la densidad aparente. La densidad debe aproximarse lo más posible a la densidad requerida para el transporte de la sustancia. El tubo se coloca en posición vertical y la carga multiplicadora queda en contacto directo con la lámina que cierra el fondo del tubo. Se coloca el detonador contra la carga multiplicadora y se activa. Deben efectuarse dos ensayos, a no ser que se observe una detonación de la sustancia en el primero.

21.4.4.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

21.4.4.4.1 Se evalúan los resultados de la prueba sobre la base de los elementos siguientes:

a) El modo de fragmentación del tubo; y

b) Llegado el caso, la velocidad de propagación, medida, en la sustancia.

A los efectos de clasificación, se tiene en cuenta el ensayo cuyos resultados reflejen una máxima intensidad de la reacción.

21.4.4.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Sí": - el tubo se ha fragmentado completamente.

"Parcialmente": - el tubo no se ha fragmentado en toda su longitud, pero la longitud media de fragmentación del tubo (promedio de los dos ensayos) es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con sustancias inertes en el mismo estado físico.

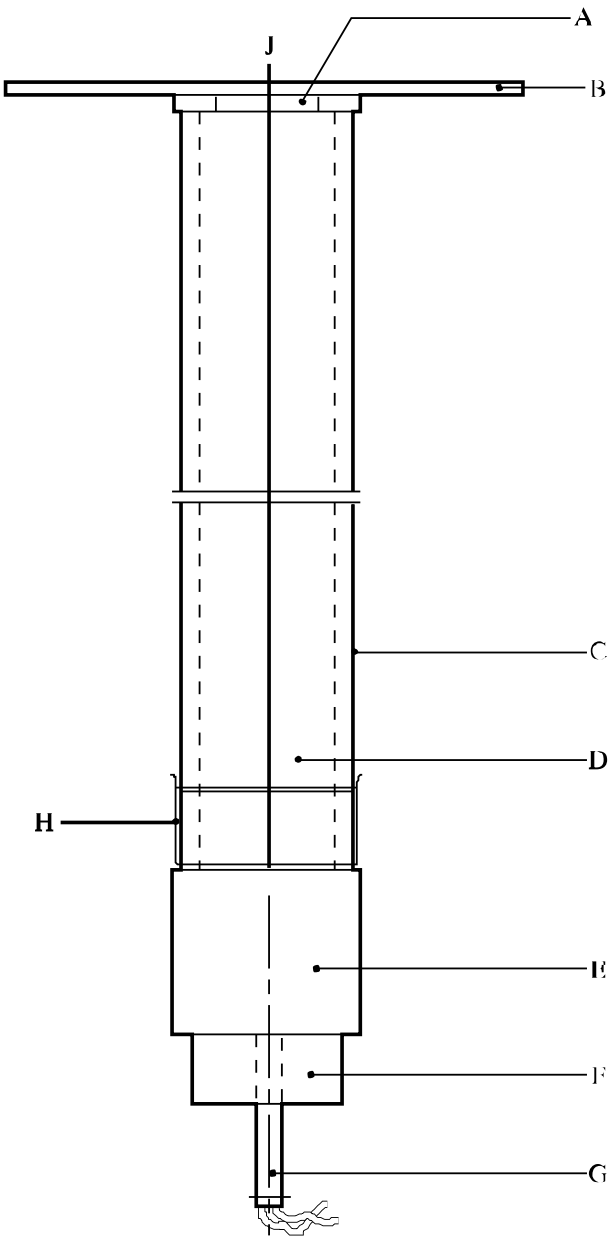
"No": - el tubo no se ha fragmentado en toda su longitud, y la longitud media de fragmentación del tubo (promedio de los dos ensayos) no es 1,5 veces mayor que la longitud media de fragmentación observada con sustancias inertes en el mismo estado físico.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

21.4.4.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad aparente (kg/m^3)**	**Longitud de fragmentación (cm)**	**Resultado**
2,2´-Azodi (isobutironitrilo)	346	50	Sí
2,5-Di-(terc-butilperoxi)-2,5-dimetilhexino-3	870	30	Parcialmente
Peroxibenzoato de terc-butilo	-	28	Parcialmente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	-	23	No
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	697	22	No
Peróxido de dilauroílo	580	32	Parcialmente

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Elementos separadores	(B)	Placa testigo
(C)	Tubo de acero	(D)	Sustancia objeto de la prueba
(E)	Carga multiplicadora de ciclonita/cera o pentrita/TNT	(F)	Receptáculo del detonador
(G)	Detonador	(H)	Lámina de plástico
(J)	Sonda de velocidad		

Figura 21.4.4.1: PRUEBA DE DETONACIÓN (NACIONES UNIDAS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 22

SERIE DE PRUEBAS B

22.1 Introducción

La serie B comprende una sola prueba, con los criterios correspondientes, relativa a la propagación de la detonación de una sustancia en su embalaje/envase de transporte. Sólo se prescribe esta prueba para las sustancias que propagan la detonación (casilla 1 de la figura 20.1).

22.2 Método de prueba

22.2.1 Para responder a la pregunta "¿Puede detonar en su embalaje/envase de transporte?" (casilla 2 de la figura 20.1) se tienen en cuenta los resultados de la prueba mencionada en el cuadro 22.1.

Cuadro 22.1: MÉTODO DE PRUEBA PARA LA SERIE B

Código	Nombre de la prueba	Sección
B.1	Prueba de detonación en un bulto[a]	22.4.1

[a] *Prueba recomendada.*

22.2.2 Esta prueba sólo se prescribe para las sustancias respecto de las cuales se responde "Sí" a la pregunta de la casilla 1 de la figura 20.1.

22.3 Condiciones de la prueba

22.3.1 La prueba de la serie B debe aplicarse a los bultos (cuyo peso no exceda de 50 kg) de la sustancia en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte.

22.3.2 ***Antes de efectuar esta prueba, debe aplicarse el procedimiento preliminar (véase la sección 20.3).***

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

22.4 Serie B: Disposiciones relativas a las pruebas

22.4.1 *Prueba B.1: Prueba de detonación en un bulto*

22.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia para propagar una detonación en su embalaje/envase de transporte. La sustancia contenida en un bulto se somete al choque producido por una carga multiplicadora detonante. Se utiliza para responder a la pregunta de la casilla 2 de la figura 20.1.

22.4.1.2 *Aparatos y materiales*

Se necesita un detonador, una mecha, un explosivo plástico y material adecuado para formar una barrera de contención. Como placa testigo que se coloca bajo el bulto, se utiliza una chapa de acero dulce de aproximadamente 1 mm de espesor, cuyo perímetro debe rebasar como mínimo en 0,2 mm las dimensiones de la base del bulto.

22.4.1.3 *Procedimiento*

Esta prueba se aplica a las sustancias embaladas/envasadas en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte. Se coloca el bulto sobre la placa testigo de acero, y en contacto con los bordes de ésta se disponen, como elementos de apoyo, ladrillos u otro material adecuado, de manera que quede debajo de la placa testigo espacio libre suficiente para que no se dificulte su perforación. Encima de la sustancia, dentro del bulto, se colocan dos cargas de explosivo plástico (de 100 g cada una como máximo, pero que, en total, no superen el 1% de la masa de la sustancia en el bulto). En el caso de los líquidos, puede ser necesario un soporte de alambre que permita fijar debidamente las dos cargas explosivas en el centro de cada una de las dos partes semicirculares o triangulares de la cara superior (véase la figura 22.4.1.1). Cada carga se activa mediante una mecha. Los dos cordones de la mecha deben tener la misma longitud. Como barrera de contención, se recomienda utilizar arena suelta, que se distribuye en torno al bulto dándole un espesor mínimo de 0,5 m en todas las direcciones. También se pueden utilizar cajas, sacos o bidones, llenos de tierra o arena, rodeando y cubriendo el bulto con ellos, con el mismo espesor mínimo. Se efectúan dos ensayos, a no ser que se produzca una detonación en el primero. Puede resultar necesario un tercer ensayo con instrumento de control si los dos ensayos efectuados sin instrumento no son concluyentes.

22.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

22.4.1.4.1 Los resultados de la prueba se evalúan sobre la base de la existencia de una detonación de la sustancia, según los indicios siguientes:

a) Formación de un cráter en el lugar de la prueba;

b) Deterioro de la placa testigo colocada bajo el bulto;

c) Disgregación y dispersión de la mayor parte de la materia de que se compone la barrera de contención; y

d) Llegado el caso, velocidad de propagación medida en la sustancia.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

22.4.1.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Sí": - formación de un cráter en el lugar de la prueba o perforación de la placa testigo colocada bajo el bulto; en ambos casos, con disgregación y dispersión de la mayor parte de la materia de que se compone la barrera de contención; o la velocidad de propagación en la mitad inferior del bulto es constante y superior a la del sonido en la sustancia.

"No": - no se ha formado un cráter en el lugar de la prueba, ni ha habido perforación de la placa testigo colocada bajo el bulto; una medición de la velocidad (si se realiza) muestra que la velocidad de propagación es inferior a la del so nido en la sustancia; en el caso de los sólidos, después de la prueba, se recupera la sustancia que no ha reaccionado.

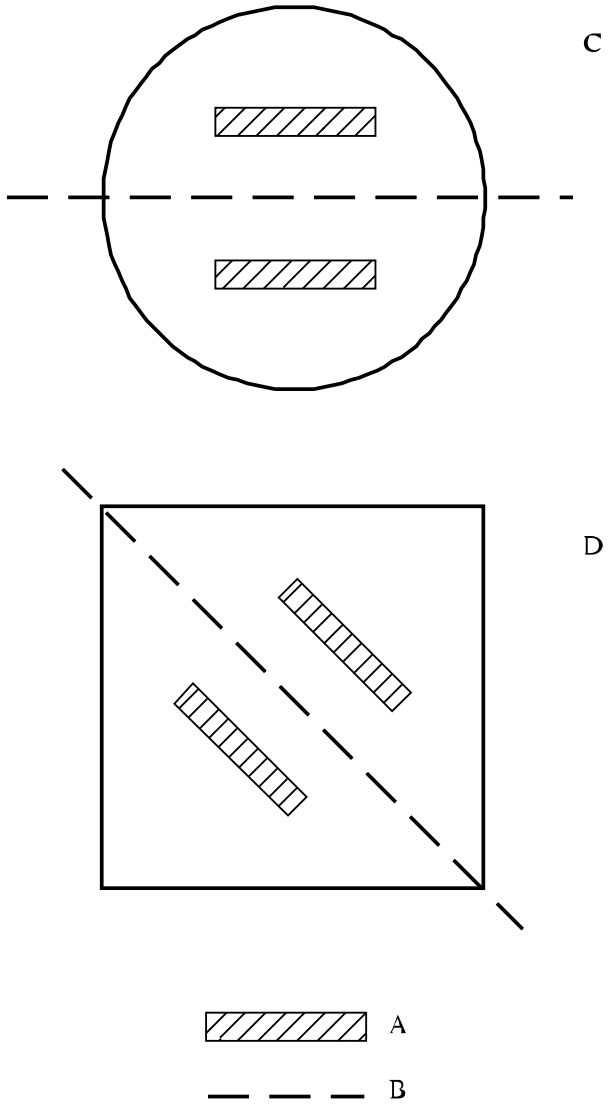
22.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Densidad aparente (kg/m^3)**	**Embalaje/ envase**	**Resultado**
Peroxidicarbonato de diciclohexilo	600	1G, 5 kg	No[b]
Peroxidicarbonato de diciclohexilo, con el 10% de agua	600	1G, 5 kg	No[b]
Peróxido de dibenzoílo	730	1G, 25 kg	Sí[a]

[a] *Se efectuaron dos ensayos. Se detectó la detonación por la formación de hoyo.*

[b] *Se efectuaron dos ensayos. Se midió la velocidad de propagación, en vez de utilizar una placa testigo.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Cargas explosivas
(B) Línea de simetría
(C) Vista desde arriba del bulto cilíndrico
(D) Vista desde arriba del bulto rectangular

Figura 22.4.1.1: PRUEBA DE DETONACIÓN EN UN BULTO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 23

SERIE DE PRUEBAS C

23.1 Introducción

La serie de pruebas C comprende los ensayos de laboratorio, con los correspondientes criterios, relativos a la propagación de la deflagración, según se indica en las casillas 3, 4 y 5 de la figura 20.1

23.2 Métodos de prueba

23.2.1 Para responder a la pregunta "¿Propaga una deflagración?" (casillas 3, 4 y 5 de la figura 20.1) se tienen en cuenta los resultados de uno, o si es necesario de ambos métodos de prueba mencionados en el cuadro 23.1

Cuadro 23.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE C

Código	Nombre de la prueba[a]	Sección
C.1	Prueba de tiempo/presión[a]	23.4.1
C.2	Prueba de deflagración[a]	23.4.2

[a] *Prueba recomendada.*

23.2.2 La respuesta es "Sí, rápidamente" si así se deduce de alguna de las pruebas. La respuesta es "Sí, lentamente" si el resultado de la prueba de deflagración es "Sí, lentamente" y el de la prueba de tiempo/presión no es "Sí, rápidamente". La respuesta es "No" si el resultado de la prueba de deflagración es "No" y el de la prueba de tiempo/presión no es "Sí, rápidamente".

23.3 Condiciones de las pruebas

23.3.1 *Antes de efectuar estas pruebas, debe aplicarse el procedimiento preliminar(véase la sección 20.3).*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

23.4 Serie C: Disposiciones relativas a las pruebas

23.4.1 *Prueba C.1: Prueba de tiempo/presión*

23.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia[1], para propagar una deflagración en un espacio limitado. Puede utilizarse para responder a la pregunta de las casillas 3, 4 y 5 de la figura 20.1.

23.4.1.2 *Aparatos y materiales*

23.4.1.2.1 El aparato que se utiliza en esta prueba (figura 23.4.1.1) consiste en un recipiente cilíndrico a presión, de acero, de 89 mm de longitud y 60 mm de diámetro exterior. Diametralmente opuestos, tiene dos rebajos maquinados (que reducen a 50 mm su sección transversal), por donde se sujeta el aparato para ajustarle el tapón de activación y el de salida de gases. El recipiente, cuyo diámetro interior es de 20 mm, tiene en ambos extremos sendas muescas de 19 mm de profundidad, con rosca de una pulgada conforme a las normas británicas de fileteado para tubos de gas (BSP). En la superficie curva del aparato, y a manera de espita, va enroscada una toma de presión, a 35 mm de uno de los extremos y en ángulos de 90º con los rebajos maquinados. El taladro en que se aloja, de 12 mm de profundidad, tiene una rosca que se adapta al fileteado de ½ pulgada (conforme a las normas antes citadas) existente en el extremo de la espita. Se intercala una arandela con junta de estanqueidad a los gases. La toma de presión sobresale 55 mm del cuerpo del recipiente y tiene un diámetro interior de 6 mm. En el otro extremo tiene un rebajo roscado al que se acopla un transductor de presión de diafragma. Puede utilizarse cualquier dispositivo de medida de presión, a condición de que resista a los gases calientes y a los productos de descomposición y pueda responder a un aumento de presión de 690 a 2.070 kPa en menos de 5 ms.

23.4.1.2.2 El extremo del recipiente más alejado de la toma de presión está cerrado con un tapón de activación que tiene dos electrodos, uno de los cuales va aislado del tapón y el otro está puesto a tierra en este último. El otro extremo del recipiente va cerrado por una cápsula de seguridad de aluminio de 0,2 mm de espesor (con presión de rotura de, aproximadamente, 2.200 kPa), y que se mantiene fija mediante un tapón que tiene un orificio de 20 mm de diámetro. Cada tapón va provisto de una arandela de plomo blando de manera que se asegure una buena estanqueidad. Durante la prueba, el aparato se mantiene en la posición correcta mediante un soporte (figura 23.4.1.2), que se compone de una placa de apoyo de acero dulce, de 235 mm × 184 mm × 6 mm, y de un tubo hueco de sección cuadrada de 70 × 70 × 4 mm y de 185 mm de longitud.

23.4.1.2.3 En uno de los extremos de éste, se cortan hasta cierta altura dos de las caras paralelas, con lo que el resultado es una pieza constituida por un tubo de sección cuadrada de 86 mm de longitud que tiene por base dos patas planas. Se cortan éstas de manera que su arista inferior forme un ángulo de 60º con el plano horizontal, y se sueldan a la placa de apoyo.

23.4.1.2.4 En uno de los lados del extremo superior del tubo se maquina una muesca de 22 mm de ancho y de 46 mm de fondo, en la que se introducirá la toma de presión en el momento de unir el aparato de ensayo -con el tapón de activación hacia abajo- al soporte de sección cuadrada. En la cara inferior interna de éste se suelda, a modo de elemento separador, una cuña de acero de 30 mm de ancho y 6 mm de espesor. La cara opuesta lleva dos tornillos de orejetas de 7 mm, que sujetan firmemente el recipiente. Al mismo tiempo, éste va apoyado por su parte inferior en dos tiras de acero de 12 mm de ancho y 6 mm de espesor, soldadas a las patas del tubo de sección cuadrada.

23.4.1.2.5 El dispositivo de inflamación se compone de una cabeza de encendido eléctrico, del tipo que se utiliza en los detonadores de bajo voltaje, y de un trozo cuadrado de lienzo cebado, de 13 mm de lado. Pueden utilizarse otras cabezas de encendido de características equivalentes. El lienzo cebado consiste en

[1] *Cuando se someten a prueba líquidos, pueden obtenerse resultados variables porque la sustancia puede dar dos máximos de presión.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

una tela de lino recubierta por ambos lados con una composición pirotécnica de nitrato de potasio, silicio y pólvora negra sin azufre[2].

23.4.1.2.6 Para los sólidos, el procedimiento de preparación del dispositivo de inflamación comienza separando los contactos planos de latón de la cabeza de encendido del aislador (véase la figura 23.4.1.3). A continuación, se corta la parte descubierta del aislador. Luego, la cabeza de encendido se une al tapón de activación, soldándose los bornes de éste con los contactos de latón, de manera que la parte superior de la cabeza de encendido sobresalga 13 mm de la cara superior del tapón de activación. Se perfora en el centro un trozo de lienzo cebado cuadrado de 13 mm de lado; éste se coloca sobre la cabeza de encendido y se enrolla sobre ésta, sujetándolo con un hilo fino de algodón.

23.4.1.2.7 Para la prueba con sustancias líquidas, los cables se sueldan con los contactos de la cabeza de encendido. Luego, se introducen los cables en el interior de un trozo de 8 mm de longitud de tubo de caucho silicónico, de 5 mm de diámetro exterior y 1 mm de diámetro interior; y seguidamente, se hace subir el tubo hasta los contactos de la cabeza de encendido, según se indica en la figura 23.4.1.4. A continuación, el trozo de lienzo cebado se enrolla sobre la cabeza de encendido, y se utiliza una funda de cloruro de polivinilo o material equivalente para recubrir el lienzo cebado y el tubo de caucho silicónico. La funda se fija herméticamente enrollando un alambre fino sobre el tubo y la funda. Luego, se sueldan los cables a los bornes del tapón de activación de tal manera que la parte superior de la cabeza de encendido sobresalga 13 mm sobre la cara superior del tapón.

23.4.1.3 *Procedimiento*

23.4.1.3.1 Una vez montado el aparato, con el transductor de presión pero sin la cápsula de seguridad, y sujetándolo con el tapón de activación hacia abajo, se introduce en él una muestra de 5,0 g[3] de la sustancia de que se trate, de manera que quede en contacto con el dispositivo de inflamación. Normalmente, no se comprime la sustancia para alojarla en el aparato, a menos que sea necesario apretarla ligeramente para conseguir introducir en el recipiente el total de 5,0 g que pesa la muestra. Si, incluso retocándola ligeramente, no resulta posible introducir la muestra en su totalidad, se activa la sustancia tras llenar el recipiente por completo (en tal supuesto, se anota el peso de la muestra utilizada). Seguidamente, se colocan la arandela de plomo y la cápsula de seguridad de aluminio, y se enrosca al máximo el tapón de ventilación. Así preparado, se monta el recipiente -colocado de manera que la cápsula de seguridad quede arriba- en el soporte de ensayo, que conviene alojar en una campana de humos blindada o en un cubículo a propósito. Se conecta un explosor de dinamo a los bornes exteriores del tapón de activación, y se procede a efectuar ésta. La señal producida por el transductor de presión se capta mediante instrumentos con los que sea posible analizar la curva tiempo/presión resultante y obtener un registro permanente de ella (por ejemplo, un registrador de señales transitorias acoplado a un registrador de banda de papel).

23.4.1.3.2 El ensayo se efectúa tres veces. Se anota el tiempo que tarde la presión en pasar de 690 a 2.070 kPa por encima de la presión atmosférica. A efectos de clasificación se retiene el tiempo más corto.

23.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

23.4.1.4.1 Para interpretar los resultados de la prueba se determina si se ha alcanzado la presión manométrica de 2.070 kPa y, en caso afirmativo, el tiempo transcurrido para que la presión pase de 690 a 2.070 kPa.

---

[2] *Esta composición puede obtenerse del organismo nacional del Reino Unido encargado de proporcionar información sobre las pruebas (véase el apéndice 4).*

[3] ***Si los ensayos previos efectuados para determinar la seguridad en la manipulación (por ejemplo, calentamiento en una llama) o los ensayos de inflamación (por ejemplo, una prueba del tipo d) de la serie 3) indican que es probable que se produzca una reacción rápida, debe reducirse el tamaño de la muestra a 0,5 g*** *hasta que se averigüe la intensidad de la reacción en espacio limitado. Si es necesario utilizar una muestra de 0,5 g, debe aumentarse gradualmente el tamaño de la misma hasta llegar a 0,5 g, a menos que se logre antes el resultado "Sí, rápidamente".*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

23.4.1.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Sí, rápidamente": - el aumento de la presión de 690 a 2.070 kPa se ha producido en un tiempo inferior a 30 ms.

"Sí, lentamente": - el aumento de la presión de 690 a 2.070 kPa se ha producido en un tiempo igual o superior a 30 ms.

"No": - no se ha alcanzado la presión de 2.070 kPa.

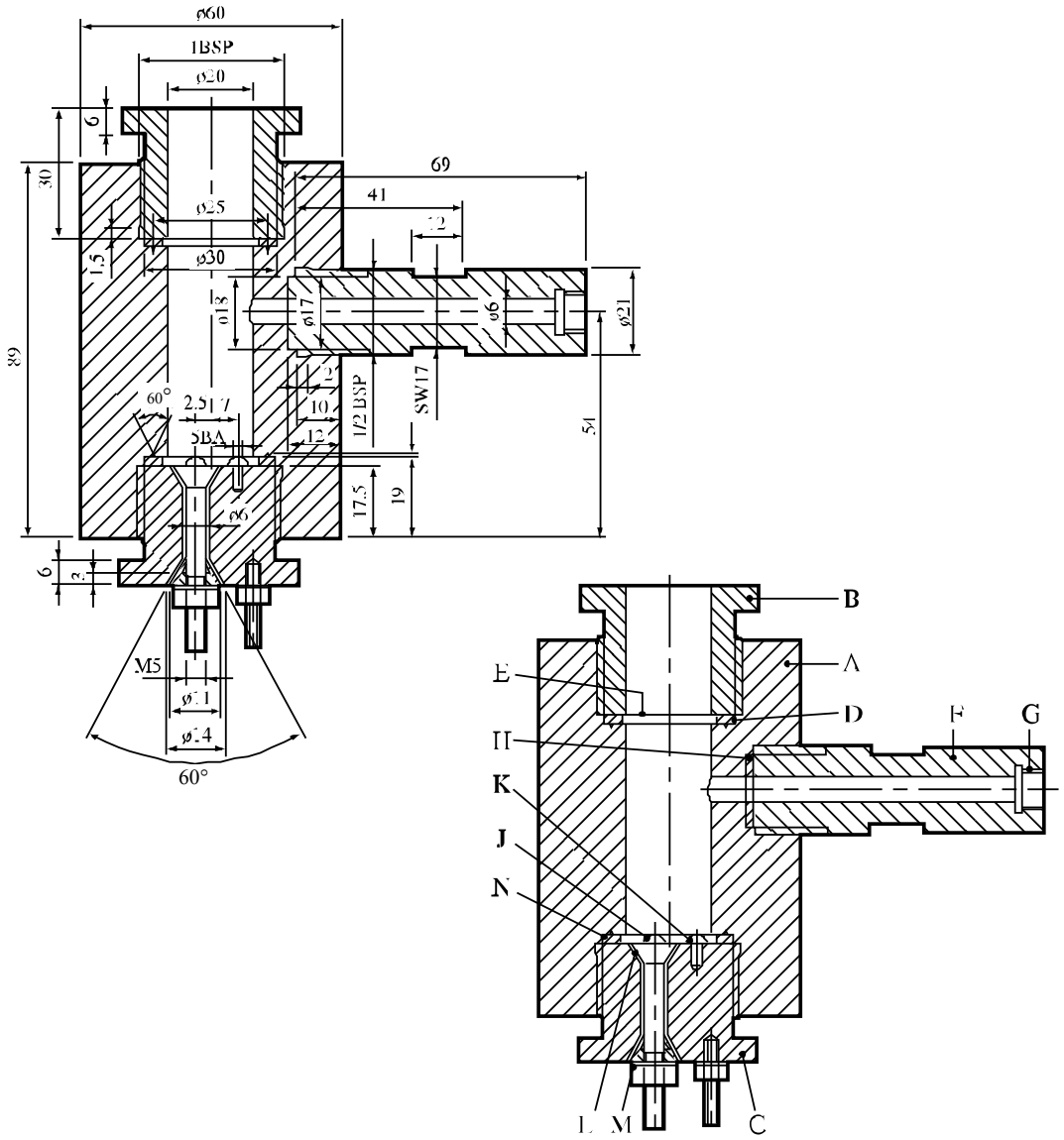
NOTA : *En caso necesario, debe efectuarse la prueba de deflagración (C.2) para distinguir entre "Sí, lentamente" y "No".*

23.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Presión máxima (kPa)**	**Tiempo de elevación de la presión de 690 a 2 070 kPa (ms)**	**Resultado**
Azodicarbonamida	> 2.070	63	Sí, lentamente
Azodicarbonamida, 67% en óxido de cinc	> 2.070	21	Sí, rápidamente
2,2´- Azodi (isobutironitrilo)	> 2.070	68	Sí, lentamente
2,2´- Azodi (2-metilbutironitrilo)	> 2.070	384	Sí, lentamente
2-Diazo-l-naftol-5-sulfohidrazida	> 2.070	14	Sí, rápidamente
2,5-Dimetil-2,5-di-(terc-butilperoxi)-hexino-3	> 2.070	70	Sí, lentamente
Hidroperóxido de cumilo, 80% en cumeno	< 690[a]	-	No
Hidroperóxido de terc-butilo, 70% en agua	1.380	-	No
Hidroperóxido de terc-butilo, 70% en agua	1.380	-	No
Monoperoxiftalato de magnesio, hexahidrato, 85% con ftalato de magnesio	900	-	No
4-Nitrosofenol	> 2.070	498	Sí, lentamente
Peroxibenzoato de terc-butilo	> 2.070	2.500	Sí, lentamente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	> 2.070	4.000	Sí, lentamente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	> 2.070	4.000	Sí, lentamente
Peroxidicarbonato de dicetilo	< 690	-	No
Peróxido de dibenzoílo	> 2.070	1	Sí, rápidamente
Peróxido de di-terc-butilo	> 2.070	100	Sí, lentamente
Peróxido de dicumilo	< 690[a]	-	No
Peróxido de dicumilo, con 60% de un sólido inerte	< 690[a]	-	No
Peróxido de dilauroílo	990	-	No

[a] *No se produjo inflamación.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cuerpo del recipiente a presión	(B)	Tapón de sujeción de la cápsula de seguridad
(C)	Tapón de activación	(D)	Arandela de plomo blando
(E)	Cápsula de seguridad	(F)	Toma de presión
(G)	Rosca del transductor de presión	(H)	Arandela
(J)	Electrodo aislado	(K)	Electrodo puesto a tierra
(L)	Aislamiento Tufnol	(M)	Tobera de acero
(N)	Ranura de recalado de la arandela		

Figura 23.4.1.1: APARATO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

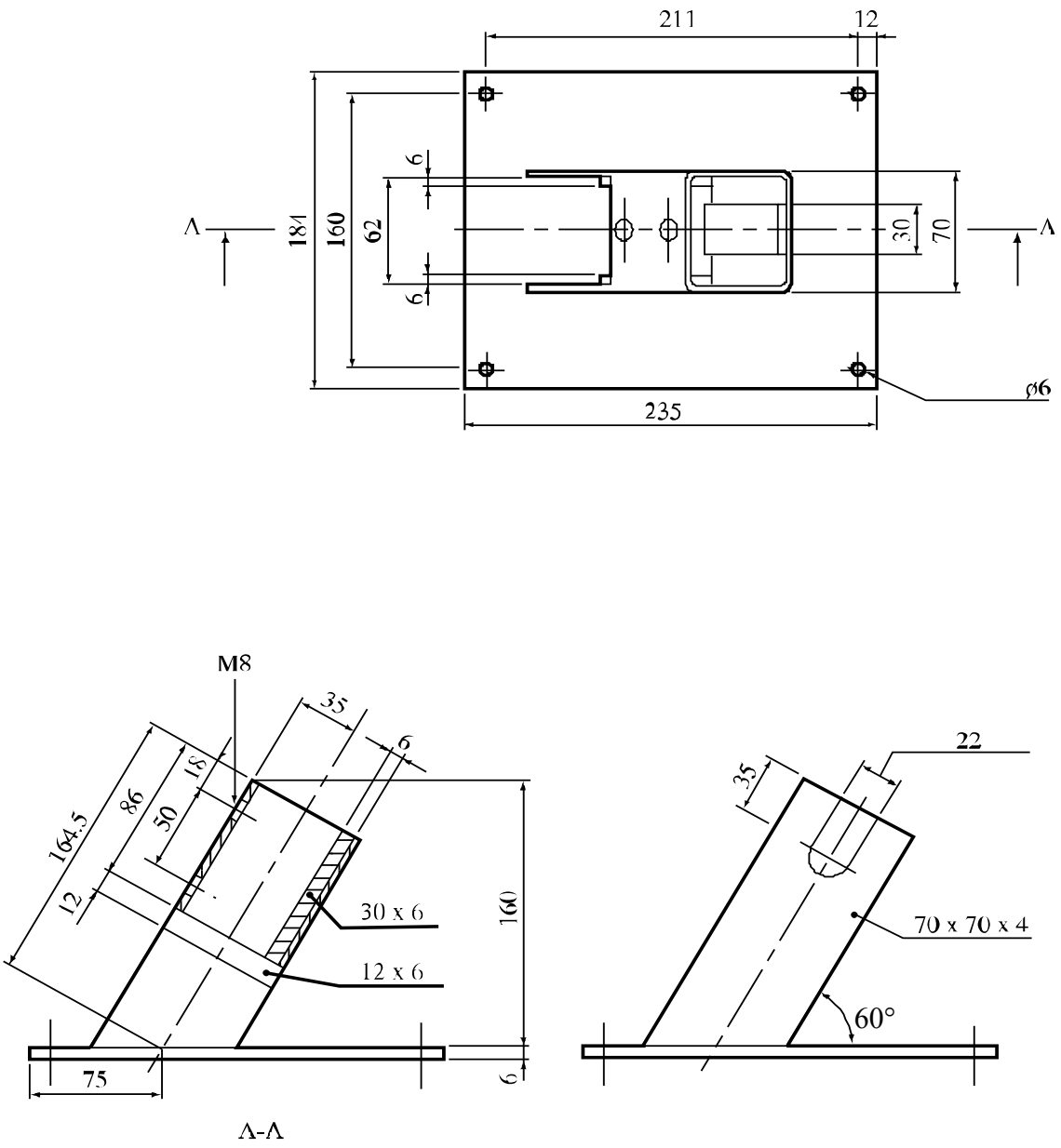
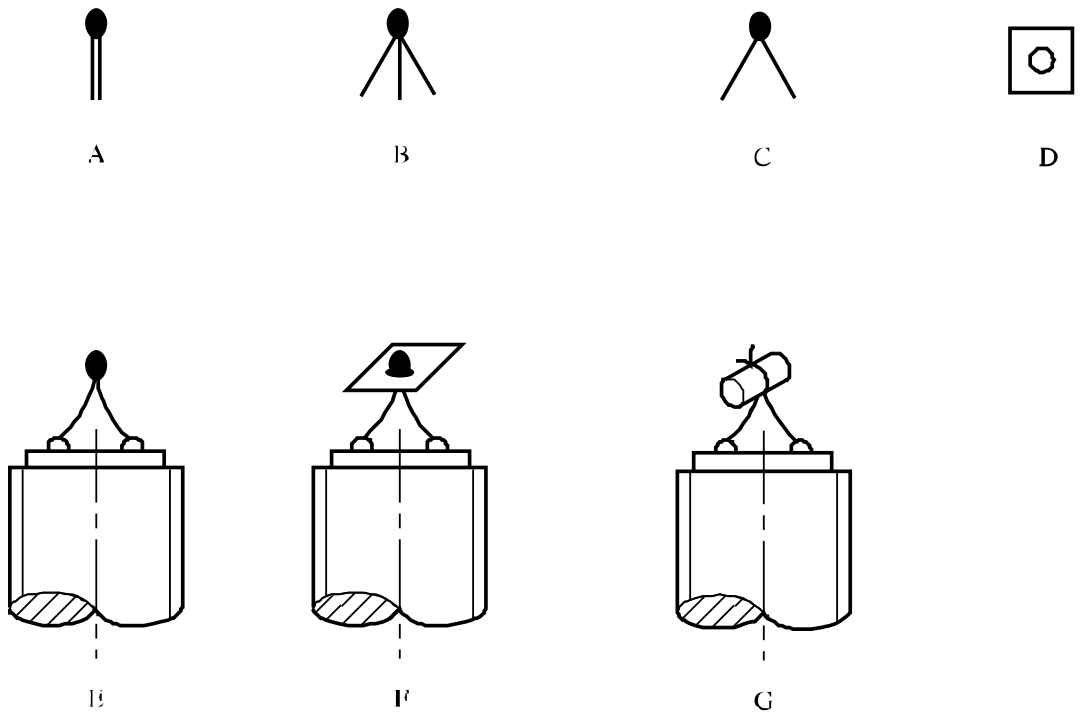


Figura 23.4.1.2: SOPORTE

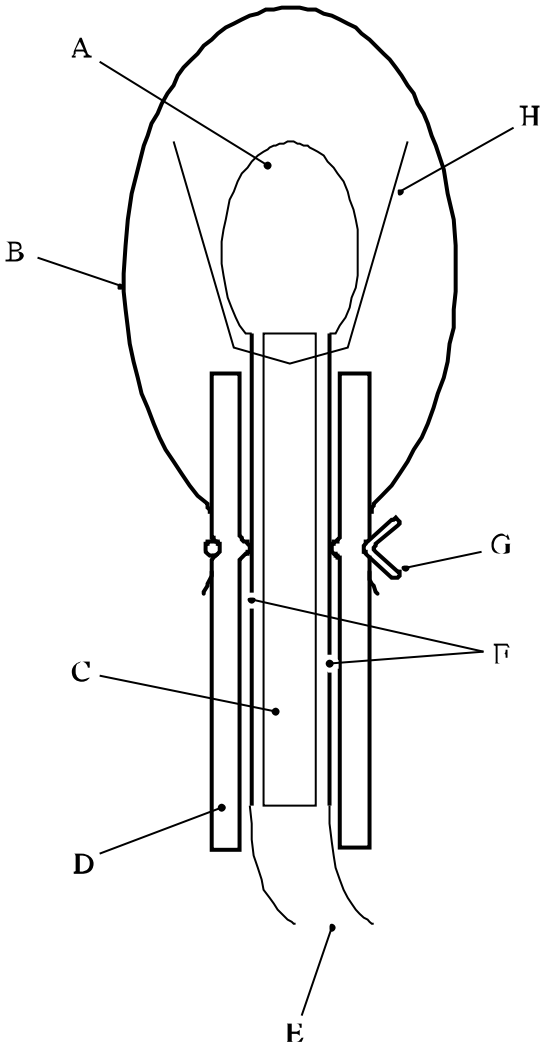
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cabeza de encendido eléctrico, tal como viene de fábrica
(B)	Contactos de hoja de latón separados del cartón aislador
(C)	Cabeza de encendido sin cartón aislador
(D)	Lienzo cebado (SR252), de 13 mm de lado, agujereado en el centro
(E)	Cabeza de encendido soldada a las clavijas del tapón de activación
(F)	Lienzo colocado en la cabeza de encendido
(G)	Lienzo enrollado, sujeto con un hilo

Figura 23.4.1.3:
DISPOSITIVO DE INFLAMACIÓN PARA SÓLIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cabeza de encendido
(B)	Funda de cloruro de polivinilo
(C)	Cartón aislador
(D)	Tubo de caucho silicónico
(E)	Cables de encendido
(F)	Contactos de hoja de latón
(G)	Alambre para sellar herméticamente
(H)	Lienzo cebado

Figura 23.4.1.4:
DISPOSITIVO DE INFLAMACIÓN PARA LÍQUIDOS

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

23.4.2 *Prueba C.2: Prueba de deflagración*

23.4.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia para propagar una deflagración. Puede utilizarse para responder a la pregunta de las casillas 3, 4 y 5 de la figura 20.1.

23.4.2.2 *Aparatos y materiales*

23.4.2.2.1 La prueba se efectúa con un frasco de Dewar (véase la figura 23.4.2.1), que va provisto de dos ventanillas de observación verticales en lados opuestos. Para medir la velocidad de deflagración se emplea un cronómetro de una precisión de 1 segundo.

23.4.2.2.2 El frasco de Dewar tiene una capacidad aproximada de 300 cm^3, un diámetro interior de 48 ± 1 mm, un diámetro exterior de 60 mm y una longitud de 180 a 200 mm. Con 265 cm^3 de agua en el frasco, que se tapona con un corcho, el tiempo de semienfriamiento debe ser de más de 5 horas. El frasco presenta unos trazos horizontales de graduación a 50 y 100 mm de su borde superior. El tiempo que tarde el frente de descomposición en propagarse del nivel de los 50 mm al de los 100 mm constituye la velocidad de deflagración. Para medir la temperatura de la sustancia objeto de la prueba antes de proceder al encendido se emplea un termómetro de vidrio, de una precisión de 0,1ºC. También pueden medirse la velocidad de deflagración y la temperatura de la muestra mediante dos termopares colocados a 50 y 100 mm por debajo del borde superior del frasco.

23.4.2.2.3 Para inflamar la sustancia, sirve cualquier llama de gas de una longitud mínima de 20 mm.

23.4.2.2.4 Como medida de seguridad personal, la prueba ha de llevarse a cabo en una campana de humos resistente a las explosiones o en una cámara de prueba, bien ventilada. El extractor de gases ha de tener tiro suficiente para enrarecer los productos de descomposición, de manera que no se formen mezclas explosivas con el aire. Entre el observador y el frasco de Dewar debe colocarse una pantalla.

23.4.2.3 *Procedimiento*

23.4.2.3.1 ***Si unos ensayos preliminares de seguridad (por ejemplo, calentamiento en una llama) o una prueba de combustión en pequeña escala (por ejemplo, una prueba de la serie 3, tipo d)) indican que puede producirse una reacción rápida, deben efectuarse pruebas preliminares en tubos de vidrio al borosilicato antes de pasar a la prueba en el frasco de Dewar***. En tal caso, se recomienda efectuar un primer ensayo en un tubo de 14 mm de diámetro, seguido de otro en un tubo de 28 mm de diámetro. Si en alguno de esos ensayos preliminares se registra una velocidad de deflagración de más de 5 mm/s, puede clasificarse ya la sustancia como de deflagración rápida, y cabe prescindir de la prueba principal en el frasco de Dewar.

23.4.2.3.2 El frasco de Dewar y la sustancia se ponen a la temperatura de emergencia, tal como se la define en la Reglamentación Modelo. Si la sustancia es suficientemente estable para no tener que asignarle una temperatura de emergencia, la temperatura de prueba será de 50ºC. Se llena el frasco con 265 cm^3 de sustancia. Si se trata de una sustancia granular, el frasco debe llenarse de manera que la densidad global de la sustancia sea comparable a la que tiene durante el transporte, y no se formen terrones.

23.4.2.3.3 Las sustancias pastosas se introducen en el frasco de Dewar de tal manera que no se formen bolsas de aire en la muestra de ensayo. La altura de llenado debe ser de unos 20 mm por debajo del borde del frasco. Se anota la masa y la temperatura de la sustancia. Se coloca el frasco en la cámara de prueba o en la campana de humos, detrás de la pantalla, tras lo cual se calienta la superficie de la sustancia con un quemador de gas. En el momento en que se observe una inflamación o, alternativamente, cuando ésta no se haya producido en 5 min, se retira y apaga el quemador. Se determina con el cronómetro el tiempo que tarde la zona de reacción en recorrer el intervalo que media entre los dos trazos de medida. Si la reacción se detiene antes de alcanzar el trazo inferior, se considera que la sustancia no es deflagrante. Se efectúan dos ensayos y se determina la velocidad de deflagración en función del intervalo de tiempo más corto. También puede determinarse esa velocidad colocando dos termopares en el frasco a 50 y 100 mm del borde superior

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

del frasco. Debe controlarse constantemente la fuerza electromotriz de los termopares. El paso del frente de reacción provoca un brusco incremento de esta fuerza. Se mide el intervalo entre los incrementos.

23.4.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

23.4.2.4.1 La interpretación de los resultados de la prueba se realiza comprobando si la zona de reacción se propaga hacia abajo a través de la sustancia y, si es así, comprobando la velocidad de propagación. La intervención del oxígeno del aire en la reacción que se produce en la superficie de la muestra resulta insignificante después de que la zona de reacción haya avanzado en una distancia de 30 mm. Si la sustancia no deflagra en las condiciones en que se realiza la prueba, la zona de reacción deja de avanzar. La velocidad de propagación de la zona de reacción (velocidad de deflagración) sirve de medida de la propensión de la sustancia a deflagrar a la presión atmosférica.

23.4.2.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Sí, rápidamente":	-	la velocidad de deflagración es de más de 5,0 mm/s.
"Sí, lentamente":	-	la velocidad de deflagración es igual o inferior a 5,0 mm/s e igual o superior a 0,35 mm/s.
"No":	-	la velocidad de deflagración es de menos de 0,35 mm/s o se interrumpe la reacción antes de alcanzar el trazo inferior.

NOTA: *Si no se obtiene la respuesta "Sí, rápidamente", debe efectuarse la prueba de tiempo/presión (prueba C.1).*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

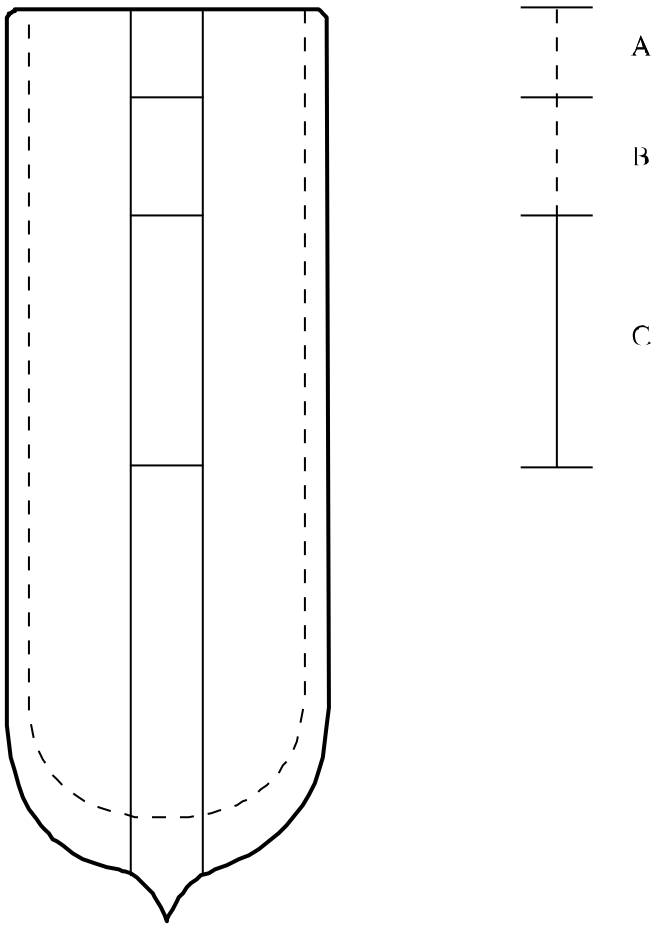
23.4.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Masa de la muestra (g)**	**Temp. de prueba (ºC)**	**Velocidad propagación (mm/s)**	**Resultado**
Azodicarbonamida	174	50	0,35	Sí, lentamente
2,2'-Azodi(isobutironitrilo)	101	45	[a]	No
2,5-Dimetil-2,5-di-(benzoil-peroxi)-hexino-3	235	50	2,9	Sí, lentamente
2,5-Dimetil-2,5-di-(benzoil-peroxi)-hexano	231	50	6,9	No
Hidroperóxido de cumilo, 80% en cumeno	273	50	0,12	Sí, rápidamente
4-Nitrosofenol	130	35	0,90	Sí, lentamente
Peroxibenzoato de terc-butilo	276	50	0,65	Sí, lentamente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	237	25	0,74	Sí, lentamente
Peroxi-3,5, 5-trimetilhexanoato de terc-butilo, 75% en un disolvente	238	50	0,27	No
Peroxidicarbonato de di-(4-terc-butilciclohexilo)	123	35	4,3	Sí, lentamente
Peroxidicarbonato de dicetilo	159	35	No se inflamó	Sí, lentamente
Peroxidicarbonato de diciclohexilo	-	26	26	Sí, rápidamente
Peroxidicarbonato de diciclohexilo, 90% en agua	-	15	13	Sí, rápidamente
Peróxido de dibenzoílo	158	20	100[b]	Sí, rápidamente
Peróxido de di-terc-butilo	212	50	0,27	No
Peróxido de dicumilo	292	50	No se inflamó	No
Peróxido de dilauroílo	130	45	No se inflamó	No
Peróxido de dilauroílo, 42% en dispersión estable en agua	265	45	No se inflamó	No

[a] *Llama pulsante seguida de extinción; no se produjo ninguna propagación estable en las condiciones de la prueba.*

[b] *En un ensayo preliminar con un tubo de vidrio de 14 mm de diámetro, a 20ºC, en vez de 50ºC.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Altura de llenado a 20 mm por debajo del borde superior
(B)	Intervalo de 30 mm para detectar una deflagración
(C)	Intervalo de 50 mm para medir la velocidad de deflagración

Figura 23.4.2.1:
TUBO DE DEWAR CON VENTANILLAS DE OBSERVACIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 24

SERIE DE PRUEBAS D

24.1 Introducción

La serie D comprende una sola prueba, con los criterios correspondientes, relativa a la propagación de una deflagración rápida de una sustancia en su embalaje/envase de transporte. Se prescribe esta prueba para las sustancias que deflagran rápidamente en una prueba de la serie C.

24.2 Métodos de prueba

24.2.1 A la pregunta "¿Deflagra rápidamente en un bulto?" (casilla 6 de la figura 20.1) se responde en función de los resultados del método de prueba indicado en el cuadro 24.1.

Cuadro 24.1: MÉTODO DE PRUEBA PARA LA SERIE D

Código	Nombre de la prueba	Sección
D.1	Prueba de deflagración en un bulto[a]	24.4.1

[a] *Prueba recomendada.*

24.2.2 Sólo se prescribe esta prueba para las sustancias respecto de las cuales la respuesta en una prueba de la serie C es "Sí, rápidamente".

24.3 Condiciones de la prueba

24.3.1 La prueba de la serie D debe aplicarse a los bultos (no superiores a 50 kg) de la sustancia en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte.

24.3.2 ***Antes de efectuar esta prueba, debe aplicarse el procedimiento preliminar (véase la sección 20.3).***

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

24.4 Serie D: Disposiciones relativas a las pruebas

24.4.1 *Prueba D.1: Prueba de deflagración en un bulto*

24.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia para propagar rápidamente una deflagración en su embalaje/envase de transporte. Puede utilizarse para responder a la pregunta de la casilla 6 de la figura 20.1.

24.4.1.2 *Aparatos y materiales*

Se necesita un inflamador de potencia justa para prender fuego a la sustancia (por ejemplo, un cartucho cebador con un máximo de 2 g de una mezcla pirotécnica inflamadora de combustión lenta, envuelta en una fina lámina de plástico) y material adecuado para formar una barrera de contención.

24.4.1.3 *Procedimiento*

Se aplica esta prueba a las sustancias embaladas/envasadas en el estado y en la forma en que se presenten para el transporte. Se deposita el bulto en el suelo y se coloca el inflamador en el centro de la sustancia. En el caso de los líquidos, puede ser necesario un soporte de alambre para fijar el inflamador en su lugar exacto. El inflamador ha de estar aislado del líquido. La prueba se efectúa con una barrera de contención; para ello se recomienda utilizar arena suelta, que se distribuye alrededor del bulto formando una capa de 0,5 m, como mínimo, en todas las direcciones. También pueden utilizarse cajas, sacos o bidones, llenos de tierra o arena, rodeando y cubriendo el bulto con ellos, con el mismo espesor mínimo. Se efectúan tres ensayos, a no ser que se produzca una explosión en el primer o segundo ensayos. ***Si no se observa una deflagración después de la inflamación, hay que cuidar de no acercarse al bulto durante 30 minutos por lo menos. Se recomienda que se introduzca un termopar cerca del inflamador a fin de poder controlar su funcionamiento y determinar en qué momento puede uno acercarse al bulto.***

24.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

24.4.1.4.1 Para evaluar los resultados se tienen en cuenta los siguientes indicios de una deflagración rápida de la sustancia objeto de la prueba:

a) Fragmentación del bulto; y

b) Disgregación y dispersión de la mayor parte del material del que se compone la barrera de contención.

24.4.1.4.2 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Sí": - la fragmentación del embalaje/envase interior o exterior en más de tres pedazos (excluidas las partes superior e inferior del mismo) indica que la sustancia objeto de la prueba ha deflagrado rápidamente en ese bulto.

"No": - la no fragmentación o la fragmentación del embalaje/envase interior o exterior en tres pedazos como máximo (excluidas las partes superior e inferior del embalaje/envase) indica que la sustancia objeto de la prueba no ha deflagrado rápidamente en el bulto.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

24.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Embalaje/envase**	**Número de fragmentos**	**Resultado**
Peróxido de dibenzoílo	1A2, 25 kg	> 40	Sí
Peróxido de dibenzoílo	4G, 25 kg	> 40	Sí
Peróxido de dibenzoílo, 94% en agua	1A2, 25 kg	> 40	Sí
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	4G, 25 kg	No se fragmentó	No

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 25

SERIE DE PRUEBAS E

25.1 Introducción

25.1.1 La serie E comprende las pruebas de laboratorio y los criterios destinados a verificar cómo reacciona una sustancia al calentamiento en un espacio definido, según se indica en las casillas 7, 8, 9 y 13 de la figura 20.1.

25.2 Métodos de prueba

25.2.1 A la pregunta "¿Cómo reacciona al calentamiento en un espacio limitado?" (casillas 7, 8, 9 y 13 de la figura 20.1) se responde en función de los resultados combinados de los métodos de prueba que figuran en el cuadro 25.1.

Cuadro 25.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE E

Código	Nombre de la prueba	Sección
E.1	Prueba Koenen[a]	25.4.1
E.2	Prueba del recipiente a presión (Países Bajos)[b]	25.4.2
E.3	Prueba del recipiente a presión (Estados Unidos)	25.4.3

[a] *Prueba recomendada para sustancias de reacción espontánea, combinada con una de las otras pruebas.*

[b] *Prueba recomendada para peróxidos orgánicos, combinada con una de las otras pruebas.*

25.2.2 La combinación de la prueba Koenen y la prueba del recipiente a presión (Países Bajos) o la prueba del recipiente a presión (Estados Unidos) debe utilizarse para las sustancias de reacción espontánea. La combinación de la prueba del recipiente a presión (Países Bajos) y la prueba Koenen o la prueba del recipiente a presión (Estados Unidos) debe utilizarse para los peróxidos orgánicos. A efectos de clasificación, se tendrá en cuenta el grado máximo de riesgo.

25.3 Condiciones de las pruebas

25.3.1 ***Antes de efectuar estas pruebas, debe aplicarse el procedimiento preliminar (véase la sección 20.3)***.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

25.4 Serie E: Disposiciones relativas a las pruebas

25.4.1 *Prueba E.1: Prueba Koenen*

25.4.1.1 *Introducción*

Se utiliza esta prueba para determinar la sensibilidad de las sustancias a los efectos de un calor intenso en un espacio muy limitado. Se puede utilizar conjuntamente con una prueba suplementaria de calentamiento en espacio limitado para responder a las preguntas de las casillas 7, 8, 9 y 13 de la figura 20.1.

25.4.1.2 *Aparatos y materiales*

25.4.1.2.1 El aparato consiste en un tubo de acero no reutilizable, con dispositivo de cierre utilizable, instalado en un dispositivo de calentamiento y protección. El tubo se obtiene por estampado de una chapa fina de acero conforme a las especificaciones de la norma DC04 (EN 10027-1), o de las normas equivalentes A620 (AISI/SAE/ASTM) o SPCEN (JIS G 3141). Las dimensiones se indican en la figura 25.4.1.1. El extremo abierto termina en una brida. La placa de cierre, a través de cuyo orificio salen los gases resultantes de la descomposición de la sustancia que se somete a prueba es de acero al cromo, resistente al calor, y puede obtenerse con los siguientes diámetros de orificio: 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 5,0 - 8,0 - 12,0 - 20,0 mm. En la figura 25.4.1.1 se indican las dimensiones del collar roscado y de la tuerca (dispositivo de cierre).

Para el control de la calidad de los tubos de acero, el 1% de los tubos de cada lote de fabricación se someterá a control de calidad y se comprobarán los siguientes datos:

a) La masa de los tubos deberá ser de 26,5 ± 1,5 g, y la masa de los tubos que vayan a utilizarse en una secuencia de ensayos no diferirá en más de un 1 g;

b) La longitud de los tubos será de 75 ± 0,5 mm;

c) El espesor de la pared de los tubos, medido a una distancia de 20 mm del fondo, deberá ser de 0,5 ± 0,05 mm; y

d) La presión de rotura determinada por una carga cuasi estática aplicada por medio de un fluido incompresible deberá ser de 30 ± 3 MPa.

25.4.1.2.2 El tubo se calienta con propano envasado en una bombona provista de un regulador de presión. Pueden utilizarse otros gases combustibles, a condición de que permitan obtener la velocidad de calentamiento prescrita. Se regula la presión del gas para obtener una velocidad de calentamiento de 3,3 ± 0,3 K/s, medida por calibración. Esta última consiste en calentar un tubo (provisto de un disco perforado de 1,5 mm) que contenga 27 cm^3 de ftalato de dibutilo. Se registra el tiempo necesario para elevar la temperatura del líquido (medida con un termopar de 1 mm de diámetro, colocado en posición central 43 mm por encima del borde del tubo) de 135 a 285ºC y se calcula la velocidad de calentamiento.

25.4.1.2.3 Como es probable que el tubo resulte destruido en el curso de los ensayos, el calentamiento se efectúa en una caja protectora, constituida por elementos soldados, que aparece representada en esquema, con sus dimensiones, en la figura 25.4.1.2. El tubo se suspende entre dos varillas a las que les sirven de apoyo unos orificios existentes en paredes opuestas de la caja. En la figura 25.4.1.2 se representa la disposición de los quemadores. Estos se encienden simultáneamente mediante una llama auxiliar o un dispositivo eléctrico. ***Se instala el aparato de ensayo en un lugar protegido***. Debe preverse lo necesario para que a las llamas de los quemadores no les afecte ninguna corriente de aire. Debe instalarse un aparato para la extracción de los gases o humos resultantes de los ensayos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

25.4.1.3 *Procedimiento*

25.4.1.3.1 Normalmente, las sustancias se someten a prueba en el mismo estado en que se hayan recibido, aunque en ciertos casos puede ser necesario triturarlas previamente. En el caso de los sólidos, la masa de la muestra que se ha de utilizar en cada ensayo se determina mediante un ensayo previo en dos fases. Se comienza por poner en un tubo -cuyo peso se conoce- 9 cm^3 de la sustancia, que se retaca[1] con una fuerza de 80 N aplicada por igual en toda la sección del tubo. Si la sustancia es comprimible, se añade otra cantidad, y se retaca hasta que alcance una altura de 55 mm en el inferior del tubo. Se determina la masa total correspondiente a ese nivel de 55 mm, y se añaden dos nuevas porciones, cada una de las cuales se retaca con una fuerza de 80 N. Seguidamente, se añade, también mediante retacado, o se sustrae -según convenga- la cantidad necesaria de sustancia para que el nivel de ésta se sitúe a 15 mm por debajo del borde superior del tubo.

Se efectúa un segundo ensayo previo comenzando por añadir, mediante retacado, una cantidad equivalente a un tercio de la masa total medida en la primera fase. Se agregan otras dos fracciones de esa misma proporción, retacándolas a 80 N y mediante adición o sustracción -según convenga-, se adapta la sustancia en el interior del tubo de manera que quede a un nivel de 15 mm por debajo del borde superior de aquél. La cantidad de sólido que se determine en la segunda fase será la que se utilice en todos y cada uno de los ensayos, efectuándose el llenado en tres fracciones iguales, cada una de las cuales se comprime hasta un volumen de 9 cm^3 mediante la aplicación de la fuerza que sea necesaria (tal operación puede facilitarse con el empleo de anillos separadores). Los líquidos y los geles se alojan en el tubo hasta una altura de 60 mm, cuidando en especial, por lo que se refiere a los segundos, de que no se formen espacios vacíos. Se monta el collar roscado, desde abajo, en el tubo; se ajusta el disco obturador apropiado, y se aprieta la tuerca, a mano, tras aplicarle algún lubricante a base de bisulfuro de molibdeno. Es indispensable comprobar que entre la brida y el disco, o en las roscas, no haya quedado ningún resto de la sustancia.

25.4.1.3.2 Con los discos cuyo orificio tenga de 1,0 a 8,0 mm de diámetro deben utilizarse tuercas con orificio de 10,0 mm de diámetro; y si el diámetro del orificio del disco es de más de 8,0 mm, el de la tuerca ha de ser de 20,0 mm. Cada tubo se utiliza en una prueba solamente. Por el contrario, los discos, los collares roscados y las tuercas pueden utilizarse repetidas veces, a condición de que no hayan sufrido ningún deterioro.

25.4.1.3.3 A continuación, se coloca el tubo en un tornillo de banco, de montaje bien firme, y se aprieta la tuerca con una llave. Seguidamente, se suspende el tubo entre las dos varillas en la caja protectora. Se evacua la zona de la prueba, se abre el suministro de gas y se encienden los quemadores. El tiempo transcurrido hasta la primera reacción y la duración de ésta pueden aportar datos adicionales útiles para interpretar los resultados. Si no estalla el tubo, debe prolongarse el caldeo durante cinco minutos como mínimo antes de dar por terminado el ensayo. Después de cada ensayo, deben recogerse y pesarse los fragmentos del tubo, si hubo fragmentación.

25.4.1.3.4 Pueden distinguirse los siguientes efectos:

"O": tubo intacto;
"A": combadura del fondo del tubo;
"B": combadura del fondo y de la pared del tubo;
"C": rajadura del fondo;
"D": rajadura de la pared;
"E": hendimiento del tubo en dos[2] fragmentos;

[1] ***Por razones de seguridad (por ejemplo, la sustancia es sensible a la fricción), en algunos casos la sustancia no debe ser retacada.*** *Si la forma física de la muestra puede modificarse por comprensión o si la muestra comprimida no cumple las condiciones de transporte (por ejemplo, las materias fibrosas), pueden utilizarse métodos de llenado más representativos.*

[2] *La parte superior del tubo que queda en el dispositivo de cierre se cuenta como un fragmento.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

"F": fragmentación del tubo en tres[2] o más trozos, en su mayoría grandes, que en algunos casos pueden estar unidos entre sí por una tira estrecha

"G": fragmentación del tubo en muchos trozos, en su mayoría pequeños, y dispositivo de cierre intacto;

"H": fragmentación del tubo en numerosos trozos muy pequeños; combadura o fragmentación del dispositivo de cierre.

En la figura 25.4.1.3 se dan ejemplos de los efectos de los tipos "D", "E" y "F". Si un ensayo da los efectos de los tipos "O" a "E", se considera que "no hay explosión". Si se producen los efectos de los tipos "F", "G" o "H", se considera que hay "explosión".

25.4.1.3.5 Se inicia la serie de pruebas efectuando un solo ensayo, con una placa cuyo orificio sea de 20 mm. Si se observa, en este caso, el resultado "explosión", se prosigue la serie de ensayos utilizando tubos sin placa de orificio ni tuerca, pero con collar roscado (orificio de 24,0 mm). Si con 20,0 mm "no hay explosión", se prosigue la serie -efectuándose en cada caso un solo ensayo- con placas cuyos respectivos orificios tienen 12,0 - 8,0 - 5,0 - 2,0 - 1,5 y, por último, 1,0 mm de diámetro, hasta que se produzca, con una de estas medidas, el resultado "explosión". Seguidamente, se efectúan ensayos con diámetros crecientes, según la secuencia indicada en el párrafo 25.4.1.2.1, hasta que sólo se consigan resultados negativos en tres ensayos al mismo nivel. El diámetro límite de una sustancia es el diámetro máximo del orifico con el que se obtiene el resultado "explosión". De no obtenerse ese resultado con un diámetro de 1,0 mm, se indica que el diámetro límite es inferior a 1,0 mm.

25.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

25.4.1.4.1 Se utilizan los siguientes criterios de evaluación:

"Violentamente": - el diámetro límite es igual o superior a 2,0 mm.

"Moderadamente": - el diámetro límite es igual a 1,5 mm.

"Débilmente": - el diámetro límite es inferior o igual a 1,0 mm, y la fragmentación observada en alguno de los ensayos es distinta del tipo "O".

"No reacciona": - el diámetro límite es inferior a 1,0 mm, y la fragmentación observada en todos los ensayos es del tipo "O".

[2] *La parte superior del tubo que queda en el dispositivo de cierre se cuenta como un fragmento.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

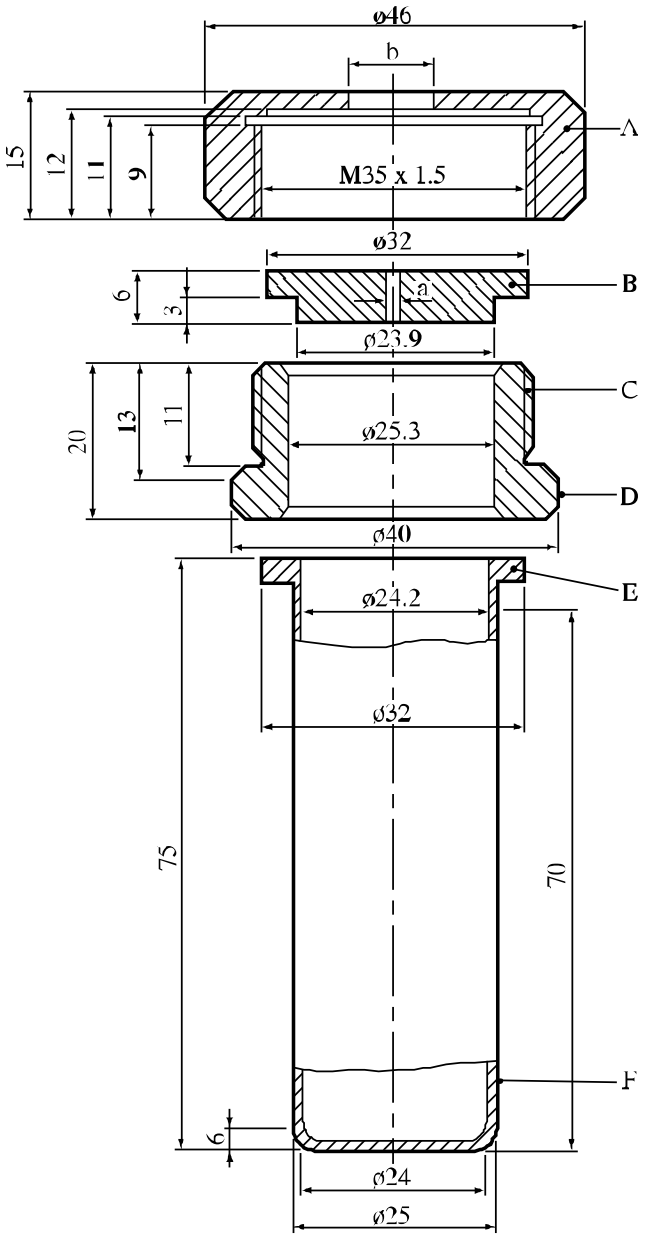
25.4.1.5 ***Ejemplos de resultados***

Sustancia	**Masa de la muestra(g)**	**Diámetro límite (mm)**	**Tipo de fragmentación**[a]	**Resultado**
Ácido diperoxiisoftálico	18,0	24,0	"H"	Violentamente
Azodicarbonamida	20,0	1,5	"F"	Moderadamente
Azodicarbonamida, 67% con óxido de cinc	24,0	1,5	"F"	Moderadamente
2,2'-Azodi(2,4-dimetilvalero-nitrilo)	17,5	< 1,0	"O"	No reacciona
2,2'-Azodi(isobutironitrilo)	15,0	3,0	"F"	Violentamente
Cloruro de 2-diazo-1-naftol-5-sulfonilo	19,0	2,5	"F"	Violentamente
2,5-Dimetil-2,5-di(terc-butil-peroxihexano	23,0	1,5	"F"	Moderadamente
N,N'-Dinitroso-N,N'-dimetil-tereftalamida, 70% con aceite mineral	18,0	4,0	"F"	Violentamente
1,3-Disulfohidrazida del benceno		12,0	"F"	Violentamente
1,3-Disulfohidrazida del benceno		2,0	"F"	Violentamente
Hidroperóxido de cumilo, 84,1% en cumeno	27,5	1,0	"F"	Débilmente
4-Nitrosofenol	17,0	< 1,0	"A"	Débilmente
Peroxibenzoato de terc-butilo	26,0	3,5	"F"	Violentamente
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	24,2	2,0	"F"	Violentamente
Peroxidicarbonato de dicetilo	16,0	< 1,0	"O"	No reacciona
Peroxidicarbonato de diisopropilo	21,0	8,0	"F"	Violentamente
Peroxidicarbonato de dimiristilo	16,0	< 1,0	"O"	No reacciona
Peróxido de dibenzoílo	17,5	10,0	"F"	Violentamente
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	20,0	2,5	"F"	Violentamente
Peróxido de di-terc-butilo	21,5	< 1,0	"O"	No reacciona
Peróxido de 2,4-diclorobenzoílo	21,0	6,0[b]	"F"	Violentamente
Peróxido de dicumilo	18,0	< 1,0	"O"	No reacciona
Peróxido de dilauroílo	14,0	< 1,0	"O"	No reacciona
Peróxido del ácido disuccínico	18,0	6,0	"F"	Violentamente

[a] *Con el diámetro límite.*

[b] *Con una muestra de 13 g el diámetro límite es < 1,0 mm.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tuerca (b = 10,0 ó 20,0 mm), ajuste con llave del 41
(B)	Disco perforado (a = 1,0 a 20,0 mm de diámetro)
(C)	Collar roscado
(D)	Ajuste con llave del 36
(E)	Brida
(F)	Tubo

Figura 25.4.1.1: TUBO Y ELEMENTOS DE CIERRE

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

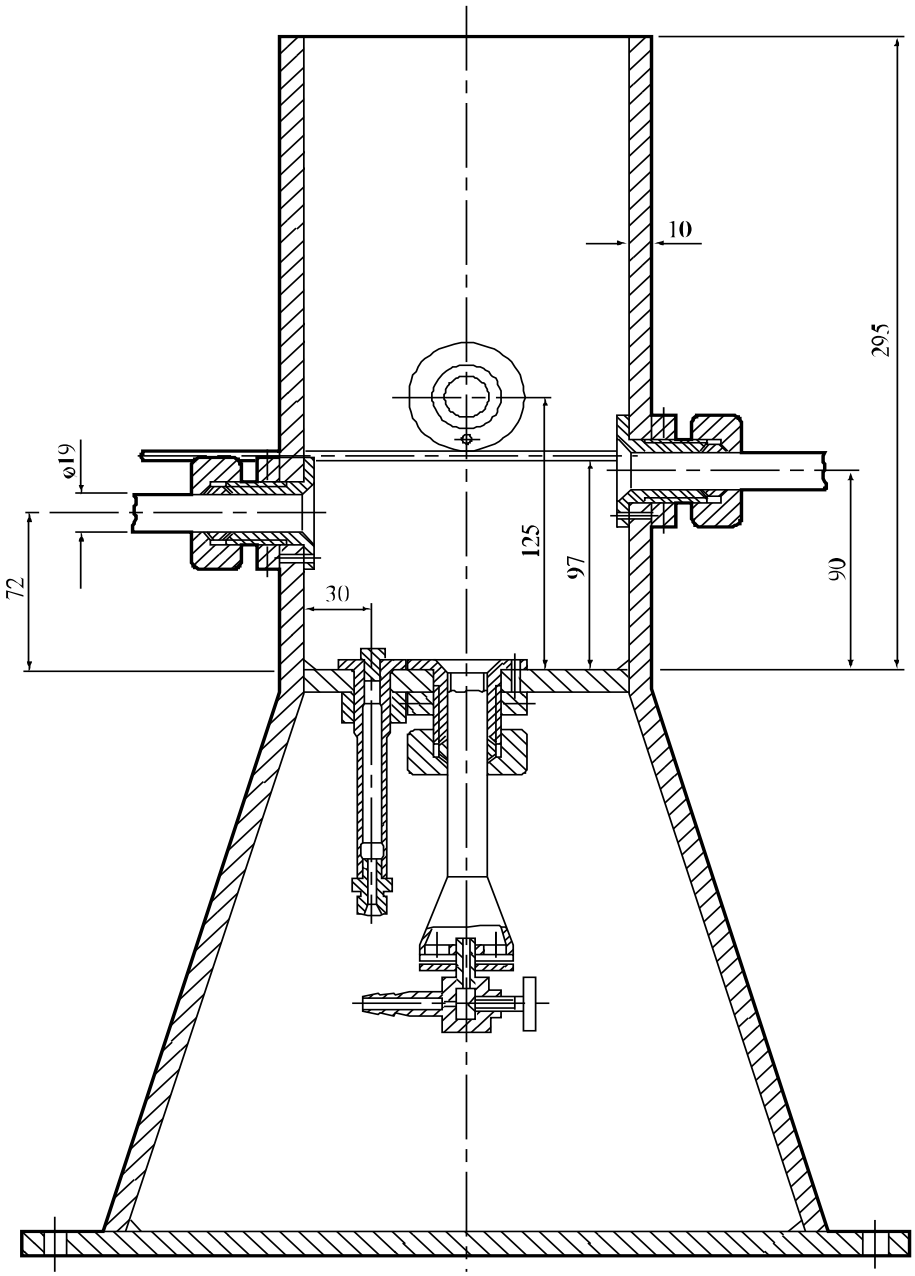


Figura 25.4.1.2: DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO Y CAJA PROTECTORA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

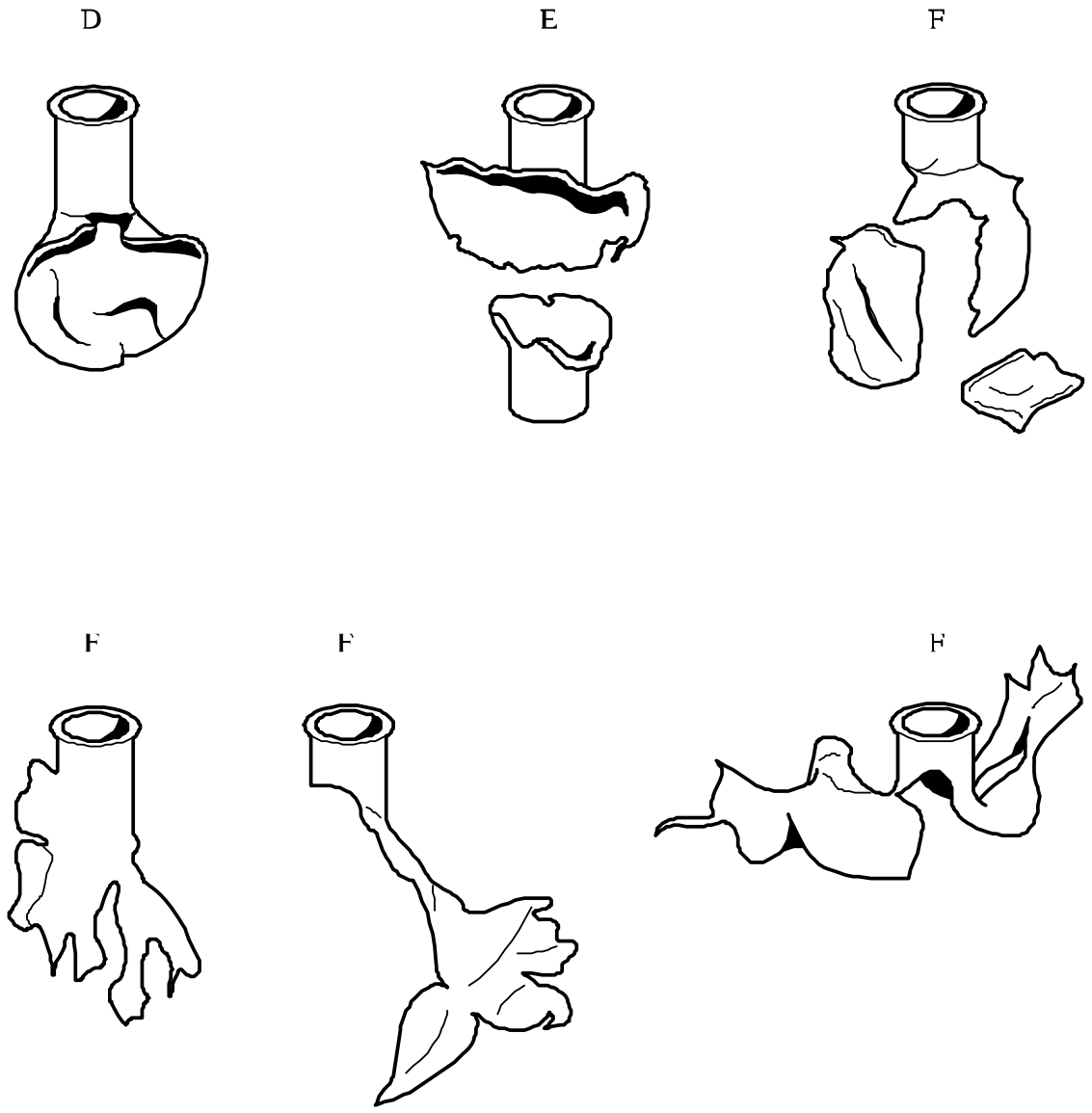


Figura 25.4.1.3: EJEMPLOS DE TIPOS DE EFECTOS D, E Y F

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

25.4.2 *Prueba E.2: Prueba del recipiente a presión (Países Bajos)*

25.4.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de las sustancias a los efectos de un calor intenso en un espacio definido. Puede emplearse, en conjunción con una prueba complementaria de calentamiento en un espacio limitado, para contestar a las preguntas formuladas en las casillas 7, 8, 9 y 13 de la figura 20.1.

25.4.2.2 *Aparatos y materiales*

25.4.2.2.1 Descripción del recipiente a presión

En la figura 25.4.2.1 se representan en esquema los aparatos de ensayo. El recipiente es de acero inoxidable, del tipo AISI 316. Se emplean sucesivamente 8 discos perforados, con sendos orificios cuyos respectivos diámetros son: 1,0 - 2,0 - 3,5 - 6,0 - 9,0 - 12,0 - 16,0 y 24,0 mm. Los discos tienen un espesor de 2,0 mm ± 0,2 mm. Los diafragmas de seguridad son discos de aluminio de 38 mm de diámetro, proyectados para estallar a partir de 620 ± 60 kPa a 22ºC (véase la figura 25.4.2.2).

25.4.2.2.2 Dispositivo de calentamiento

El recipiente a presión se calienta con butano de calidad industrial, envasado en una bombona provista de un regulador de presión. Se utiliza un quemador Teclu. Pueden utilizarse otros gases, con un quemador apropiado, siempre y cuando se obtenga un régimen de calentamiento de 3,5 ± 0,3 K/s. El régimen de calentamiento ha de comprobarse calentando 10 g de ftalato de dibutilo en el recipiente a presión y observando la temperatura. Se anota el tiempo que tarda la temperatura en subir de 50ºC a 200ºC y se calcula el régimen de calentamiento.

25.4.2.3 *Procedimiento*

25.4.2.3.1 En una prueba normal se colocan en el recipiente 10,0 g de la sustancia de que se trate, con la que se debe cubrir uniformemente el fondo de aquél. Se utiliza en primer lugar el disco con orificio de 16,0 mm de diámetro. Se colocan en su lugar correspondiente el diafragma de seguridad, el disco central y el anillo de sujeción. Las tuercas de aletas se aprietan a mano, y la tuerca ciega, con llave. El diafragma de seguridad se cubre con agua suficiente para mantenerlo a baja temperatura. El recipiente a presión se monta sobre un trípode (con un anillo de 67 mm de diámetro interior), que va colocado en el interior de un cilindro protector. El anillo, en el centro axial del recipiente, descansa sobre el trípode.

25.4.2.3.2 Se enciende el quemador, se ajusta el flujo de gas al régimen conveniente y se regula el flujo de aire de manera que, adquiriendo la llama coloración azul, su cono interior sea azul claro. El trípode debe tener la altura precisa para que el cono interior de la llama apenas toque el fondo del recipiente. Seguidamente, se coloca debajo de éste el quemador, a través de una abertura existente en el cilindro de protección. ***El lugar en que se lleve a cabo la prueba ha de estar muy bien ventilado, y durante los ensayos debe prohibirse la entrada en él***. Se observa el recipiente desde el exterior de la zona de prueba, sea con auxilio de espejos o a través de una ventanilla de vidrio armado, en la pared. El tiempo transcurrido hasta que se produce la reacción y la duración de la reacción pueden dar información complementaria de utilidad para interpretar los resultados. Por último, se enfría el recipiente en agua, y se limpia.

25.4.2.3.3 Si no se produce el estallido del diafragma de seguridad cuando se utiliza un disco con un orificio de 16,0 mm de diámetro, se efectúan ensayos sucesivos (uno con cada diámetro) con orificios de 6,0, 2,0 y 1,0 mm hasta que se produzca dicha reacción. En aquellos casos en los que no se produzca el estallido del diafragma con un orificio de 1,0 mm, el ensayo siguiente se efectúa con este mismo diámetro, pero con 50 g de la sustancia en vez de 10,0. Si aun así no se produce el estallido, se repite el experimento hasta que se den tres ensayos sucesivos sin que se produzca dicha reacción. En caso de que se produzca el estallido del diafragma, se repiten los ensayos en condiciones menos favorables a dicha reacción (esto es, con 10 g en vez de 50 g, o con el diámetro inmediatamente superior), hasta averiguar el diámetro con el que no se produce ningún estallido en tres ensayos sucesivos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

25.4.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

25.4.2.4.1 El grado relativo de sensibilidad de una sustancia al calentamiento en un recipiente a presión se expresa con el diámetro límite, esto es: el diámetro máximo (en milímetros) del orificio con que, en tres ensayos, se rompe al menos una vez el diafragma de seguridad, habiendo permanecido intacto en tres ensayos con el diámetro inmediatamente superior.

25.4.2.4.2 Los criterios de evaluación son los siguientes:

"Violentamente": - estallido del diafragma con orificio de 9,0 mm o más y muestra de 10,0 g.

"Moderadamente": - no se produce estallido del diafragma con orificio de 9,0 mm pero sí con orificio de 3,5 mm o 6,0 mm y muestra de 10,0 g.

"Débilmente": - no se produce estallido del diafragma con orificio de 3,5 mm y muestra de 10,0 g, pero sí con orificio de 1,0 mm o 2,0 mm y muestra de 10,0 g o con orificio de 1,0 mm y muestra de 50,0 g.

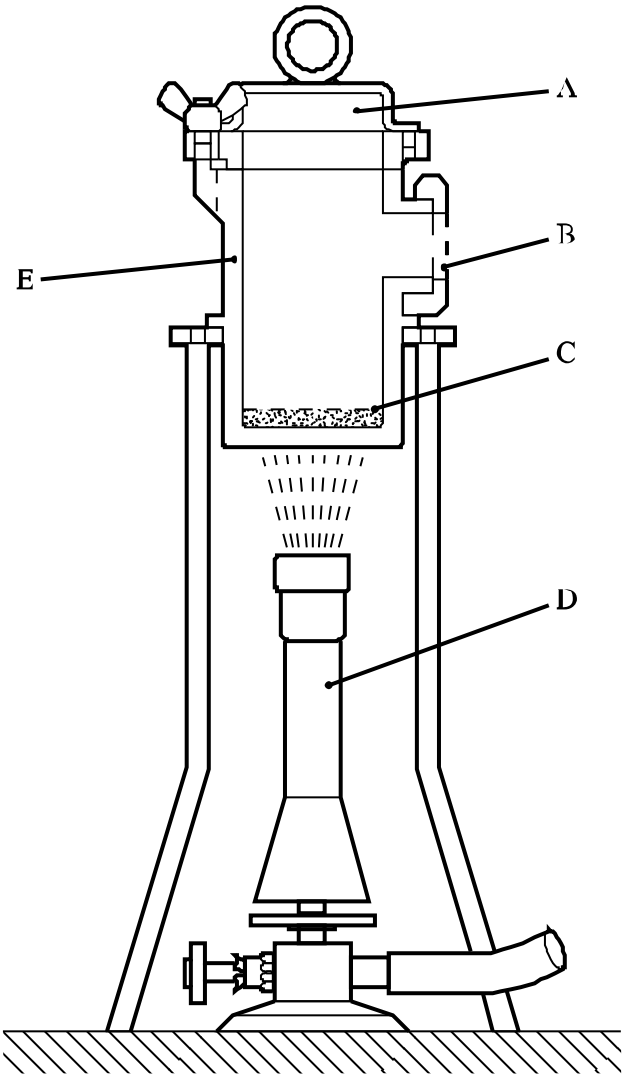
"No reacciona": - no se produce estallido del diafragma con orificio de 1,0 mm y muestra de 50,0 g.

25.4.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Diámetro límite (mm)**	**Resultado**
Azodicarbonamida	1,5	Débilmente
2,2´-Azodi-(2,4-dimetilvaleronitrilo)	6,0	Moderadamente
2,2´-Azodi(isobutironitrilo)	5,5	Moderadamente
2,2´-Azodi(2-metilbutironitrilo)	6,0	Moderadamente
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-morfolinobenceno-diazonio y cinc, 90%	< 1,0[a]	No reacciona
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-(fenilsulfonil)-benceno-diazonio y cinc, 67%	< 1,0[a]	No reacciona
Hidroperóxido de cumilo, 80% en cumeno	1,0	Débilmente
4-Nitrosofenol	< 1,0[a]	Débilmente
Peroxibenzoato de terc-butilo	9,0	Violentamente
Peroxidicarbonato de dicetilo	1,0	Débilmente
Peróxido de dibenzoilo, 75% en agua	6,0	Moderadamente
Peróxido de dicumilo	5,0	Moderadamente
Peróxido de di-terc-butilo	3,5	Moderadamente
Peróxido de dilauroílo	2,0	Débilmente
Peróxido de dilauroílo, 42% en dispersión estable en agua	< 1,0[a]	No reacciona
Tetrafluoroborato de 2,5-dietoxi-4-morfolino-bencenodiazonio, 97%	< 1,0	No reacciona
Tetrafluoroborato de 3-metil-4-(pirolidin-1-yl)bencenodiazonio, 95%	< 1,0[a]	No reacciona

[a] *Prueba efectuada con una muestra de 50 g.*

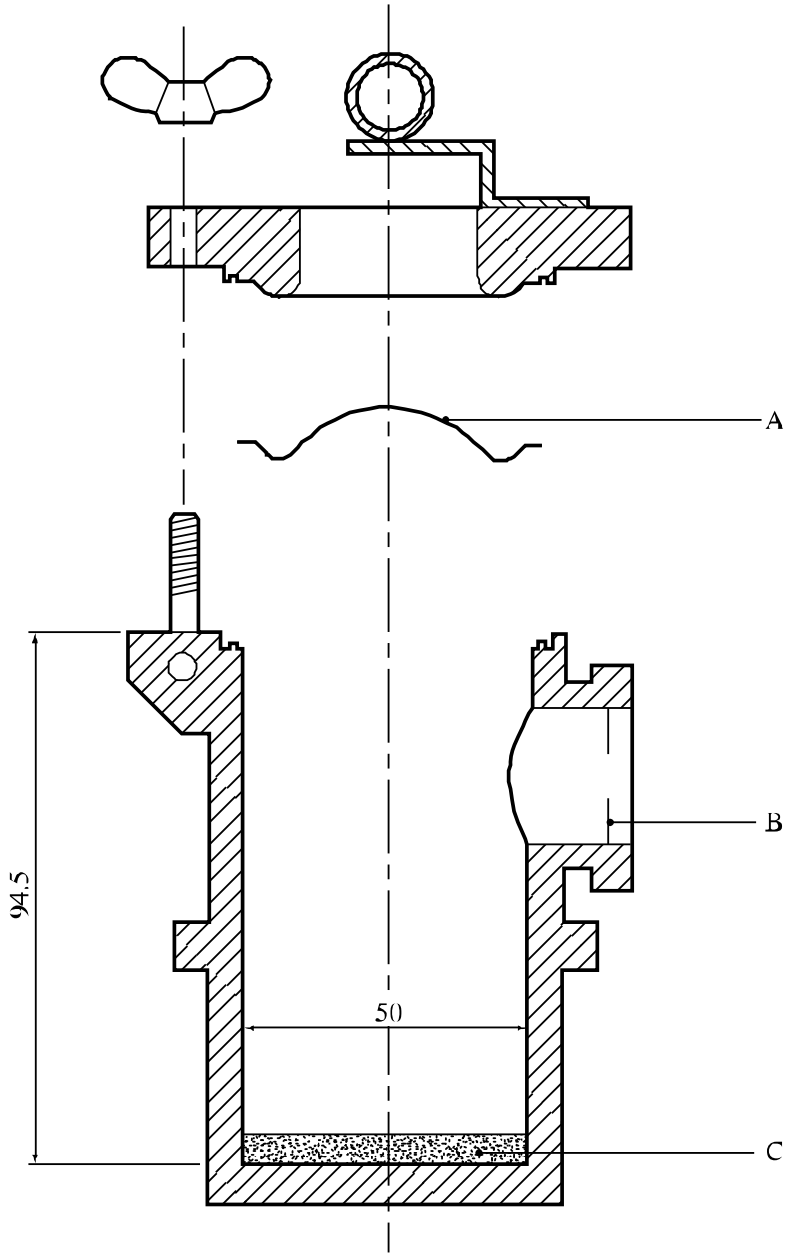
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Diafragma de seguridad
(B)	Disco con orificio
(C)	Muestra (10 g o 50 g)
(D)	Quemador Teclu
(E)	Recipiente a presión con un diámetro interior de 50 mm y una altura interior de 94,5 mm

Figura 25.4.2.1: PRUEBA DEL RECIPIENTE A PRESIÓN (PAÍSES BAJOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Diafragma de seguridad
(B) Disco con orificio
(C) Muestra

Figura 25.4.2.2: DIAFRAGMA DE SEGURIDAD

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

25.4.3 *Prueba E.3: Prueba del recipiente a presión (Estados Unidos)*

25.4.3.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para medir la sensibilidad de las sustancias a los efectos de un calor intenso en un espacio definido. Puede emplearse, en conjunción con una prueba complementaria de calentamiento en un espacio limitado, para contestar a las preguntas formuladas en las casillas 7, 8, 9 y 13 de la figura 20.1.

25.4.3.2 *Aparatos y materiales*

Se utilizan los aparatos y materiales siguientes :

a) Recipiente a presión, cilíndrico, de acero inoxidable 316 (véase la figura 25.4.3.1)

b) Soporte del recipiente a presión (véase la figura 25.4.3.2)

c) Calentador eléctrico (por ejemplo: 700 W)

d) Portamuestra: vaso de aluminio de 28 × 30 mm

e) Diafragmas de seguridad, de aluminio, de 38 mm, verificados para presiones de 620 ± 50 kPa a 22 °C

f) Discos de 2 mm de espesor con orificios de los diámetros siguientes (mm): 1,0, 1,2, 2,0, 3,0, 3,5, 5,0, 6,0, 8,0, 9,0, 12,0, 16,0 y 24,0.

25.4.3.3 *Procedimiento*

25.4.3.3.1 En la figura 25.4.3.1 se representa el conjunto del aparato. El régimen de calentamiento ha de comprobarse calentando 5,0 g de ftalato de dibutilo dentro de un vaso portamuestra introducido en el recipiente a presión y observando la temperatura alcanzada por el ftalato de dibutilo. Se anota el tiempo que tarda la temperatura de este producto en subir de 50ºC a 200ºC y se calcula el régimen de calentamiento. Éste ha de ser 0,5 ± 0,1 K/s. Se selecciona y aloja en la abertura lateral del recipiente un disco cuyo orificio central tenga un diámetro mayor que el que se supone necesario para provocar el estallido del diafragma.

25.4.3.3.2 Se pesan con precisión 5,0 g de la sustancia objeto de la prueba, se deposita esa muestra en un vaso de aluminio, y se introduce éste, con auxilio de unas pinzas, en el centro del recipiente a presión. Se monta el diafragma de seguridad apretándolo fuertemente con los pernos de la brida. Para mantenerlo a una temperatura relativamente baja, se vierte agua sobre el diafragma. El dispositivo calentador se conecta, a la potencia debida, por lo menos 30 minutos antes del comienzo de la prueba. El recipiente a presión se monta en su soporte, encima del dispositivo calentador. El soporte, constituido por una chapa, no sólo sirve para impedir que se caiga el recipiente, sino también para resguardar la placa calentadora de los vapores de escape. Se anota el tiempo de descomposición.

25.4.3.3.3 Si no estalla el diafragma, se repite el ensayo con orificios de diámetro menor hasta que se produzca el estallido. En caso de que estalle el diafragma, se repite el experimento con el diámetro inmediatamente superior hasta averiguar el diámetro con el que no se produce ningún estallido en tres ensayos sucesivos.

25.4.3.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

25.4.3.4.1 Se denomina "número USA-PVT" el diámetro mínimo del orificio con el que no se produce el estallido del diafragma durante la descomposición. Dicho número sirve de medida de la reacción de una sustancia al calentamiento en un espacio limitado. La clasificación de todas las sustancias con arreglo al número USA-PTV obedece siempre a unas mismas condiciones de ensayo, régimen de calentamiento inclusive.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

25.4.3.4.2 La forma en que reacciona la sustancia al calentamiento en un espacio limitado se califica según los criterios siguientes:

"Violentamente": - sustancias con número USA-PVT de 9,0 a 24,0

"Moderadamente": - sustancias con número USA-PVT de 3,5 a 8,0

"Débilmente": - sustancias con número USA-PVT de 1,2 a 3,0

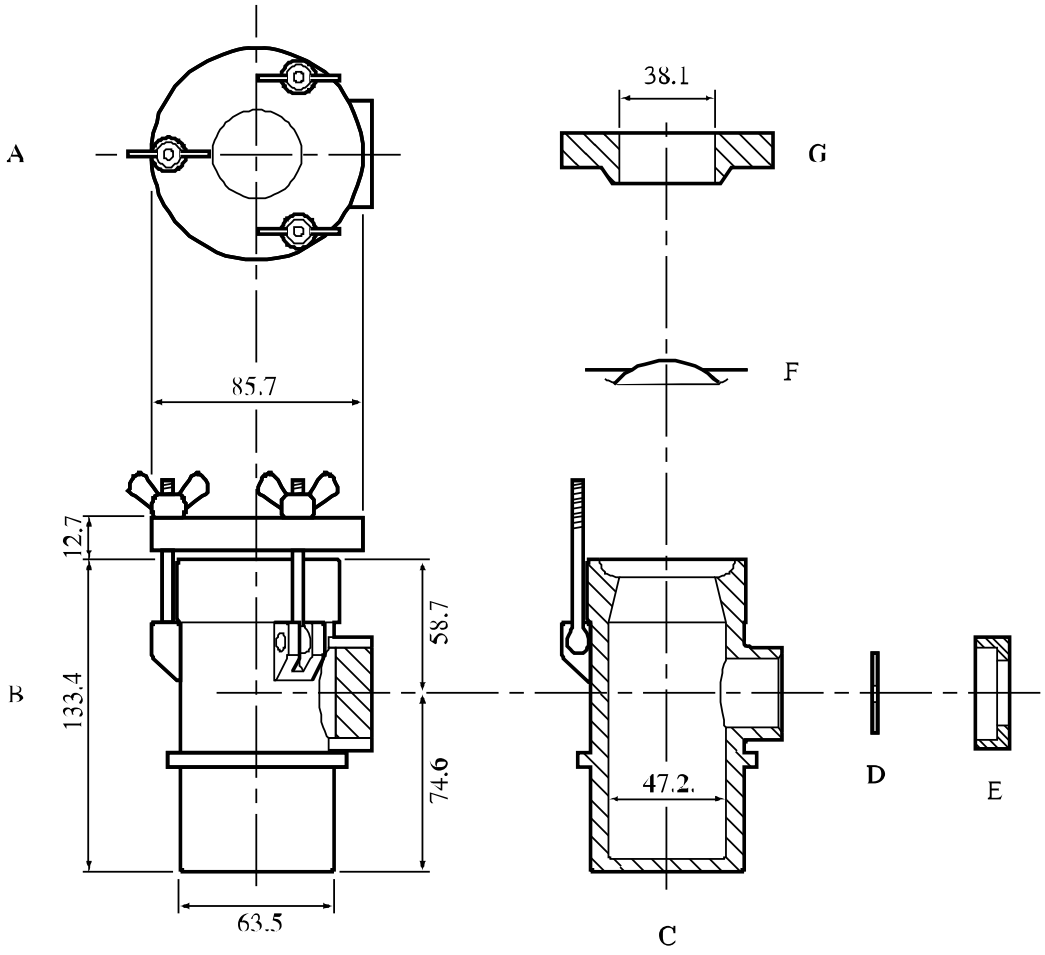
"No reacciona": - sustancias con número USA-PVT 1,0

25.4.3.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancias	**Número USA-PVT**	**Resultado**
Carbonato de terc-butilperoxiisopropilo, 75% en solución	2,0	Débilmente
2,5-Dimetil-2,5-di-(terc-butilperoxi)hexino-3	9,0	Violentamente
Hidroperóxido de cumilo, 85% en cumeno	1,0	No reacciona
Hidroperóxido de terc-butilo, 70% en agua	1,0	No reacciona
Peroxiacetato de terc-butilo, 75% en solución	8,0	Moderadamente
Peroxibenzoato de terc-butilo	8,0	Moderadamente
Peróxido de dibenzoilo	18,0[a]	Violentamente
Peróxido de dicumilo	2,0	Débilmente
Peróxido de dicumilo, con 60% de sólido inerte	1,0	No reacciona
Peróxido de dilauroilo	6,0	Moderadamente
Peróxido de di-terc-butilo	1,0	No reacciona
Peroxipivalato de terc-butilo, 75% en solución	4,5[a]	Moderadamente

[a] *Se han dejado de utilizar los diámetros intermedios.*

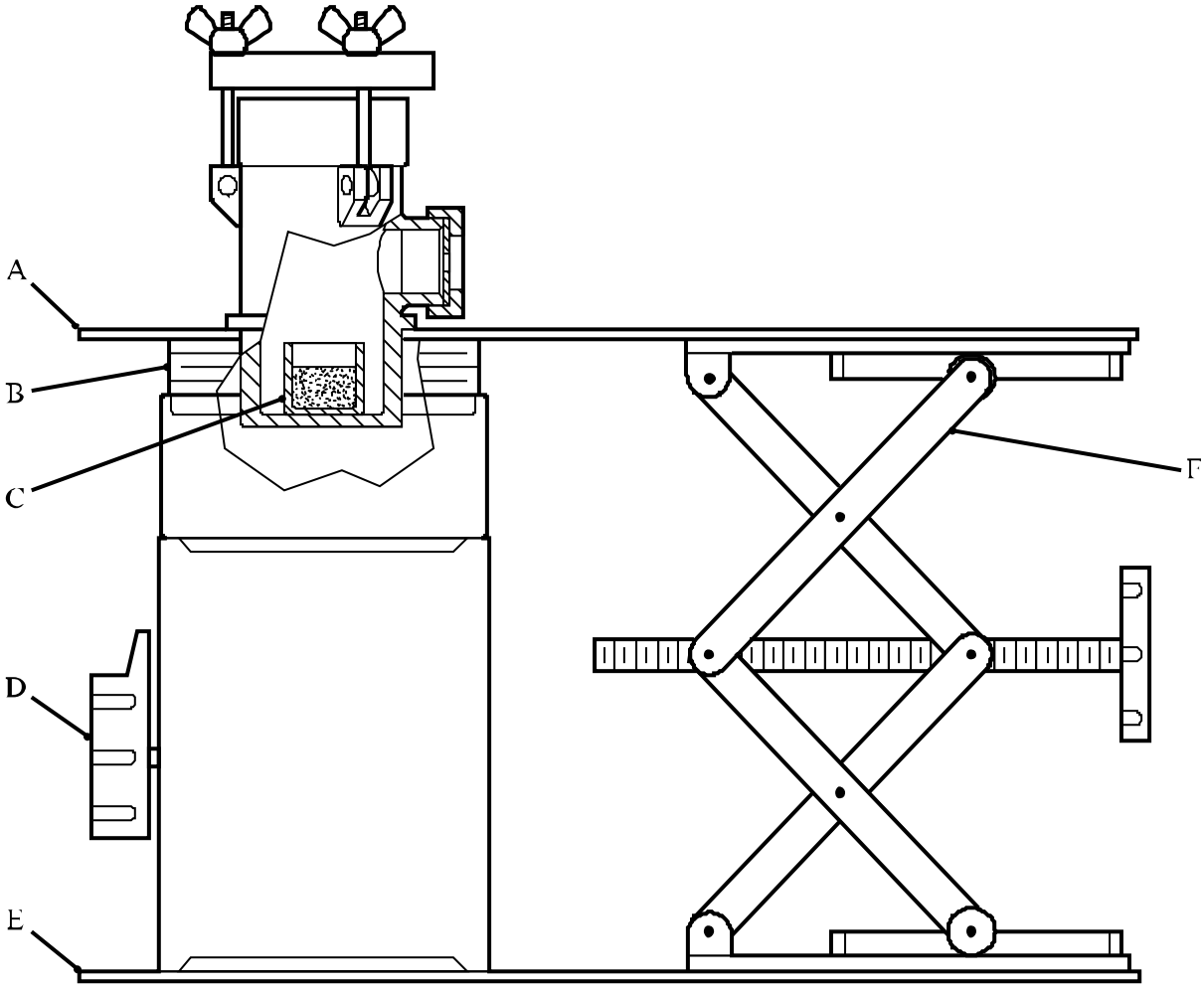
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Vista superior de la tapa
(B) Vista lateral del dispositivo
(C) Cuerpo del recipiente a presión
(D) Disco con orificio
(E) Tuerca de fijación del disco
(F) Diafragma de seguridad
(G) Tapa

Figura 25.4.3.1: PRUEBA DEL RECIPIENTE A PRESIÓN (ESTADOS UNIDOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Placa protectora
(B)	Aislamiento térmico
(C)	Vaso portamuestra
(D)	Dispositivo calentador eléctrico
(E)	Placa de asiento
(F)	Gato de laboratorio

Figura 25.4.3.2: APARATO DE ENSAYO Y SOPORTE (VISTA LATERAL)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 26

SERIE DE PRUEBAS F

26.1 Introducción

26.1.1 La serie de pruebas F comprende ensayos de laboratorio y criterios relativos a la potencia explosiva de las sustancias con arreglo a lo dispuesto en la casilla 12 de la figura 20.1. Se aplica a aquellas sustancias respecto de las cuales se está estudiando el transporte en recipientes intermedios para graneles (RIG) o en contenedores cisterna, o la exención del cumplimiento de las disposiciones aplicables a las sustancias de reacción espontánea de la división 4.1 o a los peróxidos orgánicos de la división 5.2 (véase la casilla 11 de la figura 20.1). Las sustancias que no se proyecta transportar en esos recipientes ni incluir en dichas divisiones podrán ser asignadas al tipo E, sin necesidad de efectuar más pruebas.

26.1.2 Todas estas pruebas (excepto la prueba F.5) pueden utilizarse también con aquellas sustancias que están siendo investigadas en razón de su capacidad para propagar una detonación (véase la figura 21.2.2).

26.2 Métodos de prueba

A la pregunta "¿Qué potencia explosiva tiene?" (casilla 12 de la figura 20.1) se responde en función de los resultados de uno de los métodos de prueba del cuadro 26.1.

Cuadro 26.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE F

Código	Nombre de la prueba	Sección
F.1	Prueba del mortero balístico Mk. IIId	26.4.1
F.2	Prueba del mortero balístico	26.4.2
F.3	Prueba Trauzl (BAM)[a]	26.4.3
F.4	Prueba Trauzl modificada	26.4.4
F.5	Prueba del autoclave de alta presión	26.4.5

[a] *Prueba recomendada*.

26.3 Condiciones de las pruebas

26.3.1 ***Antes de efectuar estas pruebas, se deben realizar pruebas preliminares con pequeñas cantidades (véase la sección 20.3).***

26.3.2 Los resultados obtenidos en las pruebas F.1 a F.4 dependen de la sensibilidad de la sustancia a un impacto detonante y de la potencia del detonador empleado. Si los resultados son muy inferiores a los obtenidos con sustancias comparables, puede utilizarse un dispositivo de iniciación más potente, que debe adaptarse convenientemente a los criterios de prueba (por ejemplo, utilizando muestras inertes).

26.3.3 Las pruebas se han de efectuar a temperatura ambiente. No obstante, si la temperatura de control es inferior a la temperatura ambiente, deben adoptarse las medidas de seguridad pertinentes. Si una sustancia se transporta en estado sólido a la temperatura de control, pero es en realidad un líquido a temperatura ambiente, la prueba debe efectuarse justo por debajo de la temperatura de fusión.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4 Serie F: Disposiciones relativas a las pruebas

26.4.1 *Prueba F.1: Prueba del mortero balístico Mk.IIID*

26.4.1.1 *Introducción*

Esta prueba está destinada a medir la potencia explosiva de una sustancia. Se trata de activar la muestra de ensayo, alojada en el interior del mortero, con un detonador introducido en ella. Se mide el movimiento de retroceso del mortero y, previa deducción del efecto ejercido por el detonador, se calcula la potencia expresándola en su equivalencia porcentual respecto del ácido pícrico, que es el explosivo de referencia. Puede emplearse esta prueba para contestar a la pregunta formulada en la casilla 12 de la figura 20.1.

26.4.1.2 *Aparatos y materiales*

26.4.1.2.1 Consiste el mortero en un tubo de acero de 457 mm de longitud y 203 mm de diámetro exterior, cerrado en uno de sus extremos y abocardado en el otro, y cuya ánima tiene 229 mm de longitud y 25 mm de luz. Se coloca suspendido por 4 cables de acero inoxidable, que van fijos a uno y otro extremo mediante manguitos roscados y pivotes, de manera que el mortero puede oscilar libremente. El peso total es de aproximadamente 113,2 kg y la longitud de suspensión de 2.080 mm. En simultaneidad con la oscilación del mortero, un estilo o punzón sujeto al extremo de un brazo articulado que pende del propio mortero traza sobre un tablero horizontal una línea de longitud equivalente al desplazamiento de aquél. El mortero consta de dos partes: una vaina exterior de acero dulce y un cilindro interior de acero Vibrac V30, tratado térmicamente para obtener un límite de elasticidad de 772 MPa. Este cilindro se mantiene fijo en su posición mediante una chapa anular de retención (figura 26.4.1.1).

26.4.1.2.2 Como material de relleno se utiliza arena de cuarzo, limpia y seca, cribada en su totalidad con malla de 600 micras, y que no pase la malla de 250 micras, en ambos casos según la norma británica. El ácido pícrico se utiliza en su estado puro, en forma de cristales secos cribados en iguales condiciones que la arena. El ácido bórico (calidad para análisis) se criba en su totalidad con tamiz de 500 micras (norma británica). Los dos saquetes de papel delgado en que -enfundado uno en el otro- se aloja la muestra de ensayo tienen forma de cilindro de 25 mm de diámetro. El saquete interior tiene 90 mm de longitud, y el exterior, 200 mm.

26.4.1.2.3 El detonador indicado para esta prueba es de fondo plano, con vaina de aluminio, y contiene 0,6 g de pentrita.

26.4.1.3 *Procedimiento*

26.4.1.3.1 Normalmente, la sustancia en cuestión se somete a ensayos de sensibilidad al choque, a la fricción y a la chispa eléctrica, antes de efectuar la prueba del mortero. Se introduce y ataca en el saquete de 90 mm una muestra de 10 ± 0,01 g de la sustancia. El detonador se introduce en una cavidad de 6 mm abierta en la muestra con una varilla de bronce fosforoso, y se enrosca en torno a él el cuello del saquete. Seguidamente, se introduce el primer saquete, con la muestra y el detonador, en el segundo, embutiéndolo hasta el fondo de éste con una herramienta especial. En el segundo saquete se introducen también 57 g de arena tamizada, que se compacta golpeando suavemente. El cuello del saquete exterior se enrosca en torno a los hilos del detonador, y se aloja en el ánima del mortero el conjunto así formado, que se ataca con una herramienta especial. Se activa el detonador, y se mide el movimiento horizontal de retroceso (S) del mortero. Se efectúan tres ensayos y se calcula el retroceso medio (S_m) de la sustancia.

26.4.1.3.2 En el caso de los líquidos, la prueba se efectúa con un recipiente cilíndrico de vidrio[1], de aproximadamente 16 ml de capacidad, en vez del saquete de papel. Por su extremo abierto adopta la forma

[1] *Con las sustancias explosivas potentes, el empleo de recipientes de vidrio puede causar el deterioro del ánima del mortero. En los ensayos con ácido pícrico, tales recipientes ocasionaron un fuerte desgaste de aquélla, pero se obtuvieron los mismos resultados que con los saquetes de papel.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

de un estrecho tubo de 8 mm de diámetro y de longitud. El detonador normalizado, que va provisto de una vaina de polietileno de longitud apropiada, obtura sin huelgo el cuello del recipiente. Este se introduce, seguidamente, en lo que, al igual que con los sólidos, es el saquete exterior.

26.4.1.3.3 Los respectivos valores de referencia del ácido pícrico y del detonador que se hayan determinado con saquetes de papel pueden aplicarse al cálculo del equivalente de potencia explosiva de los líquidos ensayados en recipientes de vidrio.

26.4.1.3.4 Al introducir en la vaina exterior del mortero un cilindro interior nuevo, se obtienen los valores del retroceso medio (con una media de 10 ensayos), correspondiente al ácido bórico (B_m) y al ácido pícrico (P_m).

26.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

26.4.1.4.1 Para calcular la potencia explosiva (P) se utiliza la ecuación

$$P = 100 \times \left(\frac{S_m{}^2 - B_m{}^2}{P_m{}^2 - B_m{}^2} \right)$$

y se expresa en porcentaje (redondeado al número entero más próximo) del valor correspondiente al ácido pícrico.

26.4.1.4.2 Los criterios de evaluación son los siguientes:

"Considerable": - Potencia explosiva equivalente al 7,0 %, o más, de la del ácido pícrico.

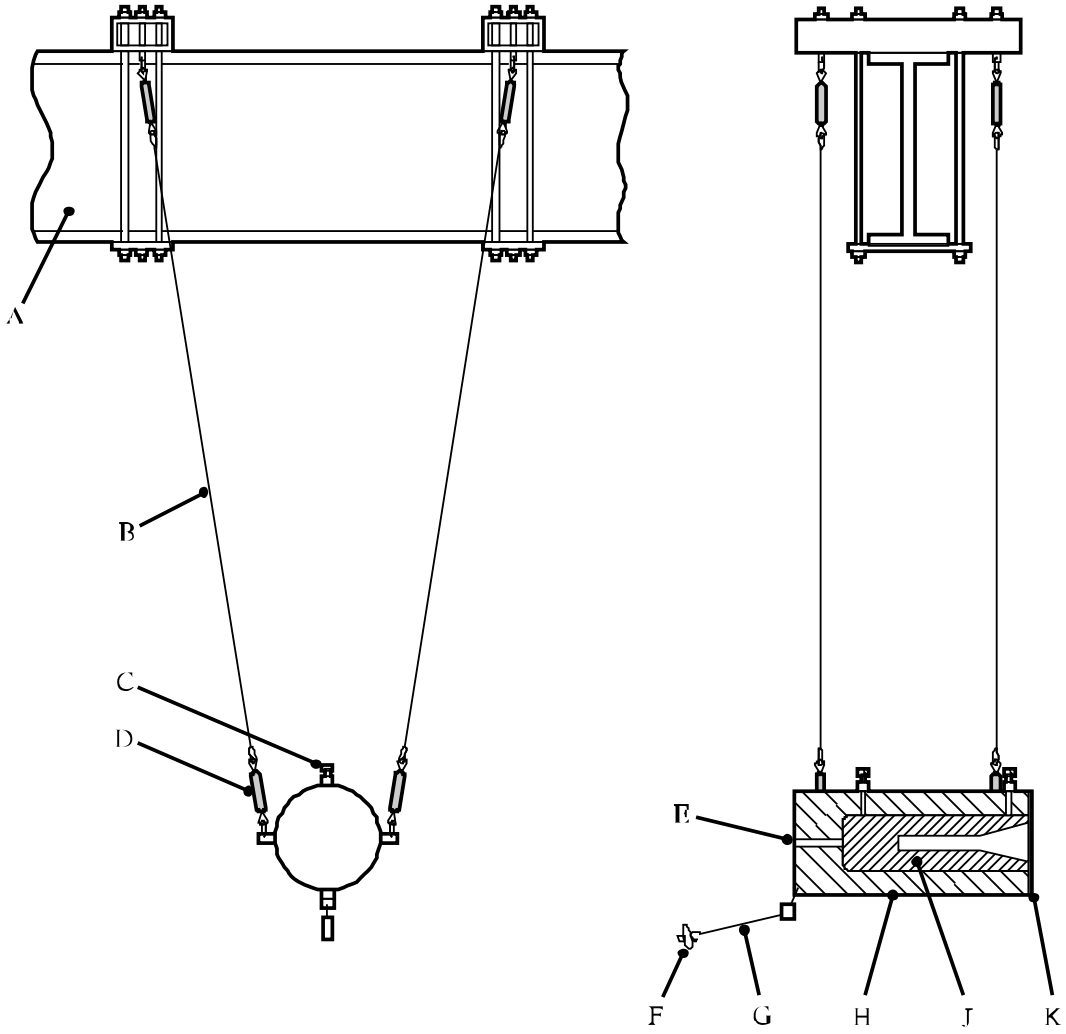
"Baja": - Potencia explosiva equivalente a menos del 7,0 %, pero más del 1,0 %, de la del ácido pícrico.

"Nula": - Potencia explosiva equivalente al 1,0 % o menos, de la del ácido pícrico.

26.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Porcentaje medio respecto del ácido pícrico**	**Resultado**
2,5-Dimetil-2,5-di-(terc-butilperoxi) hexino-3	17	Considerable
Hidroperóxido de cumilo, 80% en cumeno	4	Baja
Hidroperóxido de terc-butilo, 70% en agua	2	Baja
Monoperoxiftalato de magnesio, hexahidrato, 85% con sulfato de magnesio	1	Nula
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	8	Considerable
Peroxibenzoato de terc-butilo	13	Considerable
Peroxidicarbonato de dicetilo	1	Nula
Peróxido de dibenzoilo	8	Considerable
Peróxido de dibenzoilo, 75% en agua	6	Baja
Peróxido de dicumilo, con el 60% de un sólido inerte	1	Nula
Peróxido de dilauroilo	1	Nula
Peróxido de di-terc-butilo	8	Considerable

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Viga de suspensión	(B)	Cable de suspensión
(C)	Tornillos de fijación del tubo	(D)	Manguito roscado
(E)	Orificio auxiliar para extracción del tubo	(F)	Manguito del punzón
(G)	Brazo articulado, con punzón trazador	(H)	Vaina del mortero
(J)	Tubo interior o ánima	(K)	Chapa anular de retención

Figura 26.4.1.1: MORTERO BALÍSTICO MK.IIID

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.2 *Prueba F.2 Prueba del mortero balístico*

26.4.2.1 *Introducción*

Esta prueba está destinada a medir la potencia explosiva de una sustancia. Se trata de activar la muestra alojada en el interior del mortero por medio de un proyectil de acero, con un detonador introducido en ella. Se mide el movimiento de retroceso del mortero y se calcula la potencia expresándola en su equivalencia porcentual respecto del ácido pícrico, que es el explosivo de referencia. Puede emplearse esta prueba para contestar a la pregunta formulada en la casilla 12 de la figura 20.1.

26.4.2.2 *Aparatos y materiales*

26.4.2.2.1 Mortero

El mortero, de acero al cromoníquel, tiene una masa de 248,50 ± 0,25 kg. Es cilíndrico, y la cavidad axial comprende, de delante hacia atrás, el alojamiento del proyectil, la cámara de combustión y un orificio de paso para los hilos conductores del detonador. Tras sucesivos ensayos, las dimensiones del mortero se modifican (en particular, la cámara de combustión se ensancha), de suerte que una determinada muestra produce un retroceso de amplitud disminuida. Como sustancia de referencia (véase el párrafo 26.4.2.2.7) se utilizan 10,00 g de ácido pícrico. El mortero usado se sustituye por uno nuevo cuando la media de energía registrada en los 10 últimos ensayos sea inferior al 90% de la media obtenida en los 10 primeros (con temperaturas similares y proyectil en buen estado).

26.4.2.2.2 Péndulo balístico

El mortero se suspende, por medio de unas varillas de acero, de un eje horizontal montado sobre cojinetes de rodillos. Así montado, el mortero se transforma en péndulo balístico añadiéndole una pesa de acero por su parte inferior. En la figura 26.4.2.1 se representa en esquema el mortero-péndulo balístico, cuyas características principales son las siguientes:

Período de oscilación	3,47 s
Masa oscilante	479 kg
Distancia entre el eje de rotación y el del mortero	2,99 m

El retroceso se mide mediante un índice móvil que, impulsado por una barra lateral unida al mortero, se desplaza sobre el sector graduado. La escala trazada en el sector es proporcional a (1 - cos A), siendo A el ángulo de retroceso del péndulo, esto es, es proporcional al trabajo realizado.

26.4.2.2.3 Proyectil

El proyectil es un cilindro de acero cuyas dimensiones (127 mm de diámetro y 162 mm de longitud) se adaptan, en la práctica, de manera que se cumplan las condiciones siguientes:

a) El huelgo entre el proyectil nuevo y su alojamiento en el interior del mortero debe ser de menos de 0,1 mm.

b) El proyectil nuevo debe tener una masa de 16,00 ± 0,01 kg.

El proyectil usado debe sustituirse cuando el huelgo entre él y su alojamiento en el mortero exceda de 0,25 mm. Normalmente, una vez que se ha dado fuego a la muestra de ensayo, el proyectil sale expulsado a una velocidad de entre 100 y 200 km/h. Es posible detenerlo sin que sufra daños mediante un receptáculo forrado de un material amortiguador.

26.4.2.2.4 Recipientes portamuestras

En los ensayos con líquidos, la muestra se introduce en una ampolla de vidrio de 16 g de masa, con un orificio de llenado y un hueco a propósito para alojar el detonador (véase la figura 26.4.2.3). Las

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

demás sustancias (sólidas, granulares, pastas, etc.) se alojan en receptáculos cilíndricos de papel de estaño, de 20 mm de diámetro, 0,03 mm de espesor y 2 g de masa. Es lo que se emplea, por ejemplo, en el caso de las cargas de ácido pícrico.

26.4.2.2.5 Soportes

Para centrar la carga en la cámara de combustión (a fin de reducir el desgaste del mortero), se emplea un soporte de alambre de acero constituido por un anillo con tres pies (véase la figura 26.4.2.2).

26.4.2.2.6 Detonadores

Se emplean detonadores adaptados a la norma europea, provistos de una carga de 0,6 g de pentrita, que se describen en el apéndice 1.

26.4.2.2.7 Ácido pícrico (sustancia de referencia)

Se trata de ácido pícrico en estado puro, triturado, en grano de tamaño inferior a 0,5 mm, secado a 100ºC y conservado en un frasco de tapón hermético.

26.4.2.3 *Procedimiento*

26.4.2.3.1 Preparación de la carga de ensayo

26.4.2.3.1.1 Los sólidos compactos han de ensayarse en forma de bloques cilíndricos de 10,0 ± 0,1 g de masa y 20 mm ± 1 mm de diámetro, con una cavidad axial (de 7,3 ± 0,2 mm de diámetro y 12 mm de fondo) en uno de sus extremos, que sirva de alojamiento al detonador. La muestra se envuelve en papel de estaño de 0,03 mm de espesor y de aproximadamente 2 g de masa. El extremo de este papel se enrolla en torno a la cabeza del detonador, una vez colocado éste en su alojamiento (véase la figura 26.4.2.3).

26.4.2.3.1.2 Salvo por lo que se refiere a los líquidos, cada carga de ensayo de 10,0 ± 0,1 g de masa se empaqueta a densidad normal en una envoltura de papel de estaño. El detonador se introduce en la sustancia hasta una profundidad de aproximadamente 12 mm. El extremo de la envoltura se enrolla en torno a la cabeza del detonador (véase la figura 26.4.2.3).

26.4.2.3.1.3 Por lo que se refiere a los líquidos, se aloja en una ampolla de vidrio una carga de 10,0 ± 0,1 g de la sustancia objeto de la prueba. El detonador se coloca en el alojamiento previsto, inmovilizándolo, si es necesario, con un alambre (en ningún caso, material combustible).

26.4.2.3.1.4 Las cargas de ácido pícrico, de 10,0 ± 0,1 g, y con densidad normal, se envuelven también en papel de estaño. El detonador se introduce en la sustancia hasta una profundidad de aproximadamente 12 mm. El extremo de la envoltura se enrolla en torno a la cabeza del detonador.

26.4.2.3.2 Ensayo preliminar

26.4.2.3.2.1 La carga, colocada en un soporte (véase el párrafo 26.4.2.2.5), se empuja hacia el interior de la cámara de combustión, de manera que la cabeza del detonador quede en contacto con la cara posterior de ésta (véase la figura 26.4.2.3).

26.4.2.3.2.2 El proyectil se engrasa con un lubricante consistente, y se introduce en el mortero empujándolo hasta el fondo de su alojamiento. Para evitar toda dispersión de los resultados, ocasionada por una posible deformación del mortero o del proyectil, se comprueba y anota la posición de éste con respecto a su alojamiento.

26.4.2.3.2.3 El índice móvil (véase el párrafo 26.4.2.2.2) se coloca en contacto con la barra lateral, con el fin de medir el retroceso del péndulo. Se anota, tras el ensayo, la desviación (D) experimentada por el péndulo, es decir, el valor correspondiente al punto del sector graduado en que se detenga el índice móvil al término del retroceso.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.2.3.2.4 Seguidamente, se limpian detenidamente el proyectil y su alojamiento en el mortero.

26.4.2.4 *Procedimiento*

26.4.2.4.1 Se efectúan primeramente cuatro ensayos con ácido pícrico, y se calcula el promedio de las cuatro desviaciones registradas. Ese promedio ha de tener un valor en torno a 100 en la unidad arbitraria de potencia que se haya adoptado para la escala del sector en que se mida el retroceso del péndulo. Los resultados de los cuatro ensayos no deben diferir entre sí en más de una unidad, y si tal es el caso, el valor D_o será el promedio de las cuatro desviaciones medidas. Si uno de los resultados difiere del promedio en más de una unidad, se lo desestima, y el valor D_o es el promedio de los otros tres resultados.

26.4.2.4.2 Se anota la temperatura ambiente.

26.4.2.4.3 Seguidamente, se procede con la sustancia objeto de la prueba, efectuándose al menos tres ensayos, siendo la desviación registrada, respectivamente, D1, D2, D3, etc. La potencia correspondiente, expresada en porcentaje de la del ácido pícrico, se calcula según la ecuación siguiente:

$T_k = 100 \times D_k/D_o$, siendo k = 1, 2, 3, ...,

o, para los líquidos ensayados en ampollas de vidrio:

$T_k = 200 \times D_k/D_o$, siendo k = 1, 2, 3, ...

26.4.2.4.4 A continuación se calcula el valor medio de T_k. El resultado, redondeado al número entero más próximo, se denomina "potencia en el mortero balístico" (PMB) de la sustancia.

NOTA: *Cuando se trate de someter a prueba varias sustancias sucesivamente en una misma media jornada, durante ésta se efectúa una sola serie de cuatro ensayos con el ácido pícrico*.

26.4.2.5 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

26.4.2.5.1 Las conclusiones derivadas de la prueba se presentan en detalle expresando los resultados correspondientes a T_1, T_2, T_3,... y el valor de la PMB y la temperatura ambiente. En extracto, sólo se hace referencia al valor de la PMB.

26.4.2.5.2 Los criterios de evaluación son los siguientes:

"Considerable": - PMB de valor equivalente a 7 o más.

"Baja": - PMB de valor inferior a 7 pero superior a 1.

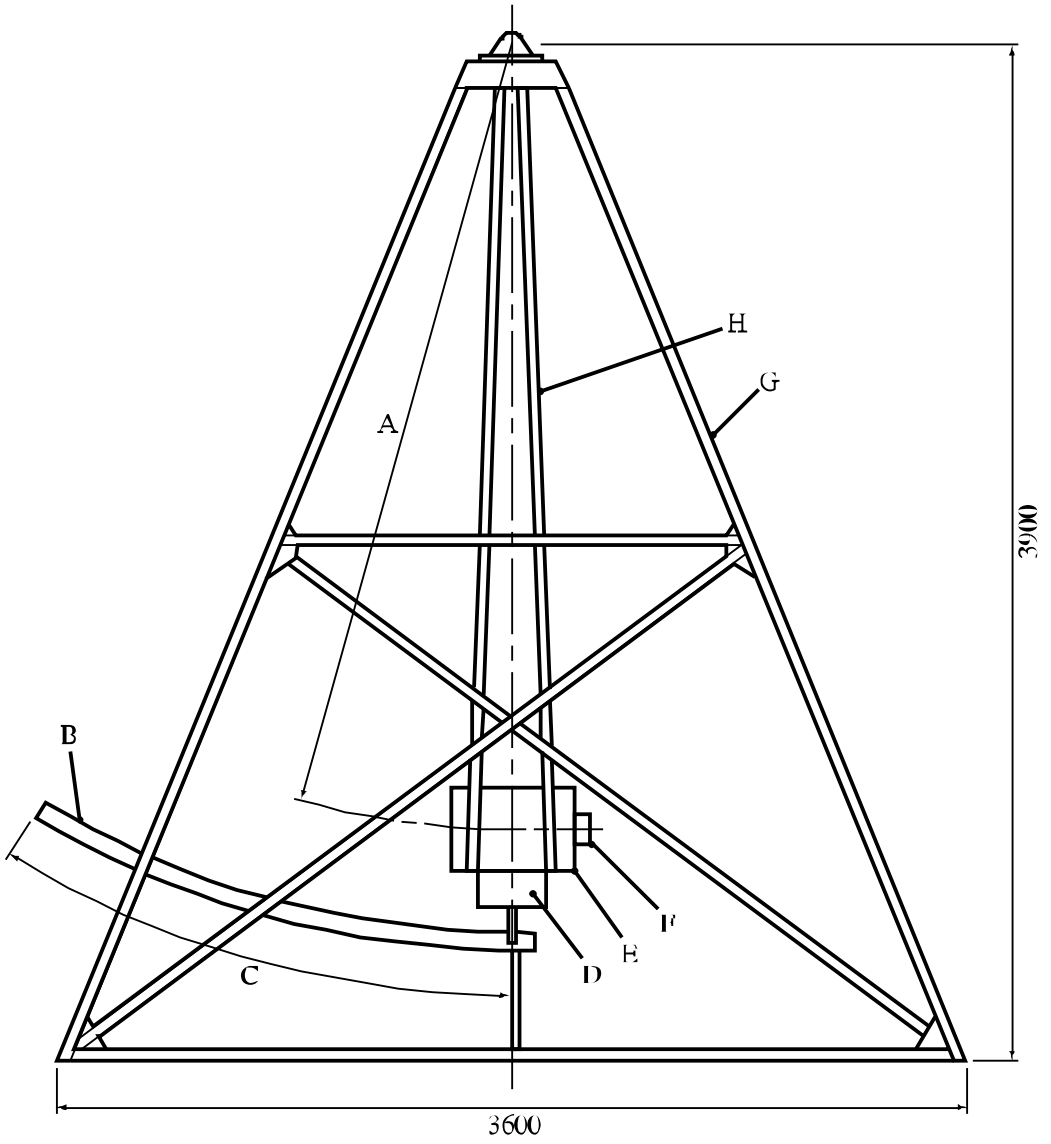
"Nula": - PMB de valor equivalente a 1 o menos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.2.6 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Potencia en el mortero balístico**	**Resultado**
Ácido peroxiacético, 36%, en mezcla con 19% de agua, 36% de ácido acético y 6% de peróxido de hidrógeno, con estabilizador	27	Considerable
2,2´-Azodiisobutironitrilo	13	Considerable
Hidroperóxido de p-mentilo, 55% en p-metano	3	Baja
Hidroperóxido de pinanilo, 54% en pinano	2	Baja
Peroxibenzoato de terc-butilo	16	Considerable
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	7	Considerable
Peróxido de dibenzoílo	16	Considerable
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	8	Considerable
Peróxido de di-terc-butilo	7	Considerable
Peróxido de dilauroílo	5	Baja
Ácido pícrico	100	
Arena	1	
Trinitrotolueno	95	

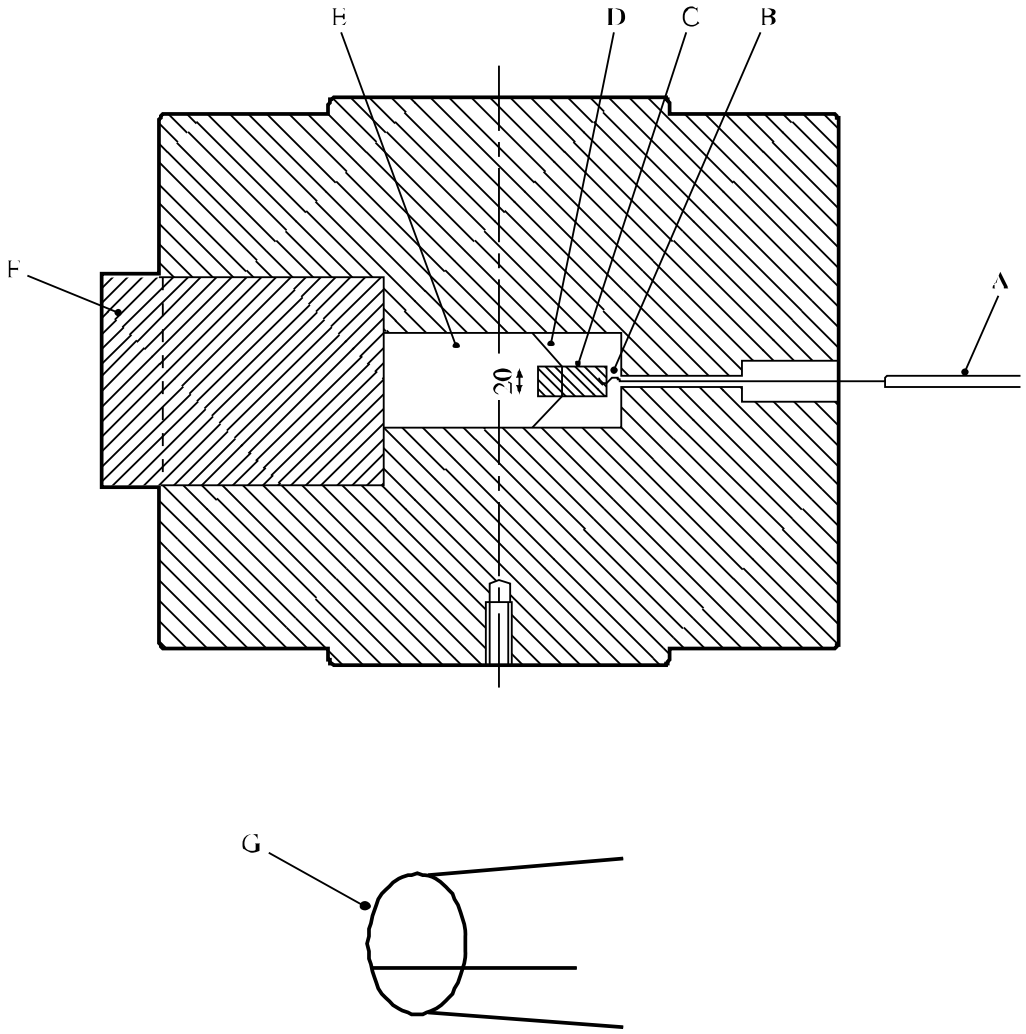
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Distancia entre ejes: 2.905 mm
(B) Sector graduado
(C) Angulo de desviación: 30°
(D) Pesa
(E) Mortero
(F) Proyectil
(G) Armazón
(H) Varilla oscilante

Figura 26.4.2.1: PRUEBA DEL MORTERO BALÍSTICO

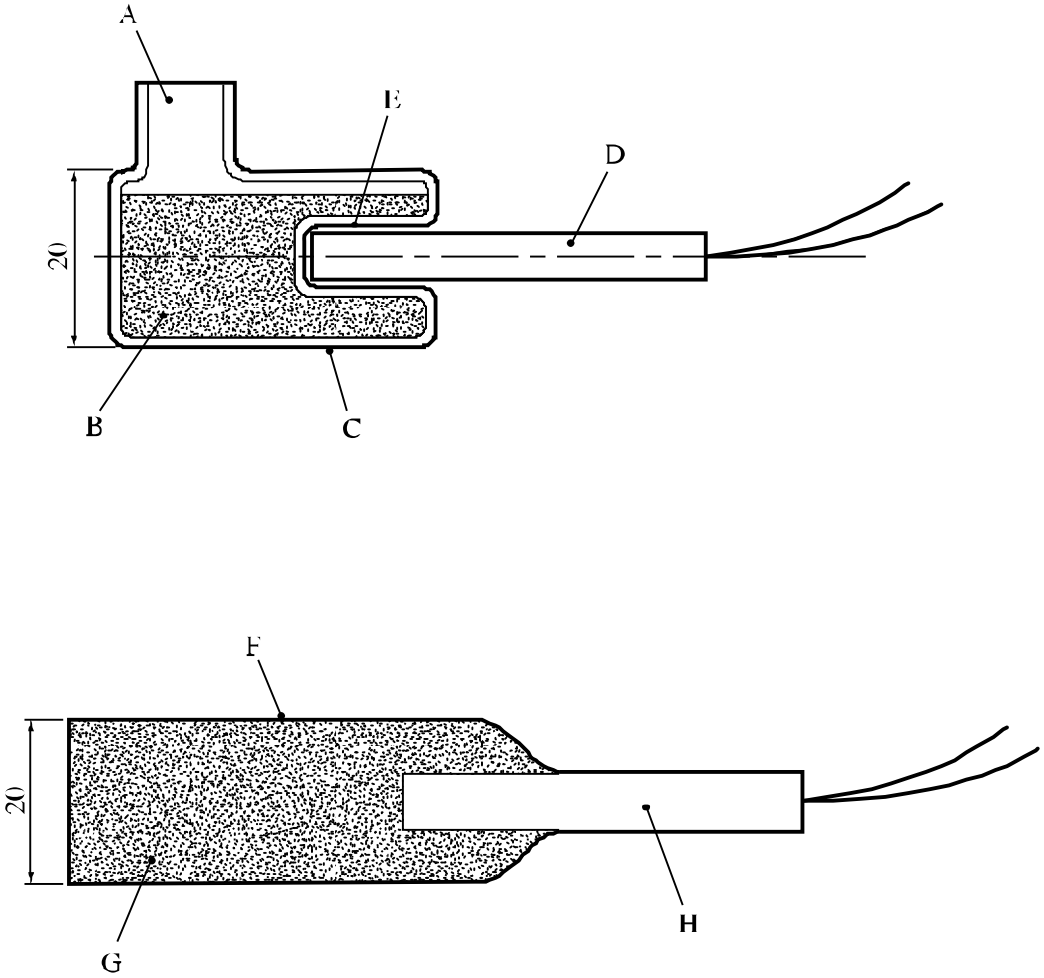
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Al inflamador
(B)	Detonador
(C)	Carga de ensayo de 20 mm de diámetro
(D)	Soporte de la carga de ensayo
(E)	Cámara de combustión
(F)	Proyectil
(G)	Vista ampliada del soporte de la carga de ensayo

Figura 26.4.2.2:
MORTERO (ARRIBA) Y SOPORTE DE LA CARGA DE ENSAYO (ABAJO)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Orificio de llenado
(B)	Carga de ensayo de 20 mm de diámetro con 10 g de sustancia
(C)	Ampolla de vidrio (16 g)
(D)	Detonador (0,6 g de pentrita)
(E)	Alojamiento del detonador
(F)	Envoltura de papel de estaño (2 g)
(G)	Carga de ensayo de 20 mm de diámetro con 10 g de sustancia
(H)	Detonador (0,6 g de pentrita)

Figura 26.4.2.3:
CARGA DE ENSAYO PARA LÍQUIDOS (ARRIBA) Y CARGA DE ENSAYO PARA OTRAS SUSTANCIAS (ABAJO)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.3 *Prueba F.3: Prueba Trauzl (BAM)*

26.4.3.1 *Introducción*

Esta prueba está destinada a medir la potencia explosiva de una sustancia. Se trata de activar la muestra de ensayo, alojada en el interior de un agujero practicado en un bloque de plomo, con un detonador introducido en ella. La potencia explosiva viene expresada en términos del aumento de la cavidad del bloque de plomo por cada 10 g de sustancia. Puede emplearse esta prueba para contestar a la pregunta formulada en la casilla 12 de la figura 20.1.

26.4.3.2 *Aparatos y materiales*

26.4.3.2.1 La sustancia se activa con un detonador ajustado a la norma europea, con 0,6 g de pentrita (véase el apéndice 1).

26.4.3.2.2 Se efectúa la prueba con bloques de plomo Trauzl normalizados de forma cilíndrica, de 200 mm de altura y de diámetro. Tienen una cavidad axial de 25 mm de diámetro y 125 mm de profundidad, y un volumen de 61 cm^3 (véase la figura 26.4.3.1). Son de plomo blando en estado puro, vaciado a una temperatura de 390 a 400ºC. Para comprobar la calidad de los bloques correspondientes a una serie de moldeo se efectúan tres explosiones de prueba, cada una de ellas con 10 cm^3 de ácido pícrico cristalizado (con una densidad de carga de 1,0 g/cm^3). La media de los tres valores de dilatación neta obtenidos habrá de estar situada entre 287 y 300 cm^3.

26.4.3.3 *Procedimiento*

26.4.3.3.1 En el caso de las sustancias sólidas, a la carga de ensayo se le da la forma de un cilindro de 10 cm^3 de volumen envolviéndola en una hoja de papel de estaño que se ha pesado previamente, y se determina la masa de la carga así constituida, que ha de tener 24,5 mm de diámetro exterior, 22,2 mm de altura, y una cavidad coaxial de 7 mm de diámetro y 12 mm de profundidad, en la que se aloja el detonador. La carga de ensayo se prepara en un aparato que consta de un pistón, una matriz de dos elementos, una mordaza y una pieza soporte (véase la figura 26.4.3.2). Para ello, se enrolla sobre el pistón una hoja trapezoidal de papel de estaño (de 0,01 mm de espesor, aproximadamente) y 55 mm de ancho. Así forrado, se introduce el pistón en la matriz, hasta el tope de la pieza soporte. Se inmoviliza la matriz con la mordaza, y se hace salir el pistón lentamente del tubo de papel de estaño, después de haberlo oprimido fuertemente contra la pieza soporte. Con el necesario cuidado, se agujerea el fondo de dicho tubo en el centro con una varilla delgada de madera. Por el lado de la mordaza, se introduce el detonador normalizado, con 0,6 g de pentrita, en la pieza soporte, de manera que, haciendo pasar sus hilos por el orificio existente en el tornillo de ajuste, venga a quedar en contacto con este último. El tornillo se ajusta de manera que el detonador sobresalga 12,0 mm de la pieza soporte. Se deposita en el tubo de papel de estaño la sustancia objeto de la prueba, comprimiéndola ligeramente con una varilla de madera. El resalto del papel de estaño se dobla hacia adentro, y el pistón se embute en la matriz, hasta el zuncho. Tras retirar el pistón, se saca con cuidado de la matriz la carga de ensayo así moldeada, envuelta en el papel de estaño y con el detonador alojado en ella.

26.4.3.3.2 Las sustancias líquidas se ensayan en recipientes de vidrio delgado, de similar forma cilíndrica, y de capacidad suficiente para alojar una muestra de 10 cm^3 y el detonador, que se introduce en el líquido hasta una profundidad de 12 mm, y que, dada la longitud del cuello del recipiente, se mantiene en posición central en el interior de este último. Una vez determinada la masa de la muestra, se embute cuidadosamente la carga de ensayo hasta el fondo de la cavidad existente en el bloque de plomo. Los bloques deben guardarse en una cámara con regulación de la temperatura, de manera que ésta, medida en el fondo de la cavidad inmediatamente antes de introducir la carga, se mantenga entre los 10 y los 20ºC. Para la prueba, el bloque de plomo debe descansar sobre un fuerte soporte plano de acero, colocado en el suelo. Para atracar la carga, el espacio que quede vacío en la cavidad se rellena con arena seca de cuarzo cribada en un tamiz de 144 mallas por cm^2 y con una densidad gravimétrica de 1,35 g/cm^3. Seguidamente se golpea tres veces el bloque de plomo por uno de sus lados con un martillo de 2 kg de masa, y se enrasa la arena.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.3.3.3 Se activa el detonador y se vacían los residuos que puedan haber quedado en la cavidad. Se mide el aumento del volumen de la cavidad con agua y se calcula la dilatación producida por una muestra de 10 g mediante la siguiente expresión:

$$10 \times \frac{\text{Volumen de la cavidad dilatada (cm}^3\text{)} - 61}{\text{Masa de la muestra (g)}}$$

26.4.3.3.4 Normalmente, se efectúan dos ensayos; para evaluar la muestra, se tiene en cuenta el mayor de los dos valores de dilatación obtenidos.

26.4.3.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

26.4.3.4.1 La potencia explosiva se expresa en función del aumento de la cavidad producida en el bloque de plomo por cada 10 g de sustancia. Con una potencia de activación dada, a mayor dilatación corresponde una mayor potencia explosiva.

26.4.3.4.2 Los criterios de evaluación son los siguientes:

"Considerable": - El bloque de plomo experimenta una dilatación de 25 cm^3, o más, por 10 g de sustancia.

"Baja": - El bloque de plomo experimenta una dilatación inferior a 25 cm^3, pero igual o superior a 10 cm^3, por 10 g de sustancia.

"Nula": - El bloque de plomo experimenta una dilatación de menos de 10 cm^3 por 10 g de sustancia.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

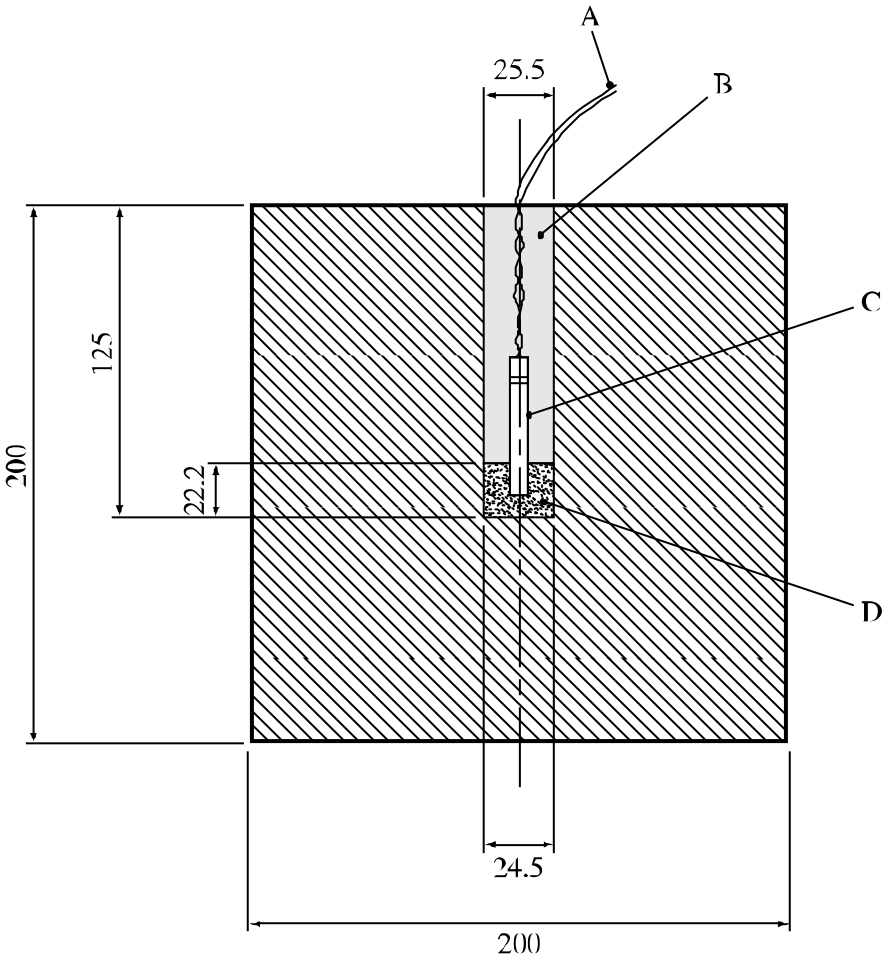
26.4.3.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Masa de la muestra (g)**	**Dilatación (cm^3/10 g)**	**Resultado**
Ácido 3-cloroperoxibenzoico, no más del 86% con ácido 3-cloro benzoico	7,1	42[a]	Considerable
Ácido diperoxiisoftálico	8,7	144	Considerable
Azodicarbonamida		9	Nula
2,2´-Azodi(isobutironitrilo)		26[a]	Considerable
Benceno-1,3-disulfohidrazida		50[a]	Considerable
Benceno-1,3-disulfohidrazida, 70% con aceitemineral		11[a]	Baja
terc-Butilperoxi-2-etilhexanoato	7,2	28[a]	Considerable
N,N´-Dinitrosopentametileno tetramina		147[a]	Considerable
N,N´-Dinitrosopentametileno tetramina, 80%, con 17% de sólido inorgánico y 3% de aceite mineral	10,2	7[b]	Nula
Hidroperóxido de cumilo, 84,1% con cumeno	9,3	10	Baja
4-Nitrosofenol	7,3	11	Baja
Peroxibenzoato de terc-butilo	9,1	32[a]	Considerable
Peroxidicarbonato de dicetilo	7,3	5[a]	Nula
Peroxidicarbonato de diisopropilo	7,8	78[a]	Considerable
Peroxidicarbonato de dimiristilo,	7,4	11	Baja
Peroxidicarbonato de dimiristilo, 42%, dispersión estable en agua	7,8	5[a]	Nula
Peróxido(s) de ciclohexanona	6,4	50[a]	Considerable
Peróxido de dibenzoílo	8,0	31[a]	Considerable
Peróxido de dibenzoílo, 75% con agua	8,0	21[a]	Baja
Peróxido de di-terc-butilo	7,2	28[a]	Considerable
Peróxido de dicumilo	6,9	12[a]	Baja
Peróxido de dilauroílo	8,0	11[a]	Baja
Sulfohidrazida de benceno	8,4	8	Nula
Ácido bórico		0	
Agua		6	
Ftalato de dimetilo		5	

[a] *Se empleó una muestra de 11 cm^3 y una cápsula detonante algo más fuerte, con tubo de cobre de 6,85 mm de diámetro exterior y 45 mm de longitud, de fondo plano, cuya carga explosiva estaba constituida por 0,5 g de pentrita con 10% de cera, 0,2 g de tetrilo y 0,5 g de fulminato de mercurio, comprimida a 400 bar*.

[b] *La activación con tres detonadores da un resultado de 123 cm^3/10 g ("considerable").*

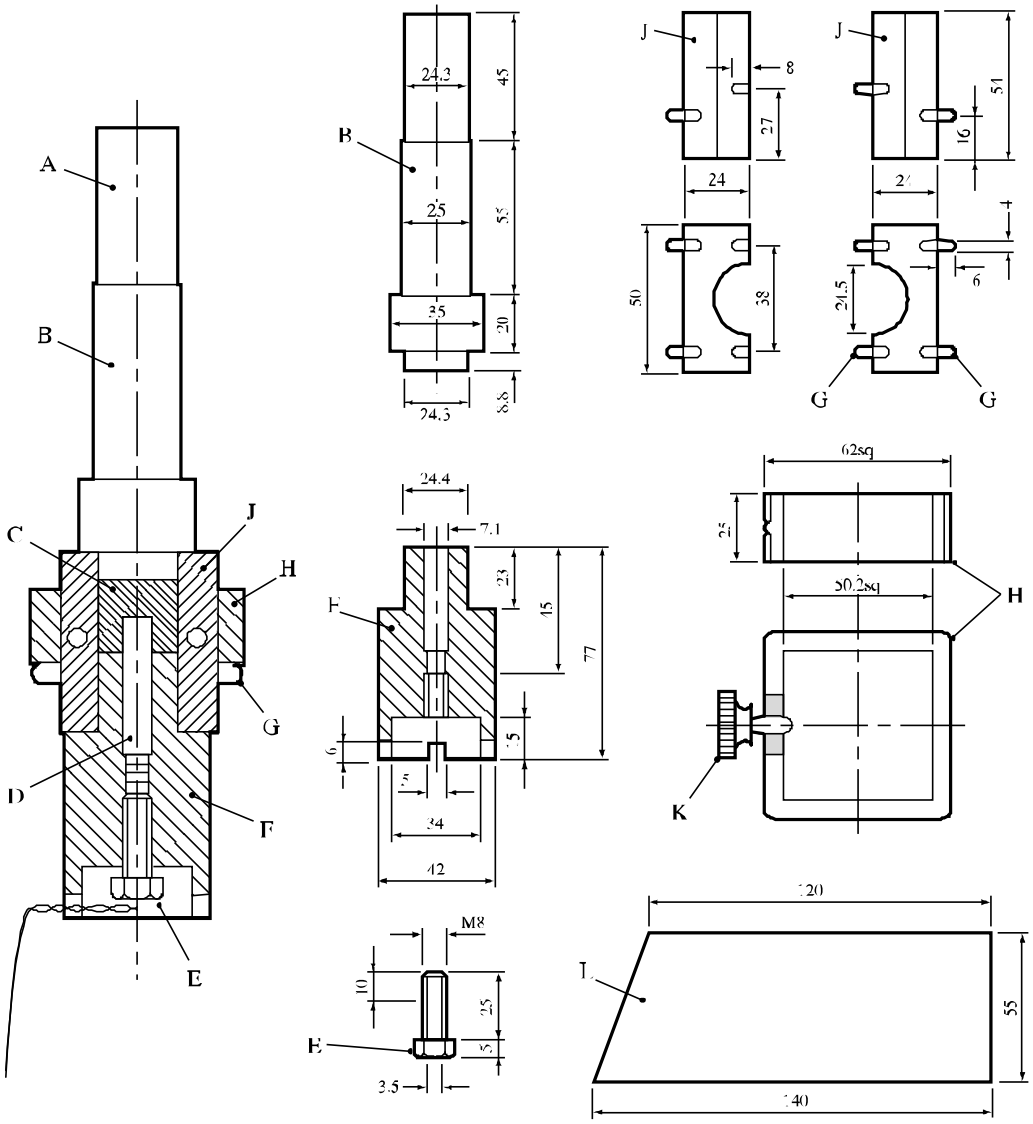
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Hilos del detonador
(B)	Relleno de arena seca
(C)	Detonador normalizado (norma europea)
(D)	Muestra

Figura 26.4.3.1: PRUEBA TRAUZL (BAM)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Extremidad del pistón, en la que se prepara el tubo de papel de estaño	(B)	Pistón
(C)	Muestra	(D)	Detonador
(E)	Tornillo de ajuste (diámetro interior, 3,5 mm; ranura, 1 mm; 100 mm de longitud)	(F)	Pieza soportante
(G)	Pasadores	(H)	Mordaza
(J)	Matriz	(K)	Tornillo de cabeza moleteada
(L)	Papel de estaño		

Figura 26.4.3.2:
APARATO PARA LA PREPARACIÓN DE CARGAS DE ENSAYO (10 cm^3 de volumen, 24,6 mm de diámetro y 22,2 mm de altura) PARA LA PRUEBA TRAUZL (BAM)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.4 *Prueba F.4: Prueba Trauzl modificada*

26.4.4.1 *Introducción*

Esta prueba está destinada a medir la potencia explosiva de una sustancia. Se trata de activar la muestra de ensayo, alojada en el interior de un agujero practicado en un bloque de plomo, con un detonador introducido en ella. La potencia explosiva se expresa en función del aumento medio del volumen de la cavidad en el bloque, en comparación con el resultado obtenido con una sustancia inerte de propiedades físicas comparables. Puede emplearse esta prueba para contestar a la pregunta formulada en la casilla 12 de la figura 20.1.

26.4.4.2 *Aparatos y materiales*

El bloque de plomo consiste en una barra fundida o extruida de ese metal, de 50 ± 1 mm de diámetro y 70 mm de longitud, en la que se ha maquinado una cavidad de 25,4 mm de diámetro y 57,2 mm de fondo con una taladradora de punta plana, con objeto de impedir la perforación del bloque (véase la figura 26.4.4.1). La cápsula detonante que se emplea en esta prueba es un detonador normalizado Nº 8 de EE.UU. (véase el apéndice 1). Para los líquidos y las pastas se utiliza el montaje A, y para los sólidos, el montaje B (véase la figura 26.4.4.2). Con el montaje A se utiliza, como recipiente portamuestra, un frasco comercial de 12 ml de capacidad y 21 mm de diámetro exterior, y con el montaje B uno de 16 ml y 24,9 mm de diámetro exterior. Los tapones, de polietileno, son normalizados y vienen con el propio frasco. En los montajes A y B, el detonador se aloja en un tubo de cultivo, de vidrio al borosilicato de 10 mm de diámetro exterior y 75 mm de longitud. Se taladra un agujero de 10 mm de diámetro en el centro del tapón de polietileno para mantener fijo el tubo de cultivo, y se inmoviliza este último en la cavidad del bloque mediante dos juntas tóricas de caucho (de 16,5 mm de diámetro interior y sección de 2,5 mm de diámetro), en el caso del montaje A

26.4.4.3 *Procedimiento*

Se aloja una muestra de 6,0 g en el frasco, que se monta en la forma prescrita y se introduce en el bloque de plomo. Se coloca éste sobre una superficie sólida en lugar protegido, se introduce el detonador hasta el fondo del tubo, hecho lo cual -y tras abandonar el lugar-, se procede a activarlo. El volumen de la cavidad del bloque de plomo se mide con agua, antes y después de cada ensayo, con una precisión de 0,2 ml. Se efectúan tres ensayos utilizando el mismo montaje tanto con la muestra como con la sustancia inerte de referencia.

26.4.4.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

26.4.4.4.1 La potencia explosiva de la muestra de ensayo se expresa en función del aumento medio del volumen de la cavidad del bloque con respecto al resultado obtenido con la sustancia inerte de referencia.

26.4.4.4.2 Los criterios de evaluación son los siguientes:

"Considerable": - La dilatación media del bloque es igual o superior a 12 cm^3.

"Baja": - La dilatación media del bloque es inferior a 12 cm^3, pero superior a 3 cm^3.

"Nula": - La dilatación media del bloque es inferior o igual a 3 cm^3.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.4.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Dilatación media (cm^3)**	**Resultado**
2,2´-Azodi(isobutironitrilo)	18	Considerable
2,2´-Azodi(2-metilbutironitrilo)	14	Considerable
2,5-Dimetil-2,5-di-(benzoilperoxi) hexano	9	Baja
2,5-Dimetil-2,5-di-(terc-butilperoxi) hexina-3	31	Considerable
Hidroperóxido de terc-butilo, 72% con agua	7	Baja
Hidroperóxido de cumilo, 85% con cumeno	5	Baja
Peroxiacetato de terc-butilo, 75% en solución	25	Considerable
Peroxibenzoato de terc-butilo	19	Considerable
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	10	Baja
Peroxidicarbonato de di-sec-butilo	23[a]	Considerable
Peroxidicarbonato de diisopropilo	45[a]	Considerable
Peroxidicarbonato de di-n-propilo	32[a]	Considerable
Peróxido de dibenzoílo	16	Considerable
Peróxido de di-terc-butilo	12	Considerable

Dilatación medida con sustancias inertes de referencia en el montaje A

Agua	10
Aire	6
Alcoholes minerales	10,5
Ftalato de dimetilo	10
Pasta (60% de $CaCO_3$ + 40% de ftalato de dimetilo	8

Dilatación medida con sustancias inertes de referencia en el montaje B

Ácido benzoico	7
Aire	5,5
Caolín	6
Carbonato cálcico (polvo)	5

[a] *Prueba efectuada a la temperatura ambiente.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

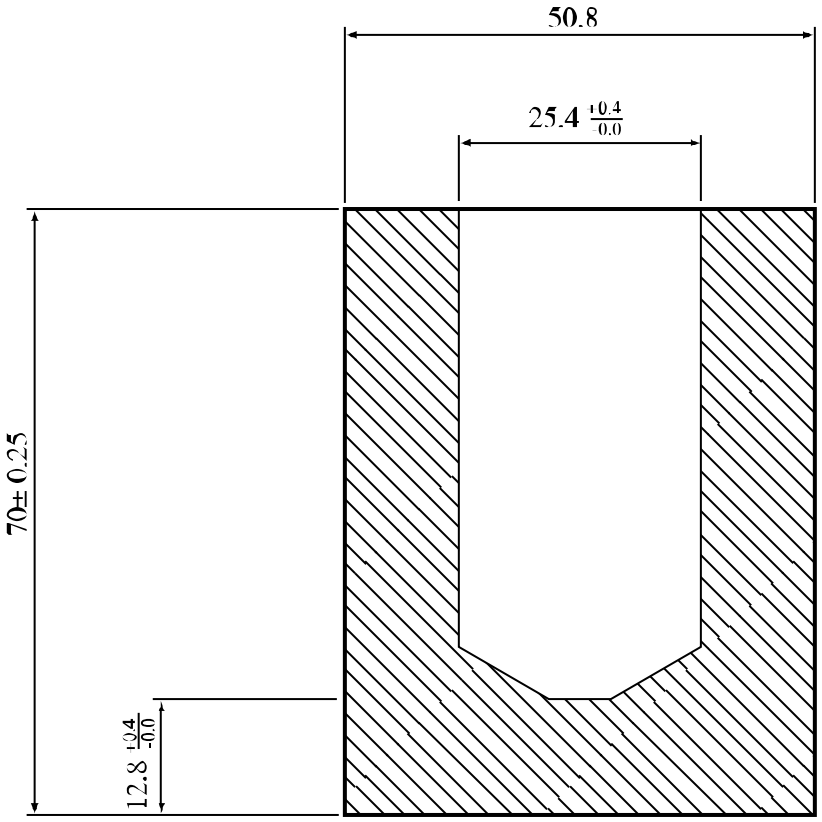
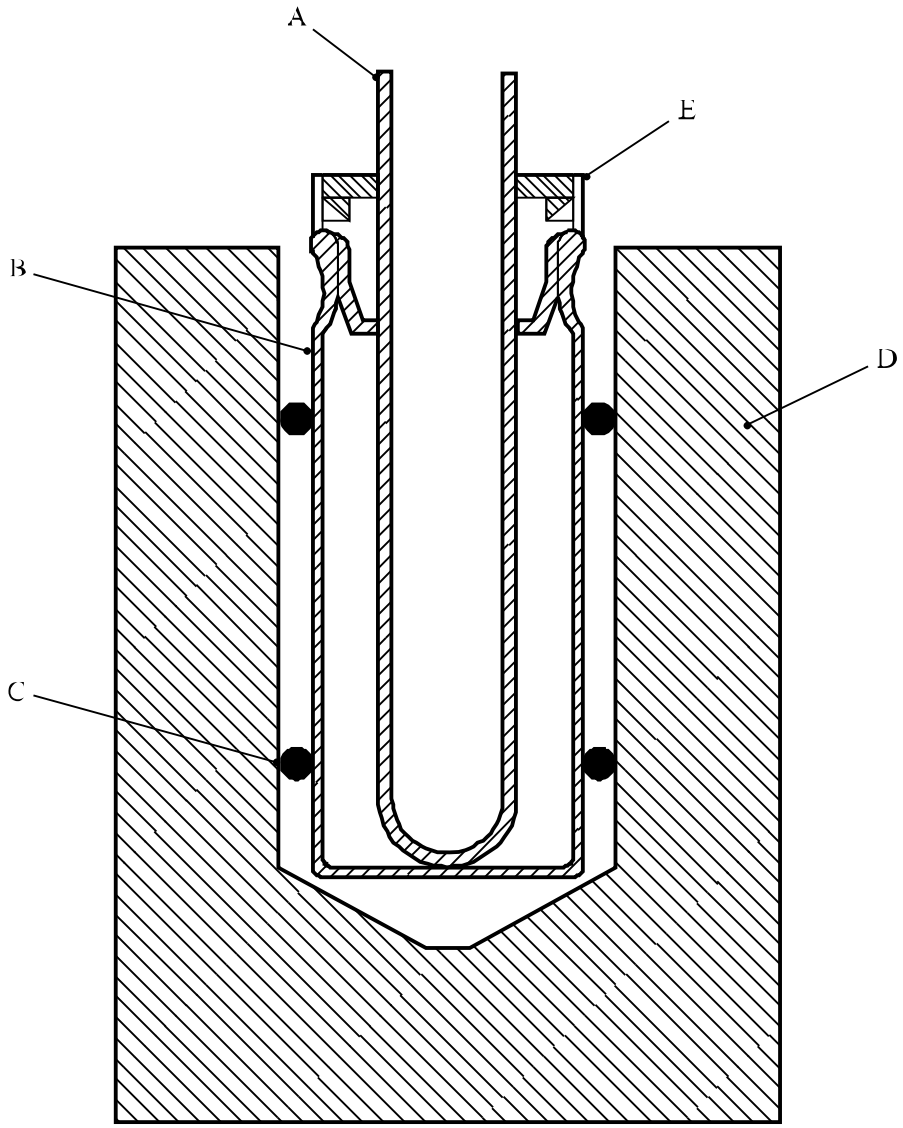


Figura 26.4.4.1: PRUEBA TRAUZL MODIFICADA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Tubo de vidrio
(B) Frasco de vidrio (montaje A, 12 ml; montaje B, 16 ml)
(C) Junta tórica (sólo en montaje A)
(D) Bloque de plomo
(E) Tapón

Figura 26.4.4.2: MONTAJES A Y B

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.5 *Prueba F.5: Prueba del autoclave de alta presión*

26.4.5.1 *Introducción*

Esta prueba está destinada a medir la energía específica de una sustancia. Se calientan diferentes cantidades de la sustancia en un recipiente hermético y se mide el aumento máximo de presión obtenido con cada tamaño de la muestra. La energía específica se expresa en función del aumento máximo de presión. Puede emplearse esta prueba para contestar a la pregunta formulada en la casilla 12 de la figura 20.1.

26.4.5.2 *Aparatos y materiales*

El autoclave de alta presión (figura 26.4.5.1) es un recipiente cilíndrico de acero inoxidable del tipo AISI 431, de 96 ml de capacidad, y que funciona a una presión efectiva de 150 MPa a una temperatura de 473 K. Tiene un diámetro y altura interiores de 38 y 84 mm, respectivamente, y lleva en su interior otro recipiente (de acero inoxidable del tipo AISI 316, y de diámetro y altura interiores de 32 y 77 mm, respectivamente), en el que se aloja la muestra. La fuente de calor consiste en un hilo de resistencia, recubierto, de níquel/cromo (resistencia específica de aproximadamente 10 ohm/m), enrollado al tubo de vidrio, y que se introduce en la sustancia objeto de la prueba. Aplicando una corriente de intensidad constante se obtiene una potencia calorífica de 50 a 150 W. A causa del recipiente interior, la transmisión de calor de la sustancia al autoclave es relativamente reducida en relación con la que se daría de no existir dicho recipiente. Por consiguiente, se produce un rápido calentamiento que dará lugar a una reacción exotérmica, acompañada de calentamiento espontáneo y explosión. Se determina la evolución de la relación presión-tiempo de la explosión. La presión se registra mediante un transductor piezoeléctrico.

26.4.5.3 *Procedimiento*

Se pesa la cantidad correspondiente de sustancia y se deposita en el recipiente portamuestra, y se introduce éste en el autoclave. El serpentín de calentamiento se conecta a la tapa del autoclave, que, seguidamente, se cierra. El conjunto del serpentín de calentamiento ha de situarse de manera que quede totalmente inmerso en la sustancia. Se conectan entonces los extremos del hilo calentador a los electrodos de alimentación con hilo de baja resistencia. A continuación, se calienta la muestra hasta que se produzca una explosión. Se efectúan, normalmente, ensayos con 5, 10, 15, 20 y 25 g de sustancia y se registra la presión máxima. Sin embargo, estas cantidades pueden variar en función de la densidad volumétrica de la sustancia y de la detonabilidad de ésta.

26.4.5.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

26.4.5.4.1 Los resultados se evalúan sobre la base de la energía específica (F), que es función del aumento máximo de la presión (P_m). Conociendo la masa inicial de la muestra (M_o) y el volumen (V) del recipiente en que se produce la reacción, se calcula la energía específica según la ecuación siguiente:

$$V/M_o = F/P_m + C$$

siendo V = el volumen interior del recipiente a presión, menos el volumen del acero del recipiente portamuestra interior;

C = una constante en las condiciones de prueba; y

F = la energía específica determinada por la pendiente de la curva V/M_o en función de $1/P_m$.

La potencia explosiva de una sustancia está únicamente en función de la energía específica F.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

26.4.5.4.2 Los criterios de evaluación son los siguientes:

"Considerable": - Energía específica superior a 100 J/g.

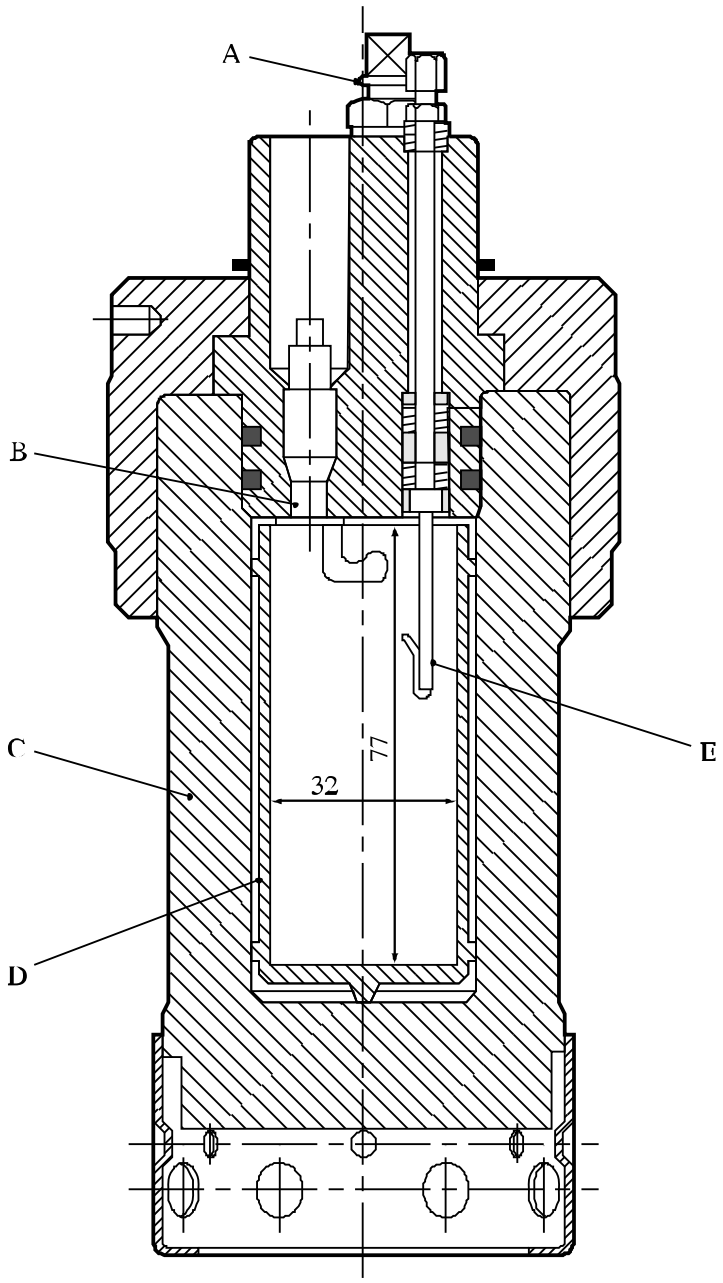
"Baja": - Energía específica ≥ 5 J/g y ≤ 100 J/g.

"Nula": - Energía específica inferior a 5 J/g.

26.4.5.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Valor de F (J/g)**	**Resultado**
2,2´-Azodi(isobutironitrilo)	101	Considerable
Hidroperóxido de cumilo, 80% en cumeno	60	Baja
Peroxibenzoato de terc-butilo	110	Considerable
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	56	Baja
Peroxidicarbonato de dicetilo	No hay reacción	Nula
Peróxido de dibenzoílo, 75% con agua	41	Baja
Peróxido de di-terc-butilo	140	Considerable
Peróxido de dicumilo, 40% con sólido inerte	No hay reacción	Nula
Peróxido de dilauroílo	8	Baja
Peróxido de dilauroílo, 42%, dispersión estable, en agua	1,3	Nula

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Válvula
(B)	Transductor de presión
(C)	Autoclave
(D)	Recipiente portamuestra interior
(E)	Electrodos

Figura 26.4.5.1: AUTOCLAVE DE ALTA PRESIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 27

SERIE DE PRUEBAS G

27.1 Introducción

27.1.1 La serie G comprende pruebas y criterios destinados a determinar el efecto de una explosión térmica de una sustancia en su embalaje/envase de transporte, conforme a la pregunta formulada en la casilla 10 de la figura 20.1. Esta prueba sólo es necesaria para las sustancias que hayan reaccionado violentamente en las pruebas de calentamiento en un espacio limitado (serie de pruebas E).

27.2 Métodos de prueba

27.2.1 A la pregunta "¿Puede explotar en su embalaje/envase de transporte?" (casilla 10 de la figura 20.1) se responde en función de los resultados de uno de los métodos de prueba del cuadro 27.1.

Cuadro 27.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE G

Código	Nombre de la prueba	Sección
G.1	Prueba de explosión térmica en un bulto[a]	27.4.1
G.2	Prueba de descomposición acelerada en un bulto	27.4.2

[a] *Prueba recomendada.*

27.2.2 Ambas pruebas se consideran equivalentes para todas las sustancias, salvo los sólidos humidificados con agua, respecto de los cuales, de no ser coincidentes los resultados de ambas pruebas, tendrán preferencia los de la prueba G.1.

27.3 Condiciones de las pruebas

27.3.1 La serie de pruebas G debe efectuarse con los bultos de la sustancia (de 50 kg como máximo) en la condición y en la forma en que se presenten para el transporte.

27.3.2 ***Antes de efectuar estas pruebas, debe aplicarse el procedimiento preliminar (véase la sección 20.3)***.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

27.4 Serie G: Disposiciones relativas a las pruebas

27.4.1 *Prueba G.1: Prueba de explosión térmica en un bulto*

27.4.1.1 *Introducción*

Este prueba permite determinar la posibilidad de explosión térmica en un bulto. Puede utilizarse para contestar a la pregunta formulada en la casilla 10 de la figura 20.1.

27.4.1.2 *Aparatos y materiales*

27.4.1.2.1 Son los siguientes: un embalaje/envase (de capacidad no mayor que la necesaria para 50 kg de la sustancia), una partida de ésta, un dispositivo calentador adecuado (por ejemplo, de 2kW por 25 kg) y un aparato para medir la temperatura.

27.4.1.3 *Procedimiento*

Se aplica esta prueba a las sustancias embaladas/envasadas en el estado y forma en que se presenten para el transporte. Para conseguir que se produzca la explosión térmica se calienta la sustancia lo más uniformemente posible con un serpentín eléctrico alojado en el interior del bulto. La temperatura superficial del serpentín eléctrico no podrá elevarse a un nivel que provoque la inflamación prematura de la sustancia. A veces, será necesario utilizar más de un serpentín. El bulto debe colocarse en un soporte que lo mantenga recto. Se enciende el dispositivo calentador y la temperatura de la sustancia se registra de manera continua; el régimen de calentamiento debe ser de 60 °C/hora, aproximadamente. Entre la parte superior e inferior del bulto, la diferencia de temperatura de la sustancia debe ser lo más reducida posible. ***En previsión de que se averíe el dispositivo calentador, se recomienda disponer de algún medio de destrucción del bulto a distancia***. Se efectúan dos ensayos, a menos que se produzca una explosión en el primero.

27.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

27.4.1.4.1 Para verificar si se ha producido una explosión en el bulto objeto de la prueba, se comprueba el modo de fragmentación de éste. Los resultados obtenidos sólo son válidos para el bulto sometido a la prueba.

27.4.1.4.2 Se utilizan los criterios de evaluación siguientes:

"Sí": - La fragmentación del embalaje/envase interior o exterior en más de tres pedazos (excluida la parte inferior y superior de aquéllos) significa que la sustancia objeto de la prueba puede hacer explosión en ese bulto.

"No": - La no fragmentación del embalaje/envase interior o exterior o su fragmentación en tres pedazos como máximo significan que la sustancia objeto de la prueba no hace explosión en ese bulto.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

27.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Embalaje/envase**	**Número de fragmentos**	**Resultado**
2,2´-Azodi-(isobutironitrilo)	4G, 30 kg	0	No
Carbonato de terc-butilperoxi-isopropilo	1B1, 25 litros	> 80	Sí
Carbonato de terc-butilperoxi-isopropilo	6HG2, 30 litros	> 20	Sí
2,2-Di-(terc-butilperoxi)butano, 50% en solución	3H1, 25 litros	0	No
2,2-Di-(terc-butilperoxi)butano, 50% en solución	6HG2, 30 litros	0	No
Peroxibenzoato de terc-butilo	1B1, 25 litros	> 30	Sí
Peroxibenzoato de terc-butilo	6HG2, 30 litros	0	No
Peróxido de dibenzoílo, 75% en agua	4G, 25 kg	0	No
Peroxi-2 etilhexanoato de terc-butilo	1B1, 25 litros	> 5	Sí
Peroxi-2 etilhexanoato de terc-butilo	6HG2, 30 litros	0	No
Peroxipivalato de terc-butilo, 75% en solución	6HG2, 30 litros	0	No

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

27.4.2 *Prueba G.2: Prueba de descomposición acelerada en un bulto*

27.4.2.1 *Introducción*

Esta prueba permite determinar la posibilidad de explosión térmica en un bulto. Puede utilizarse para contestar a la pregunta formulada en la casilla 10 de la figura 20.1.

27.4.2.2 *Aparatos y materiales*

Se emplea una cámara de prueba del tipo con que normalmente se determina la temperatura de descomposición autoacelerada (TDAA), y que aparece representada esquemáticamente en la figura 27.4.2.1 y se describe en la prueba H.1 de la sección 28.

27.4.2.3 *Procedimiento*

En la realización de la prueba se sigue el procedimiento correspondiente a la prueba H.1 de la sección 28. La cámara de prueba puede ponerse a una temperatura de aproximadamente 10ºC por encima de la TDAA, si se conoce. Está concebida de manera que dé rápida salida a los gases resultantes de la descomposición de la muestra que puedan ocasionar un aumento considerable de la presión. Las tapas de la cámara se colocan en su posición correspondiente sin medio alguno de afianzamiento.

27.4.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

27.4.2.4.1 El estado en que queden la muestra, el bulto, la cámara de prueba y la zona circundante inmediata constituye una excelente medida de la intensidad de la descomposición consiguiente a la reacción del producto/bulto en la configuración sometida a prueba.

27.4.2.4.2 Los criterios de evaluación, que vienen definidos en función del estado en que queden la cámara y el bulto, y por la contingencia de una explosión, son los siguientes:

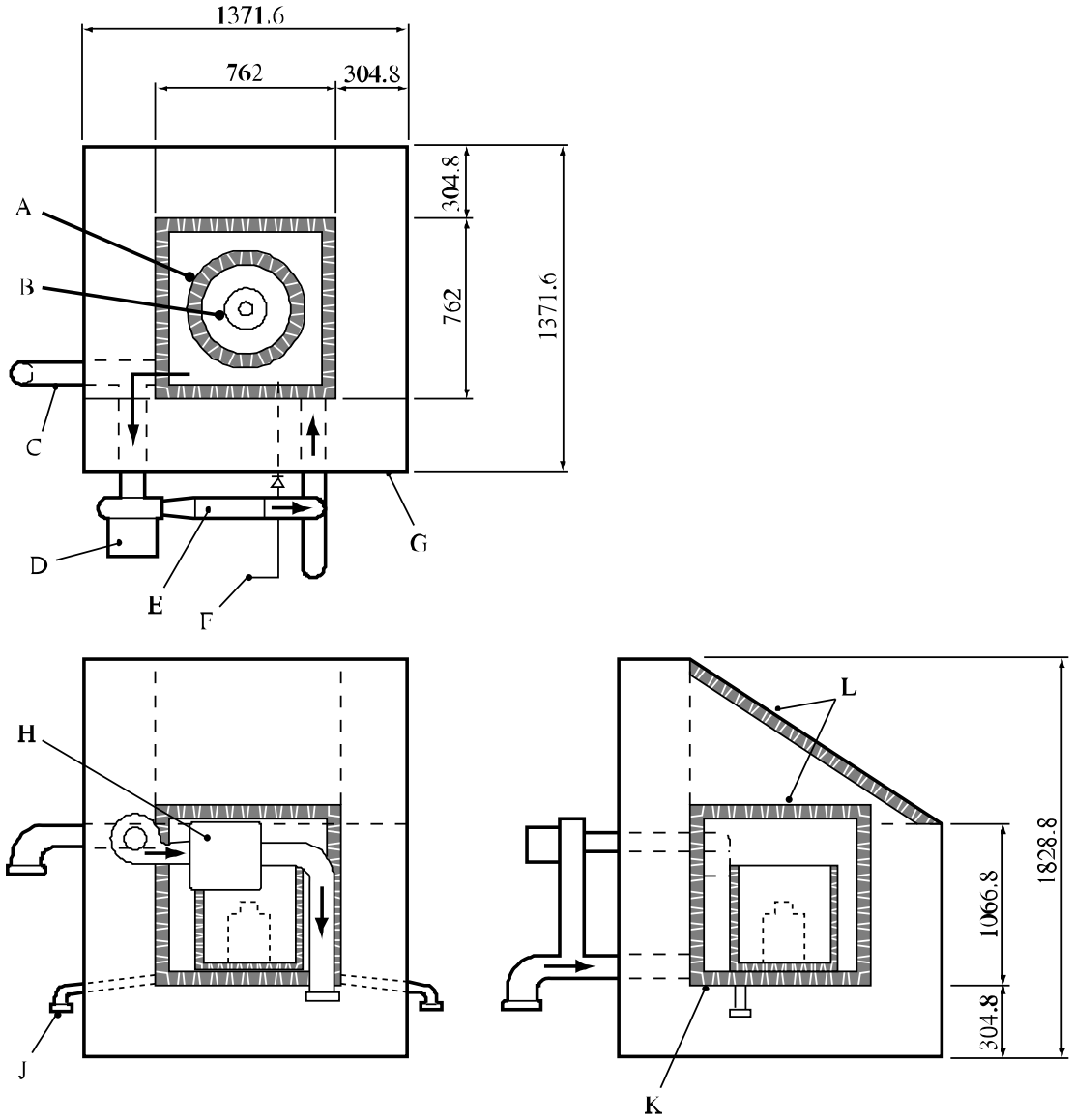
"Sí": - destrozos considerables en el interior de la cámara de prueba. Posiblemente, la tapa exterior ha salido despedida a una distancia de dos metros como mínimo, lo que significa que en el interior de la cámara se acumuló una presión considerable. El bulto ha resultado muy dañado y se ha fragmentado en tres pedazos como mínimo.

"No": - la cámara de prueba ha resultado intacta o con ligeros destrozos. Posiblemente, la tapa exterior ha salido despedida, pero no a más de dos metros de distancia de la cámara. El bulto puede haber sufrido destrozos y daños, por ejemplo: rotura del embalaje/envase interior, desgarramiento del cartón, etc.

27.4.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Embalaje/envase**	**Resultado**
Carbonato de terc-butilperoxiisopropilo, 75% en solución	6HG2, 20 litros	No
2,5-Dimetil-2,5-di-(terc-butilperoxi)-hexino 3	6HG2, 20 litros	Sí
Peroxiacetato de terc-butilo 75% en solución	6HG2, 20 litros	Sí
Peroxibenzoato de terc-butilo	6HG2, 20 litros	No
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	6HG2, 20 litros	No
Peróxido de dibenzoílo	4G, 0,454 kg	Sí
Peroxipivalato de terc-butilo, 75% en solución	6HG2, 20 litros	No

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Recipiente portamuestra	(B)	Bulto
(C)	Conducto de aire	(D)	Ventilador
(E)	Dispositivo calentador	(F)	Dióxido de carbono
(G)	Marco	(H)	Dispositivo de recirculación
(J)	Tubos de purga, con tapón	(K)	Aislamiento
(L)	Tapas aisladas		

Figura 27.4.2.1: PRUEBA DE LA DESCOMPOSICIÓN ACELERADA EN UN BULTO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 28

SERIE DE PRUEBAS H

28.1 Introducción

Esta serie de pruebas comprende los métodos que permiten determinar la temperatura de descomposición autoacelerada (TDAA). La TDAA se define como la temperatura más baja a la que puede producirse la descomposición autoacelerada de una sustancia en el embalaje/envase utilizado para el transporte. Es una medida del efecto combinado de la temperatura ambiente, la cinética de descomposición, el tamaño del bulto y las propiedades de transmisión del calor de la sustancia y de su embalaje/envase. Para interpretar los resultados, pueden utilizarse diversos modelos en los que la principal resistencia al flujo térmico pueden encontrarse:

a) En el límite, es decir, el embalaje/envase (modelo de Semenov);

b) Dentro de la sustancia (modelo de Frank-Kamentskii); o

c) En una combinación de los dos anteriores (modelo de Thomas).

Debe utilizarse este texto en conjunción con las prescripciones en materia de regulación de la temperatura, que figuran en la subsección 2.5.3.4 de la Reglamentación Modelo.

Referencias: *N.N. Semenov, Z. Physik, 48, 1928, 571.*
D.A. Frank-Kamentskii, Zhur. Fiz. Khim, 13, 1939, 738.
P.H. Thomas, Trans. Faraday Soc., 54, 1958, 60.

28.2 Métodos de prueba

28.2.1 La serie H comprende pruebas y criterios relativos a la estabilidad térmica de las sustancias a las temperaturas de transporte o destinados a determinar si una sustancia responde a la definición de sustancia de reacción espontánea.

28.2.2 Cada prueba consiste en almacenar una sustancia a una temperatura exterior constante y observar cualquier reacción que se produzca o en almacenar la sustancia en condiciones cuasiadiabáticas y medir la tasa de generación de calor en función de la temperatura. Los métodos de prueba de la serie H se indican en el cuadro 28.1. Cada uno de los métodos enumerados es aplicable a los sólidos, los líquidos, las sustancias pastosas y las dispersiones.

Cuadro 28.1: MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA SERIE H

Código	Nombre de la prueba	Sección
H.1	Prueba de determinación de la TDAA (Estados Unidos)[a]	28.4.1
H.2	Prueba de almacenamiento adiabático (PAA)[b]	28.4.2
H.3	Prueba de almacenamiento isotérmico (PAI)	28.4.3
H.4	Prueba de almacenamiento con acumulación de calor[c]	28.4.4

[a] *Prueba recomendada para las sustancias transportadas en embalajes/envases.*

[b] *Prueba recomendada para las sustancias transportadas en embalajes/envases, RIG o cisternas.*

[c] *Prueba recomendada para las sustancias transportadas en embalajes/envases, RIG o cisternas pequeñas.*

Esta lista de pruebas no es exhaustiva; pueden emplearse otras pruebas, a condición de que den el valor exacto de la TDAA de la sustancia embalada/envasada para el transporte.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.2.3 En caso necesario (TDAA ≤ 50°C para los peróxidos orgánicos; TDAA ≤ +55°C para las sustancias de reacción espontánea), las temperaturas de regulación y de emergencia pueden derivarse de la TDAA utilizando el cuadro 28.2.

Cuadro 28.2: CÁLCULO DE LAS TEMPERATURAS DE REGULACIÓN Y DE EMERGENCIA

Tipo de recipiente	TDAA[a]	Temperatura de regulación	Temperatura de emergencia
Embalajes/ envases simples y RIG	20ºC o menos	20ºC por debajo de laTDAA	10ºC por debajo de la TDAA
	entre 20ºC y 35ºC	15ºC por debajo de la TDAA	10ºC por debajo de la TDAA
	más de 35ºC	10ºC por debajo de la TDAA	5ºC por debajo de la TDAA
Cisternas portátiles	< 50ºC	10ºC por debajo de la TDAA	5ºC por debajo de la TDAA

[a] *Es decir, la TDAA de la sustancia tal como está embalada/envasada para su transporte.*

28.2.4 Cuando una sustancia se someta a una prueba para determinar si se trata de una sustancia de reacción espontánea de la división 4.1, debe efectuarse una prueba de la serie H, u otra prueba apropiada, para averiguar si su TDAA sería igual o inferior a 75ºC en caso de transporte en un bulto de 50 kg.

28.2.5 Los resultados obtenidos con el mayor bulto comercial pueden aplicarse a bultos más pequeños de fabricación y material similares, siempre y cuando la transmisión térmica por unidad de masa no sea inferior a la del bulto más grande.

28.3 Condiciones de las pruebas

28.3.1 Antes de efectuar las pruebas de TDAA, debe aplicarse el procedimiento preliminar (véase la sección 20.3) y deben determinarse los efectos del calentamiento en espacio limitado (serie de pruebas E). ***Deben tomarse precauciones de seguridad en previsión de un posible fallo catastrófico del recipiente de prueba y de los riesgos que puedan resultar de la inflamación de las mezclas de combustible secundario y aire y de la emanación de productos de descomposición tóxicos. Las sustancias que pueden detonar sólo deben ser probadas con precauciones especiales.***

28.3.2 La prueba elegida debe realizarse de manera que sea representativa del bulto que ha de transportarse, tanto por el tamaño como por el material. Para el transporte de embalajes/envases, RIG y cisternas metálicos, puede resultar necesario incluir una cantidad representativa del metal de la muestra utilizada, es decir, que sea representativa del metal o metales y de la zona de contacto.

28.3.3 ***Deben extremarse las precauciones cuando se manipulen muestras que hayan sido objeto de prueba, ya que pueden haberse producido cambios que aumenten la inestabilidad y la sensibilidad de la sustancia. Las muestras de prueba deben destruirse lo antes posible después de la prueba.***

28.3.4 Las muestras que hayan sido probadas a determinada temperatura y que, aparentemente, no hayan reaccionado pueden utilizarse de nuevo, pero sólo a efectos de preselección y a condición de que se tomen precauciones especiales. Las muestras nuevas deben emplearse para la determinación real de la TDAA.

28.3.5 Si no se somete a prueba el bulto completo, los datos sobre pérdidas térmicas utilizados para la determinación de la TDAA deben ser representativos del bulto, del RIG o de la cisterna que se presenten para el transporte. La pérdida térmica por unidad de masa del bulto, del RIG o de la cisterna puede determinarse mediante cálculo (en función de la cantidad de sustancia, de las dimensiones del bulto, de la transmisión del calor en la sustancia y de la transferencia del calor al medio ambiente a través del embalaje/envase) o midiendo el tiempo de semienfriamiento del bulto lleno de la sustancia o de otra sustancia que tenga propiedades físicas comparables. La pérdida térmica por unidad de masa, L (W/kg.K),

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

puede calcularse a partir del tiempo de semienfriamiento, $t_1/_2$(s), y del calor específico, C_p (J/kg.K), de la sustancia, utilizando la fórmula siguiente:

$$L = \ln 2 \times C_p/t_1/_2$$

28.3.6 Puede determinarse el tiempo de semienfriamiento midiendo el espacio de tiempo en el que la diferencia de temperatura entre la muestra y su entorno se reduce en un factor 2. Por ejemplo, en el caso de los líquidos, el embalaje/envase puede llenarse con ftalato de dibutilo o ftalato de dimetilo y calentarse esta sustancia hasta 80ºC aproximadamente. No debe utilizarse agua, ya que pueden obtenerse resultados desiguales debido a la evaporación/condensación. La caída de temperatura se mide en el centro del bulto, para toda la gama de temperaturas, que incluye la TDAA prevista. A fin de establecer la escala, puede ser necesario vigilar continuamente la temperatura de la sustancia y de su entorno y utilizar seguidamente una regresión lineal para obtener los coeficientes de la ecuación:

$$\ln\{T - T_a\} = c_o + c \times t$$

siendo T = temperatura de la sustancia (ºC);

T_a = temperatura ambiente (ºC);

c_o = ln{temperatura inicial de la sustancia - temperatura ambiente inicial}; y

c = L/C_p;

t = tiempo (s)

28.3.7 En el cuadro 28.3 se dan algunos ejemplos de las características de pérdida de calor de algunos bultos tipo. El valor real que se obtenga dependerá de la forma, del espesor de pared, del revestimiento de la superficie, etc., del embalaje/envase.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro 28.3: PÉRDIDA DE CALOR POR UNIDAD DE MASA EN BULTOS, RIG Y CISTERNAS

Tipo de recipiente	Capacidad nominal (litros)	Contenido	Pérdida de calor por unidad de masa (L) (mW/K.kg)
Para líquidos:			
1A1	50	47,5 kg FDM[a]	63
1H1	50	47,5 kg FDM	94
1H1	200	200 kg agua	56
3H1 (negro)	60	47,5 kg FDM	105
6HG2	30	35,0 kg FDM	69
RIG 31 HA1	500	500 kg agua	51
Cisterna	3.400	3.400 kg agua	18[b]
Contenedor cisterna (aislado)	20.000	14.150 kg isododecano	1,7
Para sólidos:			
1G	38	28,0 kg FDCH[c]	35
1G	50	37,0 kg FDCH	29
1G	110	85,0 kg FDCH	22
4G	50	32,0 kg FDCH	27

[a] *FDM = ftalato de dimetilo.*

[b] *Calculado utilizando un coeficiente de transmisión térmica de 5 W/m^2.K.*

[c] *FDCH = ftalato de diciclohexilo (sólido).*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4 Serie H: Disposiciones relativas a las pruebas

28.4.1 *Prueba H.1: Prueba de determinación de la TDAA (Estados Unidos)*

28.4.1.1 *Introducción*

Este método permite determinar la temperatura constante mínima del aire ambiente a la que se produce la descomposición autoacelerada de una sustancia en un bulto determinado. Pueden probarse con este método los bultos de hasta 220 litros. También puede obtenerse una indicación del riesgo de explosión que presenta la reacción de descomposición.

28.4.1.2 *Aparatos y materiales*

28.4.1.2.1 La sustancia y el embalaje/envase utilizados en la prueba deben ser representativos de los que se destinen a usos comerciales. El embalaje/envase es parte fundamental de la prueba.

28.4.1.2.2 El aparato consiste en una cámara de prueba en la que el aire ambiente que rodea el bulto puede mantenerse a una temperatura constante durante diez días, por lo menos.

28.4.1.2.3 La cámara de prueba debe estar construida de manera que:

a) Esté bien aislada;

b) Garantice una circulación del aire regulada por termostato a fin de mantener la uniformidad de la temperatura del aire en ± 2ºC de la temperatura deseada; y

c) La distancia mínima entre el bulto y la pared sea de 100 mm.

Puede emplearse cualquier tipo de horno, a condición de que pueda cumplir los criterios de regulación de la temperatura y no provoque la inflamación de cualquier producto de descomposición. En los párrafos 28.4.1.2.4 y 28.4.1.2.5 se dan ejemplos de hornos que convienen para bultos pequeños y grandes, respectivamente.

28.4.1.2.4 Puede construirse un horno para bultos pequeños con un bidón de acero de 220 litros, de tapa movible. En él pueden caber sin dificultad bultos de hasta 25 litros de capacidad. En la figura 28.4.1.1 se reproduce un esquema detallado de ese horno. Pueden probarse en él bultos mayores, a condición de que haya un intervalo de 100 mm entre el bulto y la pared del horno.

28.4.1.2.5 Para los bultos de gran tamaño puede construirse un horno consumible, de madera de 50 mm × 100 mm, en forma de cubo de 1,2 m de lado, revestido y recubierto de madera contrachapada impermeable, de 6 mm de espesor, y aislado en toda su superficie exterior, mediante una capa de fibra de vidrio de 100 mm de espesor. En la figura 28.4.1.2 se reproduce un esquema detallado de este horno. Uno de los lados debe llevar una bisagra para facilitar la carga y descarga de los bidones sometidos a prueba. Sobre el suelo del horno se colocan de canto tacos de madera de 50 mm × 100 mm, con intervalos de 200 mm, para mantener el recipiente por encima del suelo y permitir una buena circulación del aire alrededor del bulto. Los tacos deben colocarse en la perpendicular de la puerta a fin de facilitar la manipulación de los bidones con una carretilla de horquilla elevadora. Debe colocarse un ventilador de circulación de aire en el lado opuesto a la puerta. El flujo de aire debe ir de un ángulo superior del horno hacia el extractor situado en el ángulo inferior diagonalmente opuesto. Para calentar el aire basta un radiador eléctrico de 2,5 kW. Deben instalarse termopares en los conductos de entrada y salida del aire, así como en la parte superior, el centro y la parte inferior del horno. Para las sustancias que tengan una TDAA inferior a la temperatura ambiente, la prueba debe efectuarse en una cámara de enfriamiento o debe utilizarse dióxido de carbono sólido para enfriar el horno.

28.4.1.2.6 El bulto debe ir provisto de un tubo térmico que coloque el termopar en su punto central. El tubo térmico puede ser de vidrio, de acero inoxidable o de cualquier otro material, pero su introducción no debe reducir la resistencia del bulto o la capacidad de ventilación.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.1.2.7 Se necesita un aparato de medición y registro continuos de la temperatura, que disponga de protección contra los riesgos de incendio y de explosión.

28.4.1.2.8 ***Las pruebas deben efectuarse en una zona en la que se disponga de una protección suficiente contra los riesgos de incendio y de explosión y contra los humos tóxicos. Se recomienda que se prevea una distancia de seguridad (por ejemplo, de 90 m) entre esa zona y las vías públicas y los edificios ocupados. Si existe riesgo de humos tóxicos, pueden ser necesarias distancias de seguridad más importantes.***

28.4.1.3 *Procedimiento*

28.4.1.3.1 Se pesa el bulto. Se introduce en él un termopar para poder observar la temperatura en el centro de la muestra. Si la temperatura del horno debe ser inferior a la temperatura ambiente, se pone en marcha el horno y se enfría su interior hasta la temperatura deseada, antes de colocar el bulto en el horno. Si la temperatura del horno debe ser igual o superior a la temperatura ambiente, se introduce el bulto en el horno a la temperatura ambiente y se pone en marcha el horno. Debe haber una separación mínima de 100 mm entre el bulto y los lados del horno.

28.4.1.3.2 Se calienta la muestra y se controla continuamente la temperatura de la muestra y de la cámara de prueba. Se anota el tiempo que se tarda para que la temperatura de la muestra alcance una temperatura de 2ºC por debajo de la temperatura de la cámara de prueba. La prueba continúa durante otros siete días o hasta que la temperatura de la muestra se eleve 6ºC o más por encima de la temperatura de la cámara, si esto ocurre antes. Se anota el tiempo que tarda la muestra para pasar de una temperatura inferior en 2ºC a la temperatura de la cámara a su temperatura máxima.

28.4.1.3.3 Una vez terminada la prueba, se enfría la muestra y se la retira de la cámara de prueba. Se anota la variación de temperatura en función del tiempo. Si el bulto está intacto, se anota la pérdida de masa en porcentaje y se determinan los posibles cambios de composición. La muestra debe eliminarse lo antes posible.

28.4.1.3.4 Si la temperatura de la muestra no excede de la temperatura del horno en 6ºC o más, se repite la prueba con una nueva muestra en un horno a una temperatura superior en 5ºC. La temperatura de descomposición autoacelerada (TDAA) se define como la temperatura más baja del horno a la que la temperatura de la muestra excede de la temperatura del horno en 6ºC o más. Si la sustancia se somete a prueba para determinar si la regulación de la temperatura es necesaria, debe efectuarse un número suficiente de pruebas para determinar la TDAA al múltiplo de 5 °C más próximo o averiguar si la TDAA es igual o superior a 60ºC. Si la sustancia se somete a prueba para determinar si cumple el criterio de la TDAA para una sustancia de reacción espontánea, debe efectuarse un número suficiente de pruebas para determinar si la TDAA para un bulto de 50 kg es igual o inferior a 75ºC.

28.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

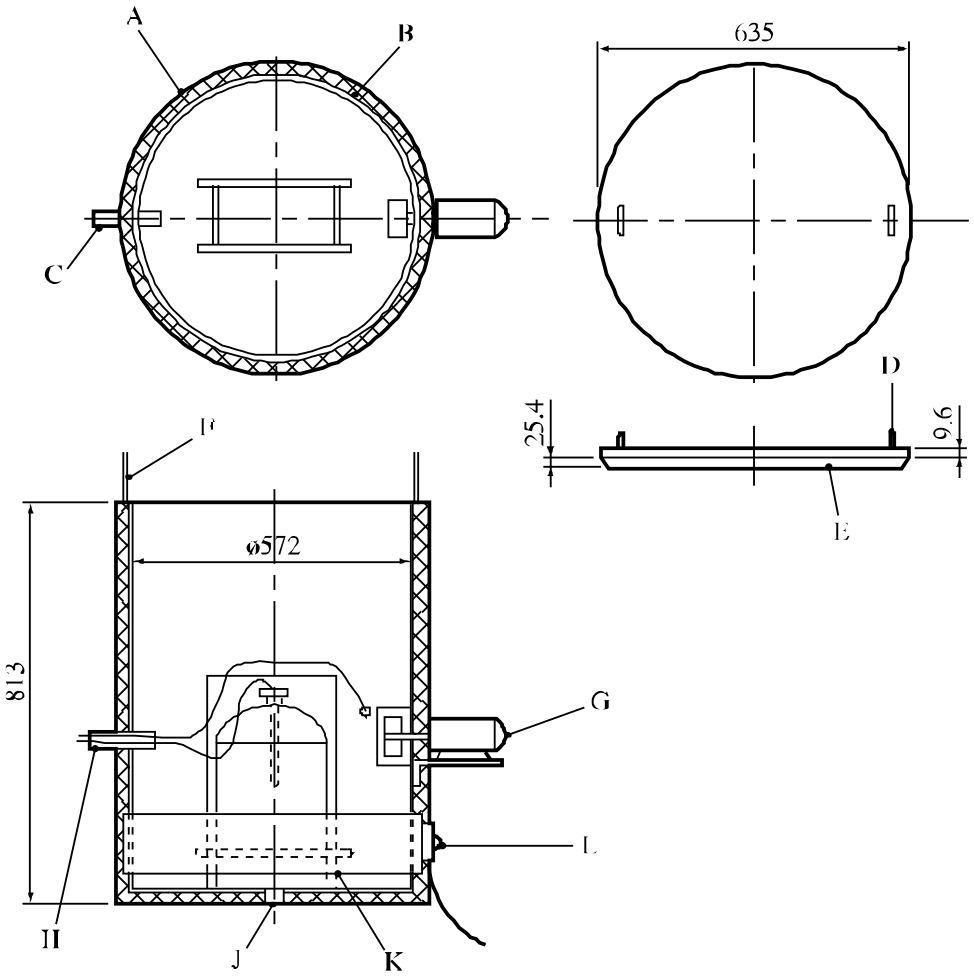
28.4.1.4.1 Se anota como TDAA la temperatura más baja a la que la muestra excede de la temperatura del horno en 6ºC o más. Si la temperatura de la muestra no excede, en ninguna prueba, de la temperatura del horno en 6ºC o más, se considera que la TDAA es superior a la temperatura más elevada del horno que se ha utilizado.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Masa de la muestra (kg)**	**Embalaje/envase**	**TDAA (ºC)**
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-morfolinobencenodiazonio y de cinc (66%)	30	1G, 50 litros	50
Cloruro de 2-(N,N-etoxi-carbonilfenilamino)-3-metoxi-4-(N,N-metilciclohexilamino) bencenodiazonio y de cinc (62%)	10	6HG1, 25 litros	50
Peroxiacetato de terc-butilo (60%)	7,2	6HG2, 22,8 litros	75
Peroxibenzoato de terc-amilo	18,2	6HG2, 22,8 litros	65
Peroxidicarbonato de di-(4-terc-butil-ciclohexilo)	43	1G	40
Peróxido de dibenzoílo	0,45	1G	70

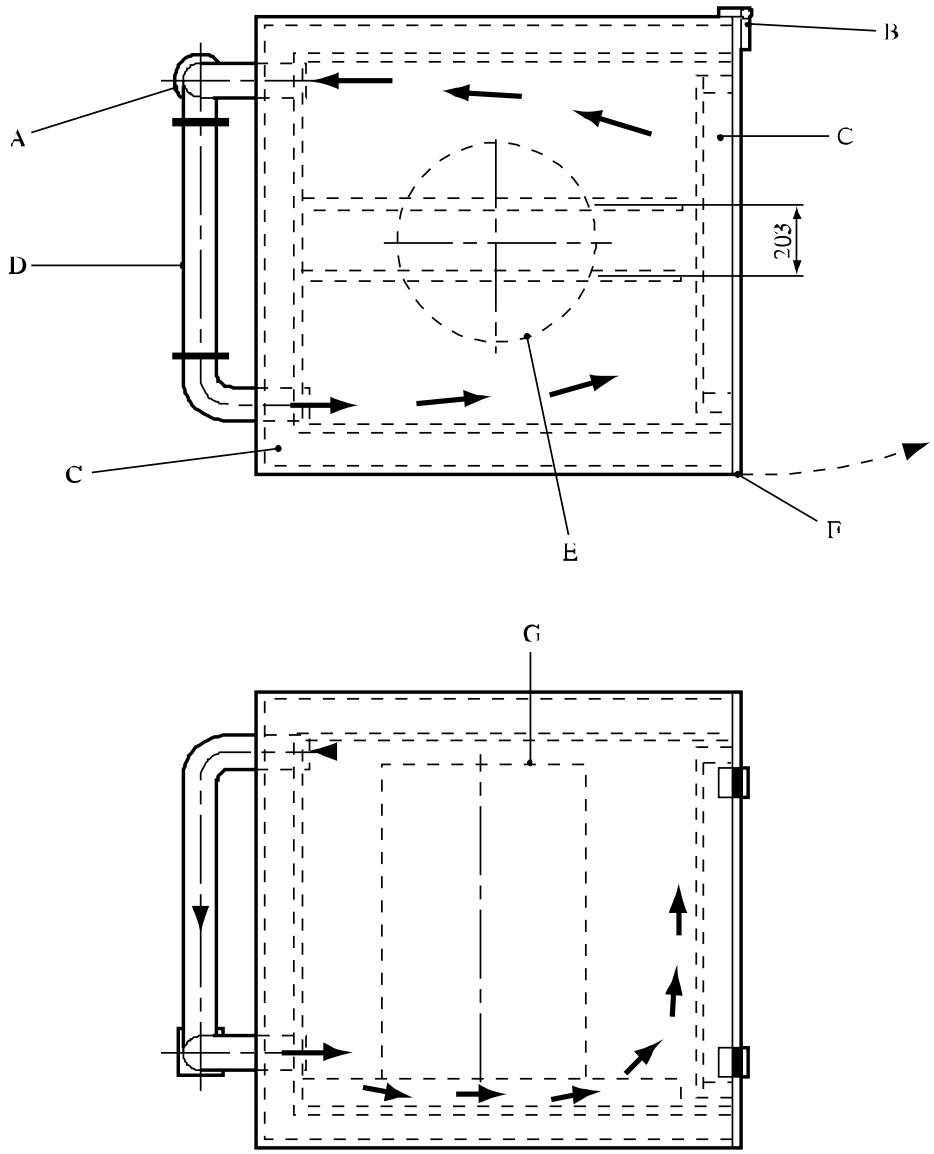
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Aislamiento de 25 mm de espesor	(B)	Bidón de 220 litros con tapa totalmente amovible
(C)	Tubo de 19 mm	(D)	Perno de 9,6 mm con chaveta en la tapa de acero
(E)	Aislamiento en la tapa de acero	(F)	Cable de 3 mm
(G)	Ventilador	(H)	Termopares y controles
(J)	Orificio de salida	(K)	Soporte de ángulo, de 25 mm
(L)	Calentador de bidón, 2 kW		

Figura 28.4.1.1: HORNO PARA BULTOS DE PEQUEÑO TAMAÑO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Ventilador	(B)	Bisagras
(C)	Aislamiento	(D)	Calentador (2)
(E)	Bidón	(F)	Cierre
(G)	Bidón (por ejemplo, 0,58 m × 0,89 m)		

Figura 28.4.1.2: HORNO PARA BULTOS DE GRAN TAMAÑO (vista superior y vista lateral)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.2 ***Prueba H.2: Prueba de almacenamiento adiabático***

28.4.2.1 *Introducción*

28.4.2.1.1 Este método de prueba permite determinar la tasa de generación de calor producida por la reacción de una sustancia en función de la temperatura. Partiendo de los parámetros de generación de calor obtenidos con este método y de los datos sobre pérdida de calor relativos al embalaje/envase, se puede calcular la TDAA de una sustancia embalada/envasada. El método es adecuado para todo tipo de embalaje/envase, incluidos los RIG y las cisternas.

28.4.2.1.2 Las mediciones pueden hacerse entre -20ºC y 220ºC. La elevación mínima de temperatura que puede detectarse corresponde a una tasa de generación de calor de 15 mW/kg. El límite superior está determinado por la capacidad del sistema de enfriamiento para enfriar con toda seguridad la sustancia (hasta 500 W/kg si se utiliza agua como líquido refrigerante). La prueba no es perfectamente adiabática, pero las pérdidas de calor son de menos de 10 mW. El error máximo es del 30% a 15 mW/kg y del 10% de 100 mW/kg a 10 W/kg.

28.4.2.1.3 Si se activa el sistema de enfriamiento en una fase en que la tasa de generación de calor excede de la capacidad de enfriamiento, puede producirse una explosión. ***Por ello, debe elegirse con cuidado el lugar de la prueba a fin de reducir al mínimo los posibles riesgos de explosión y la posibilidad de una ulterior explosión de gas de los productos de descomposición (explosión secundaria).***

28.4.2.2 *Aparatos y materiales*

28.4.2.2.1 Los aparatos para la prueba consisten en un frasco de Dewar, de vidrio (1,0 a 1,5 litros), que contiene la muestra, un horno aislado, provisto de un sistema de regulación diferencial para mantener la temperatura del horno dentro de un margen de 0,1ºC con relación a la temperatura de la muestra, y una tapa de material inerte para el frasco de Dewar. En casos especiales, puede resultar necesario utilizar portamuestras hechos de otros materiales. Un serpentín de calentamiento y un tubo de enfriamiento, de material inerte, se introducen en la muestra a través de la tapa. Para impedir un aumento excesivo de la presión en el frasco se utiliza un tubo capilar de PTFE, de 2 m de longitud, que se introduce por la tapa aislada. Se emplea un dispositivo eléctrico de potencia constante para el calentamiento interno de la sustancia hasta alcanzar una temperatura preestablecida o a efectos de calibración. El calentamiento y enfriamiento internos pueden iniciarse o detenerse automáticamente a la temperatura fijada de antemano. Además del sistema de enfriamiento, se instala un dispositivo secundario de seguridad que desconecta el suministro de energía al horno a esa temperatura. En la figura 28.4.2.1 se representa esquemáticamente la instalación utilizada para esta prueba.

28.4.2.2.2 La temperatura de la sustancia se mide en su centro mediante unos termopares o unos sensores de resistencia, de platino, colocados en un tubo de acero o de vidrio. La temperatura del aire circundante se mide a la misma altura que la temperatura de la muestra, también mediante termopares o sensores de resistencia. Se necesitan aparatos de medición y registro continuos de la temperatura para observar la temperatura de la sustancia y del aire en el horno. Este equipo debe protegerse de los riesgos de incendio y explosión. Para las sustancias con una TDAA inferior a la temperatura ambiente, la prueba debe efectuarse en una cámara de refrigeración o debe utilizarse dióxido de carbono sólido para enfriar el horno.

28.4.2.3 *Procedimiento*

28.4.2.3.1 Procedimiento de calibración

Este procedimiento consta de las siguientes operaciones:

a) Llenar el frasco de Dewar de cloruro sódico, ftalato de dibutilo o un aceite apropiado y colocarlo en el portarrecipientes del horno;

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

b) Calentar la muestra por tramos de 20ºC, utilizando el dispositivo de calentamiento interno a determinada potencia, por ejemplo, 0,333 ó 1.000 W, y determinar las pérdidas de calor a 40ºC, 60ºC, 80ºC y 100ºC;

c) Utilizar los datos para calcular la capacidad térmica del frasco de Dewar empleando el método descrito en el párrafo 28.4.2.4.

28.4.2.3.2 Procedimiento de prueba

Se aplica el procedimiento siguiente:

a) Echar en el frasco de Dewar la muestra pesada, incluida una cantidad representativa del material de embalaje/envase (si es metal), y colocarlo en el portarrecipientes del horno;

b) Iniciar el control de la temperatura y, a continuación, elevar la temperatura de la muestra mediante el dispositivo de calentamiento interno hasta alcanzar una temperatura establecida en la que pueda haber calentamiento espontáneo. La elevación de la temperatura, el tiempo de calentamiento y la potencia necesaria permiten calcular el calor específico de la sustancia;

c) Detener el calentamiento interno y observar la temperatura. Si en un plazo de 24 horas no se aprecia ningún aumento de la temperatura por calentamiento espontáneo, hay que elevar la temperatura en 5ºC. Se repite esta operación hasta que se detecta calentamiento espontáneo;

d) Una vez detectado el calentamiento espontáneo, se deja que la muestra se caliente en condiciones adiabáticas hasta una temperatura establecida en la que la tasa de generación de calor es inferior a la capacidad de enfriamiento, en cuyo momento se activa el sistema de enfriamiento;

e) Tras el enfriamiento, se determina la pérdida de masa, si la hay, y, si se desea, el cambio de composición.

28.4.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

28.4.2.4.1 Se calcula la tasa de pérdida de temperatura (A en ºC/h) del frasco de Dewar a las distintas temperaturas utilizadas en el procedimiento de calibración. Se traza una curva con estos valores, a fin de determinar la tasa de pérdida de calor a cualquier temperatura.

28.4.2.4.2 Se calcula la capacidad térmica (H en J/ºC) del frasco de Dewar mediante la fórmula siguiente:

$$H = \frac{3600 \times E_1}{A + B} - \left(M_1 - Cp_1\right)$$

siendo E_1 = energía aplicada al dispositivo de calentamiento interno (W)

A = tasa de pérdida de temperatura a la temperatura de cálculo (ºC/h)

B = pendiente de la curva de calentamiento interno (sustancia utilizada para la calibración) a la temperatura de cálculo (ºC/h)

M_1 = masa de la sustancia utilizada para la calibración (kg)

Cp_1 = calor específico de la sustancia utilizada para la calibración (J/kgºC)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.2.4.3 Se determina la pérdida de calor K (en W) mediante la fórmula siguiente:

$$K = \frac{A \times (H + M_1 + Cp_1)}{3600}$$

a cada temperatura deseada, y se traza una curva con esos valores.

28.4.2.4.4 Se calcula el calor específico (Cp_2 en J/kgºC) de la sustancia mediante la fórmula siguiente:

$$Cp_2 = \frac{3600 \times (E_2 + K)}{C \times M_2} - \frac{H}{M_2}$$

siendo E_2 = energía aplicada al dispositivo de calentamiento interno (W)

C = pendiente de la curva de calentamiento interno (muestra) a la temperatura de cálculo (ºC/h)

M_2 = masa de la muestra (kg)

28.4.2.4.5 Se calcula la generación de calor (QT en W/kg) de la sustancia a intervalos de 5ºC , utilizando para cada temperatura la fórmula siguiente:

$$Q_t = \frac{\left(M_2 \times Cp_2 + H\right) \times \frac{D}{3600} - K}{M_2}$$

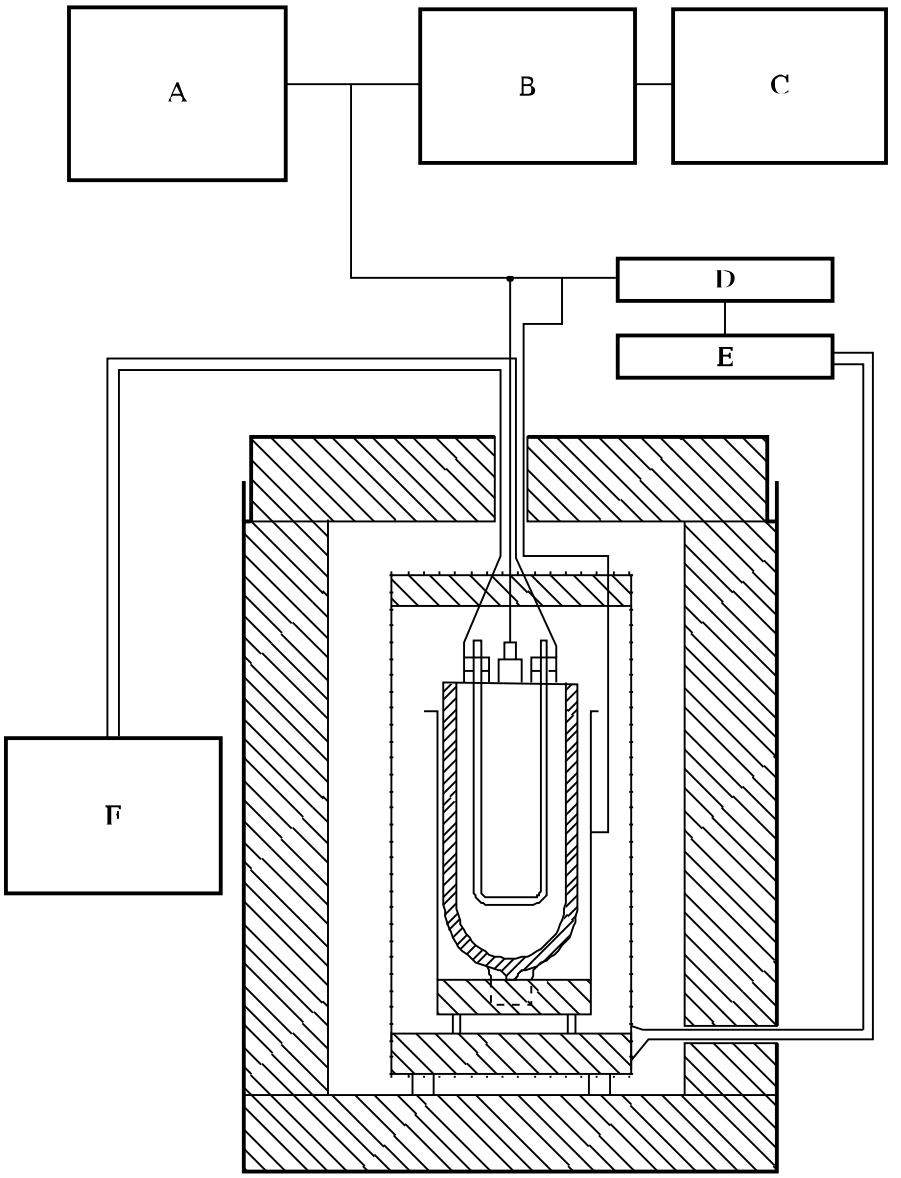
siendo: D = pendiente de la curva durante el período de calentamiento espontáneo a la temperatura de cálculo (ºC/h)

28.4.2.4.6 Se representan las tasas calculadas de generación de calor por unidad de masa en función de la temperatura en un gráfico de escalas lineales y se traza la curva óptima uniendo los puntos marcados. Se determinan las pérdidas de calor por unidad de masa (L en W/kgºC) del embalaje/envase, RIG o cisterna de que se trate (véase 28.3.3). Se traza una recta de pendiente L, tangente a la curva de generación de calor. La intersección de la recta y del eje de abscisas representa la temperatura ambiente crítica, que es la temperatura más alta a la que la sustancia, tal como está embalada/envasada, no sufre una descomposición autoacelerada. La TDAA es igual a la temperatura ambiente crítica (en ºC) redondeada hacia arriba hasta el múltiplo de 5ºC más próximo. En la figura 28.4.2.2 se da un ejemplo de esta operación.

28.4.2.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Masa (kg)**	**Embalaje/ envase**	**Pérdida de calor por unidad de masa (mW/kg.K)**	**TDAA (ºC)**
Azodicarbonamida	30	1G	100	> 75
Peroxibenzoato de terc-butilo	25	6HG2	70	55
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	25	HG2	70	40
Peroxipivalato de terc-butilo	25	6HG2	70	25

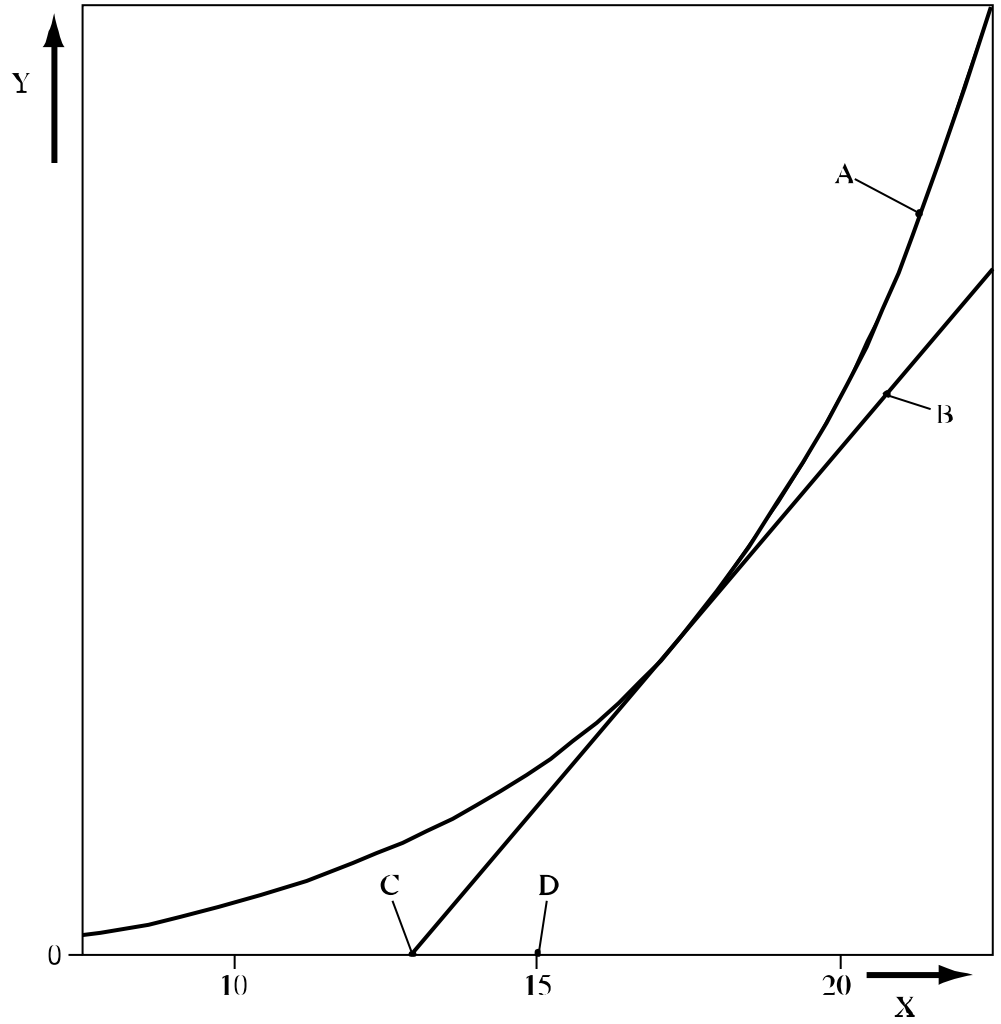
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Registrador de datos múltiples y regulador de temperatura (10 mV)
(B) Dispositivo exterior de puesta a cero
(C) Registrador de precisión
(D) Mando
(E) Relé
(F) Dispositivo de precalentamiento interno

Figura 28.4.2.1: PRUEBA DE ALMACENAMIENTO ADIABÁTICO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Curva de generación de calor
(B)	Línea con pendiente igual a la tasa de pérdida de calor y tangente a la curva de generación de calor
(C)	Temperatura ambiente crítica (intersección de la línea de pérdida de calor y el eje de abscisas)
(D)	Temperatura de descomposición autoacelerada (TDAA) - igual a la temperatura ambiente crítica redondeada hacia arriba hasta el múltiplo de 5ºC más próximo
(X)	Temperatura
(Y)	Flujo térmico (generación o pérdida) por unidad de masa

Figura 28.4.2.2: EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA TDAA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.3 *Prueba H.3: Prueba de almacenamiento isotérmico*

28.4.3.1 *Introducción*

28.4.3.1.1 Este método permite determinar la tasa de calor generado en función del tiempo, a temperatura constante, por la reacción o la descomposición de sustancias. Partiendo de los parámetros de la generación de calor y de los datos sobre la pérdida de calor relativos al embalaje/envase, se puede calcular la TDAA de una sustancia en su embalaje/envase. El método es adecuado para todo tipo de embalajes/envases, incluidos los RIG y las cisternas. En el caso de algunas sustancias, el calor generado aumenta a medida que avanza la descomposición (por ejemplo, por autocatálisis o por descomposición inducida). Esta propiedad también se toma en consideración en la prueba.

28.4.3.1.2 Las mediciones pueden hacerse a temperaturas de -20ºC a 200ºC. Los valores de calor generado mensurables van de 5 mW/kg a 5 W/kg. La resistencia térmica entre el portamuestra y el disipador de calor es de 0,1 W/ºC aproximadamente. El aparato permite medir una gama de tasas de generación de calor de 15 mW/kg a 1.500 mW/kg, con una precisión del 30% a 15 mW/kg y del 5% entre 100 y 1.500 mW/kg.

28.4.3.1.3 Por la solidez del aparato y la masa relativamente pequeña de la muestra y también por tener unas condiciones de utilización muy definidas, el aparato se presta a la realización de pruebas en un laboratorio corriente. Los efectos de una explosión térmica, por ejemplo, la fragmentación del portamuestra y la producción de una presión, deben poder contenerse dentro del aparato.

28.4.3.2 *Aparatos y materiales*

28.4.3.2.1 La instalación comprende un disipador de calor (un bloque de aluminio) aislado por aire, que se mantiene a temperatura constante mediante calentamiento controlado. Se obtienen temperaturas inferiores a 40ºC utilizando un criostato. El dispositivo de regulación permite mantener la temperatura constante con un margen de 0,2ºC. La temperatura del disipador de calor se mide mediante un sensor de resistencia de platino. Las dos perforaciones hechas en el bloque contienen unos dispositivos de medición de la corriente térmica (por ejemplo, elementos Peltier). La figura 28.4.3.1 representa un esquema de la instalación utilizada para la prueba de almacenamiento isotérmico. Para las sustancias que tengan una TDAA por debajo de la temperatura ambiente, la prueba debe efectuarse en una cámara de enfriamiento o debe utilizarse dióxido de carbono en estado sólido para enfriar el horno.

28.4.3.2.2 Se coloca un recipiente sobre cada uno de los dispositivos de medición de la corriente térmica; uno contiene la muestra y el otro una sustancia inerte. Ambos recipientes son idénticos y tienen una capacidad de 70 cm^3. Cada uno contiene alrededor de 20 g de sustancia. Los recipientes son de vidrio o acero inoxidable. El acero tiene que ser compatible con la sustancia con la que se va a efectuar la prueba. Si se utiliza un recipiente de vidrio, éste está provisto de un largo tubo capilar que impide que aumente la presión en el recipiente y que se evapore la muestra.

28.4.3.2.3 La diferencia de tensión resultante de la diferencia de corriente térmica que va del portamuestra al disipador de calor y del recipiente de sustancia inerte al disipador de calor se registra de forma continua en función del tiempo (medida diferencial) mediante registrador u ordenador.

28.4.3.3 *Procedimiento*

28.4.3.3.1 Procedimiento de calibración

Antes de efectuar una medición, hay que determinar la tensión en vacío y la sensibilidad del dispositivo de medición de la corriente térmica por el procedimiento de calibración siguiente:

a) Se regulan los aparatos a la temperatura elegida para la prueba.

b) Se introduce un serpentín de calentamiento en el portamuestra. Se llenan el portamuestra y el recipiente testigo con una sustancia inerte (por ejemplo, cloruro sódico

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

o perlas de vidrio trituradas) asegurándose de que el serpentín quede completamente cubierto por la sustancia. Se colocan ambos recipientes en el aparato.

c) Se determina la tensión en vacío (la tensión producida por el registrador cuando no se aplica una corriente eléctrica al serpentín de calentamiento).

d) Se determina la sensibilidad del dispositivo de medición de la corriente térmica utilizando dos o tres valores de potencia de calentamiento situados dentro de la gama prevista de generación de calor de la muestra que se vaya a someter a prueba.

28.4.3.3.2 Procedimiento de prueba

El procedimiento de prueba es el siguiente:

a) Se regulan los aparatos a la temperatura elegida para la prueba.

b) Se rellena el portamuestra con la muestra pesada y con una cantidad representativa de material de embalaje/envase (si es un metal) y se introduce el recipiente en el aparato. La cantidad de muestra debe ser suficiente para dar una tasa de generación de calor de 5 mW a 1.500 mW por cada kilo de sustancia.

c) Se empieza a medir la tasa de producción de calor. No se deben utilizar los resultados que se obtengan en las primeras 12 horas de la prueba, dado que este período es necesario para conseguir el equilibrio térmico. La duración de cada prueba depende de la temperatura de la prueba y de la tasa de producción de calor. La prueba debe prolongarse por lo menos durante 24 horas después del período inicial de 12 horas, pero luego puede interrumpirse si la generación de calor empieza a caer por debajo del máximo o si la tasa de generación de calor es superior a 1,5 W/kg.

d) Al terminar cada prueba debe determinarse la variación que haya experimentado la masa de la muestra.

e) Se repite la prueba con nuevas muestras, a intervalos de temperatura de 5ºC, de modo que se obtengan siete resultados con una tasa de generación de calor máxima situada entre 15 y 1.500 mW/kg.

28.4.3.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

28.4.3.4.1 Se calcula la sensibilidad (S en mW/mV) del aparato a diversas potencias eléctricas utilizadas en el procedimiento de calibración mediante la fórmula siguiente:

$$S = \frac{P}{U_d - U_b}$$

siendo P = potencia eléctrica (mW)

U_d = tensión ficticia (mV)

U_b = tensión en vacío (mV)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.3.4.2 Se utilizan estos valores y los datos de la prueba para calcular la tasa máxima de generación de calor (Q en mW/kg), a las distintas temperaturas, mediante la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{(U_s - U_b) \times S}{M}$$

siendo U_s = tensión de la muestra (mV)

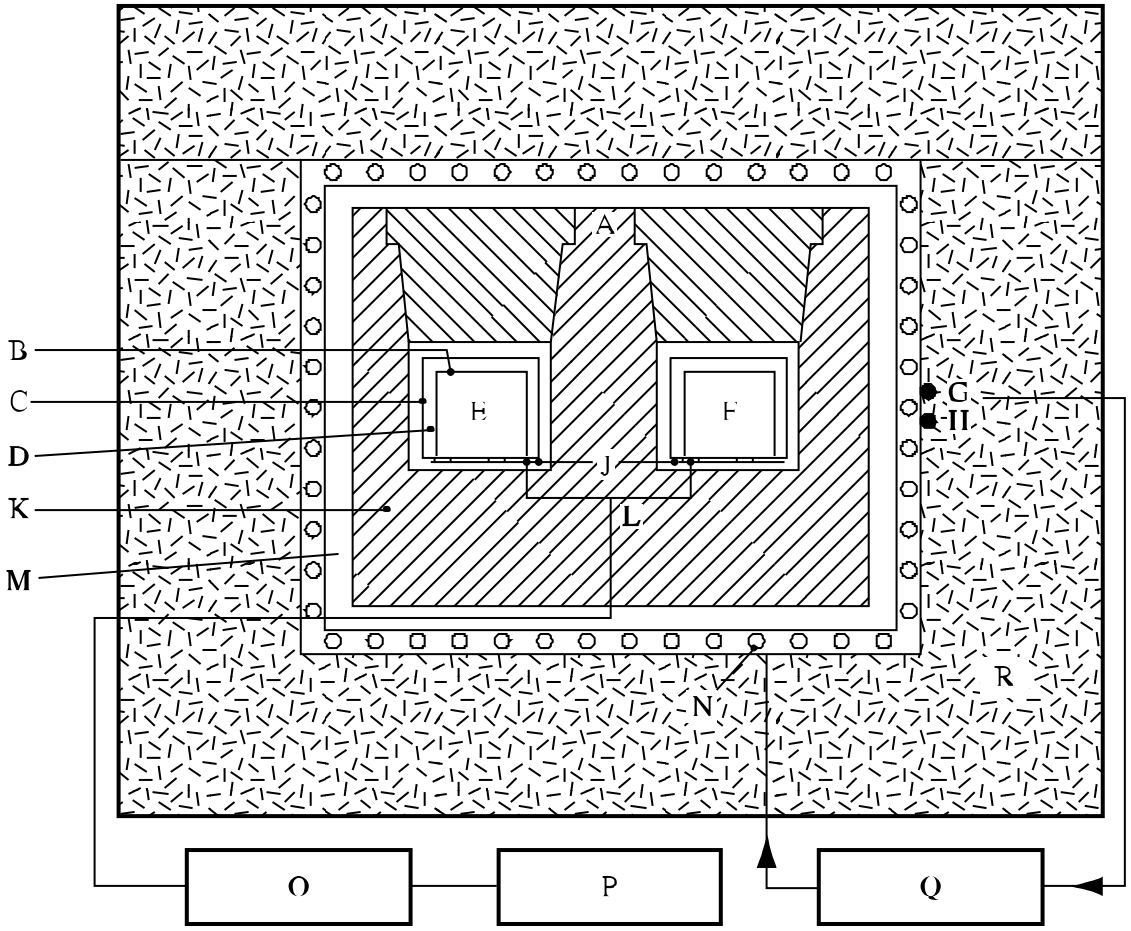
M = masa (kg)

28.4.3.4.3 Se representan, en un gráfico de escalas lineales, los valores máximos de la generación de calor por unidad de masa en función de la temperatura de prueba, y se traza la curva mejor ajustada, uniendo los puntos obtenidos. Se determinan las pérdidas de calor por unidad de masa (L en W/kgºC) del embalaje/envase, del RIG o de la cisterna de que se trate. Se traza en el diagrama una recta con una pendiente igual a L que sea tangente a la curva de generación de calor. La intersección de la recta y del eje de abscisas representa la temperatura ambiente crítica, que es la temperatura más alta a la que la sustancia, tal como está embalada/envasada, no experimenta una descomposición autoacelerada. La TDAA es la temperatura ambiente crítica (en ºC) redondeada hacia arriba hasta el múltiplo de 5ºC más próximo. Se representa un ejemplo en la figura 28.4.3.2.

28.4.3.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Masa (kg)**	**Embalaje/envase**	**Pérdida de calor por unidad de masa (mW/kg.K)**	**TDAA (ºC)**
Azodicarbonamida	30	1G	100	> 75
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-(fenilsulfonil) bencenodiazonio y de cinc (67%)	25	1G	15	50
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-morfolinobencenodiazonio y de cinc (90%)	25	1G	150	45
Cloruro de 2-(N-etoxicarbonil-N-fenilamino) -3-metoxi-4-(N-metil-N-ciclohexilamino)-bencenodiazonio y de cinc (62%)	25	1G	15	45
Peroxibenzoato de terc-butilo	25	6HG2	70	55
Peroxi-2-etilhexanoato de terc-butilo	25	6HG2	70	40
Peroxipivalato de terc-butilo	25	6HG2	70	25
Tetrafluoroborato de 2,5-dietoxi-4-morfolino-bencenodiazonio (97%)	25	1G	15	55
Tetrafluoroborato de 3-metil-4-(pirrolidin-1-il) benceno-diazonio	25	1G	15	55

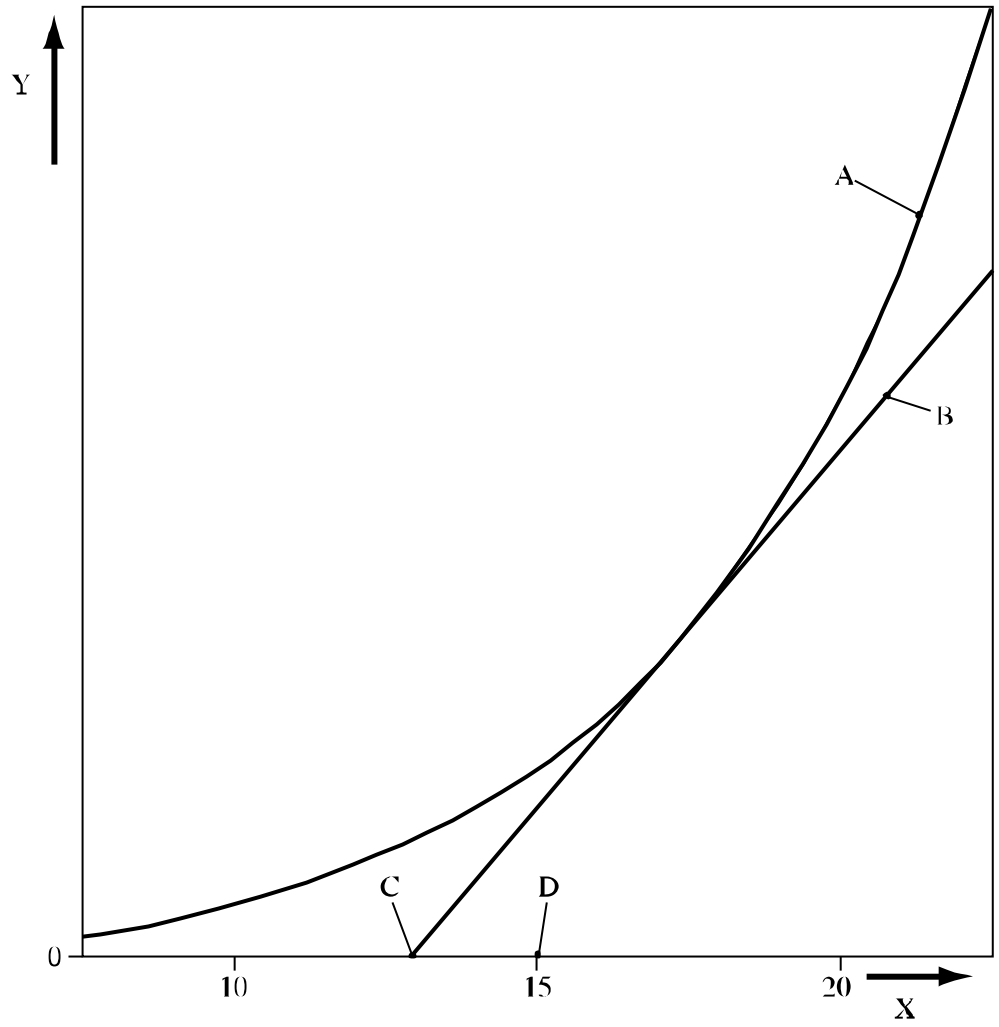
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Termómetro de resistencia, de platino	(B)	Recipiente que contiene la muestra
(C)	Recipiente cilíndrico	(D)	Espacios vacíos
(E)	Muestra	(F)	Sustancia inerte
(G)	Sensor de resistencia, de platino, para la regulación de la temperatura	(H)	Sensor de resistencia, de platino, para el mando de seguridad
(J)	Elementos Peltier	(K)	Bloque de aluminio
(L)	Circuito eléctrico	(M)	Espacio vacío
(N)	Cables calefactores	(O)	Amplificador
(P)	Registrador	(Q)	Dispositivo de regulación de la temperatura
(R)	Lana de vidrio		

Figura 28.4.3.1: PRUEBA DE ALMACENAMIENTO ISOTÉRMICO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Curva de generación de calor
(B)	Recta con pendiente igual a la tasa de pérdida de calor y tangente a la curva de generación de calor
(C)	Temperatura ambiente crítica (intersección de la línea de pérdida de calor con el eje de abscisas)
(D)	Temperatura de descomposición autoacelerada (TDAA) - temperatura ambiente crítica redondeada hacia arriba hasta el múltiplo de 5ºC más próximo
(X)	Temperatura
(Y)	Corriente térmica (generación o pérdida) por unidad de masa

Figura 28.4.3.2: EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DE LA TDAA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.4 *Prueba H.4: Prueba de almacenamiento con acumulación de calor*

28.4.4.1 *Introducción*

28.4.4.1.1 Este método permite determinar la temperatura constante mínima del aire a la que unas sustancias térmicamente inestables experimentan una descomposición exotérmica en condiciones de prueba representativas de las sustancias cuando van embaladas/envasadas para el transporte. Se funda en la teoría de Semenov sobre la explosión térmica, según la cual se considera que la resistencia principal al flujo térmico se encuentra en las paredes del recipiente. Puede utilizarse para determinar la TDAA de una sustancia en su embalaje/envase, incluidos los RIG y las cisternas pequeñas (de hasta 2 m^3).

28.4.4.1.2 La eficacia de este método depende de la elección de un frasco de Dewar que presente características de pérdida de calor por unidad de masa análogas a las del bulto que se presenta para el transporte.

28.4.4.2 *Aparatos y materiales*

28.4.4.2.1 Los aparatos necesarios comprenden una cámara de prueba apropiada, unos frascos de Dewar adecuados con cierres, unas sondas térmicas y un equipo registrador.

28.4.4.2.2 ***La prueba debe efectuarse en una cámara que pueda resistir al fuego y a la sobrepresión y que, preferentemente, esté provista de un sistema de reducción de la presión (por ejemplo, un dispositivo de extracción)***. El dispositivo registrador debe situarse en una zona de observación separada.

28.4.4.2.3 Para las pruebas que se efectúan a temperaturas inferiores a 75ºC, se utiliza una cámara de metal, de paredes dobles (de 250 mm de diámetro interior, 320 mm de diámetro exterior y 480 mm de altura, aproximadamente, de lámina de acero inoxidable, de 1,5 a 2,0 mm de espesor) con el fluido de un baño de circulación, de temperatura regulada, que pasa entre las paredes a la temperatura deseada. La cámara se cierra con una tapa no hermética, con aislamiento (por ejemplo, de cloruro de polivinilo de 10 mm de espesor). La temperatura debe regularse de manera que se pueda mantener la temperatura deseada para una muestra inerte líquida contenida en el frasco de Dewar, con un margen de no más de ± 1ºC, durante diez días.

28.4.4.2.4 También puede utilizarse, especialmente para las pruebas a temperaturas superiores a 75ºC, un horno de secado, con termostato (que pueda ir provisto de ventilador), suficientemente grande para que el aire pueda circular por todas partes alrededor del frasco. La temperatura del aire en el horno debe regularse de manera que se pueda mantener la temperatura deseada, con un margen de ± 1ºC, en una muestra inerte líquida durante diez días. La temperatura del aire en el horno debe medirse y registrarse. Se recomienda que la puerta del horno vaya provista de un cierre magnético o que se sustituya por una cubierta de material aislante, no hermética. El horno puede estar protegido por un revestimiento de acero apropiado y el frasco de Dewar puede colocarse en un cesto de tela metálica.

28.4.4.2.5 Para las pruebas que se efectúen a temperaturas inferiores a la temperatura ambiente, puede utilizarse una cámara de paredes dobles (por ejemplo, un congelador) de un tamaño adecuado, provista de una puerta o tapa no hermética (por ejemplo, con cierre magnético). La temperatura del aire en la cámara debe mantenerse a la temperatura fijada, con un margen de ± 1ºC.

28.4.4.2.6 Los frascos de Dewar, con su sistema de cierre, se utilizan para sustancias cuyas características de pérdida de calor son representativas del tamaño máximo del bulto que se presenta para el transporte. El cierre del frasco debe ser de material inerte. Pueden emplearse tapas de corcho o caucho, especialmente para los sólidos. En la figura 28.4.4.1 se representa un sistema de cierre utilizable para líquidos de volatilidad baja o media. Las muestras que sean muy volátiles a la temperatura de prueba deben someterse a prueba en un recipiente hermético de metal, provisto de una válvula de reducción de la presión. El recipiente a presión se coloca en el frasco de Dewar y se tiene en cuenta el efecto de la capacidad térmica del recipiente de metal mediante cálculo.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

28.4.4.2.7 Antes de efectuar la prueba, deben establecerse las características de pérdida de calor del sistema utilizado, es decir, el frasco de Dewar y su cierre (véase 28.3.6). Como el sistema de cierre tiene un efecto importante en las características de pérdida de calor, estas últimas pueden ajustarse en cierta medida variando el sistema de cierre. Para lograr el nivel de sensibilidad deseado, no deben emplearse frascos de Dewar con una capacidad inferior a 0,5 litros.

28.4.4.2.8 Los frascos de Dewar, con 400 ml de sustancia y una pérdida de calor de 80 a 100 mW/kg.K, son normalmente apropiados para representar un bulto de 50 kg. Para los bultos más grandes, los RIG o las cisternas pequeñas, deben utilizarse frascos de mayor tamaño, con menor pérdida de calor por unidad de masa. Por ejemplo, para los RIG y las cisternas pequeñas puede convenir un frasco esférico de 1 litro, con unas características de pérdida de calor del orden de 16 a 34 mW/kg.K.

28.4.4.3 *Procedimiento*

28.4.4.3.1 Se regula la temperatura de la cámara de prueba a la temperatura elegida para la prueba de almacenamiento. Se llena el frasco de Dewar, hasta el 80% de su capacidad, con la sustancia que se somete a prueba y se anota la masa de la muestra. Los sólidos deben estar moderadamente comprimidos. Se inserta la sonda de temperatura en el centro de la muestra. Se coloca la tapa del frasco y se introduce éste en la cámara de prueba, se conecta el sistema de registro de la temperatura y se cierra la cámara.

28.4.4.3.2 Se calienta la muestra y se registran continuamente la temperatura de la muestra y la de la cámara. Se anota el momento en que la muestra alcanza una temperatura inferior en 2ºC a la de la cámara. Se continúa la prueba durante siete días o hasta que la temperatura de la muestra se eleve 6ºC o más por encima de la temperatura de la cámara, si esto ocurre antes. Se anota el tiempo que ha tardado la muestra en elevarse desde 2ºC por debajo de la temperatura de la cámara hasta su temperatura máxima.

28.4.4.3.3 Si la muestra no ha quedado destruida, hay que enfriarla, retirarla de la cámara y destruirla cuidadosa y rápidamente. Se pueden determinar las pérdidas porcentuales de masa y los cambios de composición.

28.4.4.3.4 Se repite la prueba con muestras nuevas, variando la temperatura de almacenamiento por tramos de 5ºC. Si la sustancia se somete a prueba para averiguar si es necesario regular la temperatura, se efectúa un número suficiente de pruebas para determinar la TDAA al múltiplo de 5ºC más próximo o para averiguar si la TDAA es igual o superior a 60ºC. Si la sustancia se somete a prueba para determinar si se cumple el criterio de la TDAA para una sustancia de reacción espontánea, se efectúa un número suficiente de pruebas para determinar si la TDAA es igual o inferior a 75ºC en el caso de un bulto de 50 kg.

28.4.4.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

28.4.4.4.1 La TDAA se considera como la temperatura más baja a la que la muestra experimenta una descomposición autoacelerada y que excede de la temperatura de la cámara de prueba en 6ºC o más. Si la temperatura de la muestra no excede, en ninguna prueba, de la temperatura de la cámara de prueba en 6ºC o más, se considera que la TDAA es superior a la temperatura de almacenamiento más elevada que se haya utilizado.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

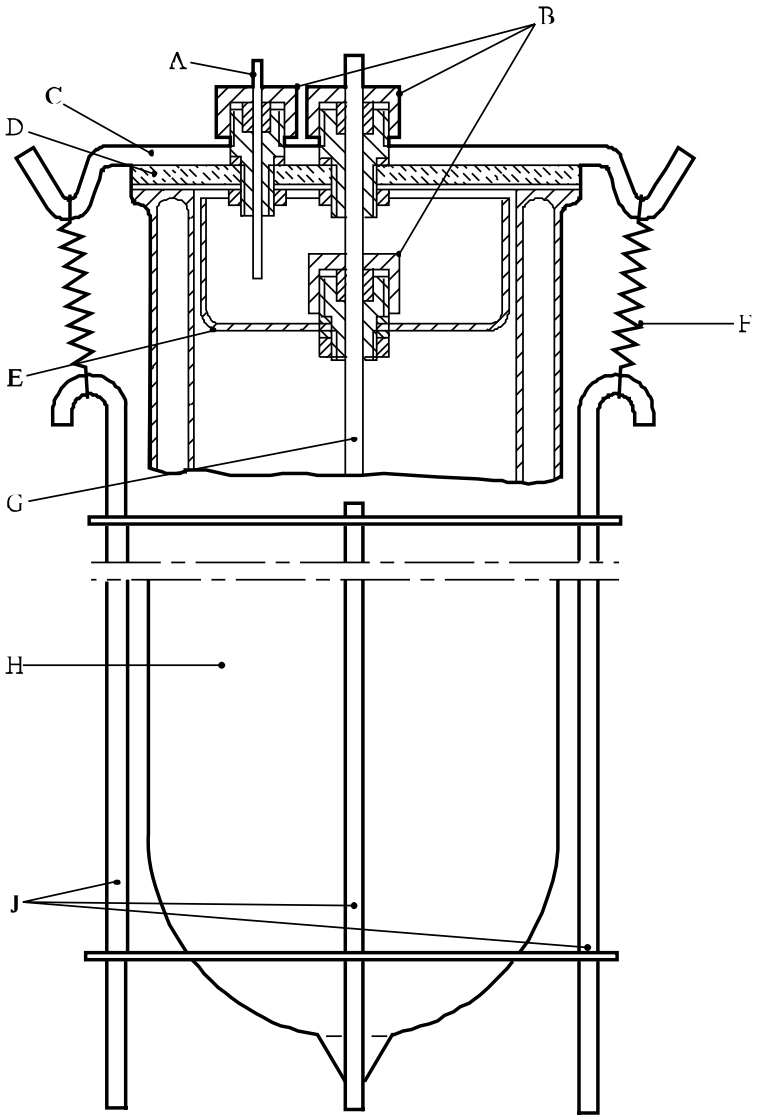
28.4.4.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Masa de la muestra (kg)**	**Pérdida de calor en el frasco (mW/kg.K)**	**TDAA (ºC)**
Ácido peroxiacético, 15% con 14% de peróxido de hidrógeno (tipo F)	1,00	33	> 50[b]
Azodicarbonamida	0,28	74	> 75
Azodicarbonamida, 90% con 10% de activador	0,21	70	55
2,2´-Azodi(isobutironitrilo)	0,18	62	50
Cloruro de 2,5-dietoxi-4-morfolinobencenodiazonio y de cinc (66%)	0,25	58	45
2,2-Di-(terc-butileperoxi)butano, 50%	0,31	88	80
1,3-Disulfohidrazida del benceno, 50%	0,52	81	70
Hidroperóxido de terc-butilo, 80% con 12% deperóxido de di-terc-butilo	0,30	72	100[a]
Peroxidicarbonato de di-(2-etilhexilo)	0,39	64	0
Peroxidicarbonato de di-(4-terc-butilciclohexilo)	0,19	79	45
Peróxido de dibenzoílo, 50%	0,25	91	60
Peroxineodecanoato de terc-butilo, 40%	0,42	65	25
Peroxi-3,5,5-trimetil-hexanoato de terc-butilo	0,38	79	60

[a] *En un recipiente a presión dentro de un frasco de Dewar de 2 litros.*

[b] *En un frasco de Dewar esférico, de un litro.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tubo capilar de tetranitrato de pentaeritritol (TNPE)	(B)	Sistema roscado especial (TNPE o A1) con junta tórica
(C)	Tira de metal	(D)	Tapa de vidrio
(E)	Base del vaso de vidrio	(F)	Muelle
(G)	Tubo protector de vidrio	(H)	Frasco de Dewar
(J)	Dispositivo de retención, de acero		

Figura 28.4.4.1:
FRASCO DE DEWAR CON CIERRE PARA PRUEBAS DE LÍQUIDOS O DE SÓLIDOS HUMIDIFICADOS CON AGUA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

PARTE III

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 2, LA CLASE 3, LA CLASE 4, LA DIVISIÓN 5.1, LA CLASE 8 Y LA CLASE 9

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE III

***NOTA 1**: El país u organización de origen de cada prueba se indica entre paréntesis después del nombre de la prueba.*

***NOTA 2**: Todos los métodos de prueba que se indican en la parte III del presente Manual son pruebas recomendadas, ya que sólo se da una prueba por cada propiedad.*

Sección **Página**

30. INTRODUCCIÓN A LA PARTE III 335
30.1 OBJETIVO 335
30.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN 335

31. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS Y CRITERIOS DE PRUEBA RELATIVOS A LOS AEROSOLES INFLAMABLES DE LA CLASE 2 337
31.1 OBJETIVO 337
31.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN 337
31.3 PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN DE LOS AEROSOLES INFLAMABLES 338
31.4 PRUEBA DE INFLAMACIÓN A DISTANCIA PARA LOS AEROSOLES VAPORIZADOS 342
31.5 PRUEBA DE LA INFLAMACIÓN DENTRO DE UN ESPACIO CERRADO 346
31.6 PRUEBA DE INFLAMACIÓN DE LAS ESPUMAS DE AEROSOL 351

32. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LOS EXPLOSIVOS LÍQUIDOS DESENSIBILIZADOS Y LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES DE LA CLASE 3 353
32.1 OBJETIVO 353
32.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN 353
32.3 PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN 354
32.4 MÉTODOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACIÓN Y LA VISCOSIDAD 356
32.5 MÉTODOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA SEPARACIÓN DEL DISOLVENTE Y LA COMBUSTIÓN SOSTENIDA 358
32.5.1 Prueba L.1: Prueba de separación del disolvente (Naciones Unidas) 358
32.5.2 Prueba L.2: Prueba de combustibilidad sostenida (Naciones Unidas) 359
32.6 Métodos de prueba utilizados para determinar el punto de ebullición inicial 364

33. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 4 365
33.1 INTRODUCCIÓN 365

33.2 **DIVISIÓN 4.1** 365
33.2.1 SÓLIDOS INFLAMABLES 365
33.2.1.1 Objetivo 365
33.2.1.2 Ámbito de aplicación 365
33.2.1.3 Procedimiento de clasificación para los sólidos que entran fácilmente en combustión 365

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE III *(continuación)*

Sección **Página**

33.2.1.4 Prueba N.1: Método de prueba para las sustancias que entran fácilmente en combustión (Naciones Unidas) 367
33.2.2 Reservada 370
33.2.3 EXPLOSIVOS SÓLIDOS DESENSIBILIZADOS DE LA DIVISIÓN 4.1 370

33.3 **DIVISIÓN 4.2** 371
33.3.1 SUSTANCIAS QUE PUEDEN EXPERIMENTAR COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA 371
33.3.1.1 Objetivo 371
33.3.1.2 Ámbito de aplicación 371
33.3.1.3 Procedimiento de clasificación de las sustancias que pueden experimentar combustión espontánea 371
33.3.1.4 Prueba N.2: Método de prueba para sólidos pirofóricos (Naciones Unidas) 374
33.3.1.5 Prueba N.3: Método de prueba para líquidos pirofóricos (Naciones Unidas) 374
33.3.1.6 Prueba N.4: Método de prueba para las sustancias que experimentan375 calentamiento espontáneo (Naciones Unidas) 378

33.4 **DIVISIÓN 4.3** 378
33.4.1 SUSTANCIAS QUE, EN CONTACTO CON EL AGUA, DESPRENDEN GASES INFLAMABLES 378
33.4.1.1 Objetivo 378
33.4.1.2 Ámbito de aplicación 378
33.4.1.3 Procedimiento de clasificación para las sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables 378
33.4.1.4 Prueba N.5: Método de prueba para las sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables (Naciones Unidas) 381

34. PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS COMBURENTES DE LA DIVISIÓN 5.1 381
34.1 OBJETIVO 381
34.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN 381
34.3 PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN 381
34.4 MÉTODOS DE PRUEBA PARA SUSTANCIAS COMBURENTES 382
34.4.1 Prueba O.1: Prueba para sustancias comburentes sólidas (Naciones Unidas) 382
34.4.2 Prueba O.2: Prueba para sustancias comburentes líquidas (Naciones Unidas) 386

35. *Reservada para los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a la clase 6* 393

36. *Reservada para los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a la clase 7* 395

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE LA PARTE III *(continuación)*

Sección		Página
37.	**PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS DE LA CLASE 8**	397
37.1	OBJETIVO	397
37.2	ÁMBITO DE APLICACIÓN	397
37.3	PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN	397
37.4	MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA CORROSIVIDAD PARA LOS METALES	397
37.4.1	Introducción	397
37.4.1.1	Prueba C.1: Prueba de determinación de las propiedades corrosivas de las sustancias líquidas y de las sustancias sólidas que se pueden licuar en el curso del transporte como mercancías peligrosas de la clase 8, grupo de embalaje III	397
38.	**PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 9**	401
38.1	INTRODUCCIÓN	401
38.2	ABONOS A BASE DE NITRATO AMÓNICO QUE PUEDEN EXPERIMENTAR UNA DESCOMPOSICIÓN AUTOSOSTENIDA	401
38.2.1	Objetivo	401
38.2.2	Ámbito de aplicación	401
38.2.3	Procedimiento de clasificación	401
38.2.4	Prueba S.1: Prueba de la cubeta para determinar la descomposición autosostenida de los abonos a base de nitratos (Naciones Unidas)	401
38.3	BATERÍAS DE METAL LITIO Y DE IÓN LITIO	406
38.3.1	Objetivo	406
38.3.2	Ámbito de aplicación	406
38.3.4	Procedimiento	410
38.3.4.1	Prueba T.1: Simulación de altitud	410
38.3.4.2	Prueba T.2: Prueba térmica	411
38.3.4.3	Prueba T.3: Vibración	411
38.3.4.4	Prueba T.4: Choque	412
38.3.4.5	Prueba T.5: Cortocircuito externo	412
38.3.4.6	Prueba T.6: Impacto	413
38.3.4.7	Prueba T.7: Sobrecarga	413
38.3.4.8	Prueba T.8: Descarga forzada	414

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 30

INTRODUCCIÓN A LA PARTE III

30.1 Objetivo

30.1.1 En la parte III del presente Manual se describen los sistemas de las Naciones Unidas para la clasificación de los objetos y sustancias siguientes:

a) Aerosoles inflamables (véase sección 31 del presente manual y disposición especial 63 del capítulo 3.3 de la Reglamentación modelo);

b) Líquidos inflamables y explosivos líquidos insensibilizados de la clase 3 (véanse la sección 32 del presente Manual y el capítulo 2.3 de la Reglamentación Modelo);

c) Sólidos que entran fácilmente en combustión, sustancias afines a las sustancias de reacción espontánea y explosivos desensibilizados de la división 4.1 (véanse la sección 33.2 del presente Manual y el capítulo 2.4 de la Reglamentación Modelo);

d) Sustancias pirofóricas y sustancias que experimentan calentamiento espontáneo de la división 4.2 (véanse la sección 33.3 del presente Manual y el capítulo 2.4 de la Reglamentación Modelo);

e) Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables, de la división 4.3 (véanse la subsección 33.4 del presente Manual y el capítulo 2.4 de la Reglamentación Modelo);

f) Sustancias comburentes de la división 5.1 (véanse la subsección 34 del presente Manual y el capítulo 2.5 de la Reglamentación Modelo);

g) Sustancias corrosivas de la clase 8 (véase la sección 37 del presente Manual y el capítulo 2.8 de la Reglamentación Modelo);

h) Abonos a base de nitrato amónico que pueden experimentar una descomposición autosostenida, de la clase 9 (véase la subsección 38.2 del presente Manual); y

i) Pilas y baterías de litio, de la clase 9 (véase la sección 38.3 del presente Manual).

30.1.2 La parte III contiene algunos procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios que también figuran en la Reglamentación Modelo. Se han reservado las secciones 35 y 36 en previsión de una posible expansión futura de las clases 6 y 7, respectivamente.

30.2 Ámbito de aplicación

Antes de que un nuevo producto se presente para el transporte, debe llevarse a cabo el procedimiento de clasificación apropiado. El fabricante o la persona que solicite la clasificación de un nuevo producto deben proporcionar:

a) Información suficiente sobre los nombres y características de la sustancia u objeto;

b) los resultados de todas las pruebas pertinentes que se hayan efectuado; y

c) la clasificación propuesta, con posibles disposiciones en materia de riesgo secundario.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 31

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS Y CRITERIOS DE PRUEBA RELATIVOS A LOS AEROSOLES INFLAMABLES DE LA CLASE 2

31.1 Objetivo

31.1.1 La presente sección expone el esquema de las Naciones Unidas para la clasificación de los aerosoles inflamables. El texto debe usarse conjuntamente con los principios de clasificación dados en los capítulos 2.2 y 3.3 (disposición especial 63) de la Reglamentación Modelo, los diagramas de decisión que se dan aquí en las figuras 31.1, 31.2 y 31.3 y las prescripciones de prueba dadas en las subsecciones 31.4, 31.5 y 31.6 del presente Manual.

31.1.2 Los procedimientos de prueba aquí esbozados evalúan suficientemente el riesgo relativo de los aerosoles inflamables de manera que pueda hacerse una clasificación apropiada.

31.1.3 Para los fines de la presente sección, son aplicables las siguientes definiciones:

Los aerosoles o generadores de aerosoles son recipientes no rellenables que satisfacen los requisitos de la sección 6.2.4 de la Reglamentación Modelo, fabricados en metal, vidrio o plástico y que contienen un gas comprimido, licuado o disuelto a presión, con o sin líquido, pasta o polvo, y que están dotados de un dispositivo de descarga que permite expulsar el contenido en forma de partículas sólidas o líquidas en suspensión en un gas, como espuma, pasta o polvo, o en estado líquido o gaseoso.

Los componentes inflamables son líquidos inflamables, sólidos inflamables o gases o mezclas de gas inflamables. Esta designación no comprende las sustancias pirofóricas, las sustancias que experimentan calentamiento espontáneo y las que reaccionan al contacto con el agua.

NOTA 1: ***Por*** *líquido inflamable se entenderá un líquido con un punto de inflamación de como máximo 93ºC. Los métodos de prueba para determinar el punto de inflamación se enuncian en la subsección 32.4 del presente Manual.*

NOTA 2: *Para la definición de los sólidos inflamables, véase el párrafo 2.4.2.2 de la Reglamentación Modelo. Los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a los sólidos inflamables de la división 4.1 se enuncian en la subsección 33.2 del presente Manual.*

NOTA 3: *Por gas inflamable se entiende un gas con un dominio de inflamabilidad en mezcla con el aire a 20ºC y a la presión normal (101,3 kPa).*

31.2 Ámbito de aplicación

31.2.1 Los aerosoles presentados al transporte deben ser sometidos a las pruebas de clasificación enumeradas en el capítulo 3.3 (disposición especial 63) de la Reglamentación Modelo y, por lo que refiere a la inflamabilidad, deberán someterse al procedimiento de clasificación de la presente sección. El procedimiento de clasificación tiene que aplicarse antes de presentarse el nuevo producto al transporte.

NOTA: *Los generadores de aerosoles que no son sometidos a los procedimientos de clasificación de la presente sección deben clasificarse como extremadamente inflamables.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

31.3 Procedimiento de clasificación de los aerosoles inflamables

31.3.1 Los aerosoles deben clasificarse como inflamables o extremadamente inflamables sobre la base del calor químico de combustión y de su contenido en componentes inflamables, de la siguiente manera:

a) Un aerosol se clasifica como extremadamente inflamable si contiene por lo menos el 85% de componentes inflamables y si el calor químico de combustión es igual o superior a 30 kJ/g;

b) Un aerosol se clasifica como no inflamable si contiene como máximo 1% de componentes inflamables y si el calor químico de combustión es inferior a 20 kJ/g.

31.3.2 En el caso de los aerosoles vaporizados, la clasificación ha de hacerse sobre la base del valor del calor químico de combustión y de los resultados de la prueba de inflamación a distancia, de la siguiente manera:

a) Si el calor químico de combustión es inferior a 20 kJ/g:

i) El aerosol se clasifica como inflamable si la inflamación se produce a una distancia igual o superior a 15 cm pero inferior a 75 cm;

ii) El aerosol se clasifica como extremadamente inflamable si la inflamación se produce a una distancia igual o superior a 75 cm;

iii) Si no se produce ninguna inflamación, hay que recurrir a la prueba de la inflamación dentro de un espacio cerrado y, en este caso, el aerosol se clasifica como inflamable si el tiempo de inflamación es inferior o igual a 300 s/m^3 o si la densidad de deflagración es inferior o igual a 300 g/m^3; en caso contrario, el aerosol se clasifica como ininflamable;

b) Si el calor químico de combustión es igual o superior a 20 kJ/g, el aerosol se clasifica como extremadamente inflamable si la inflamación se produce a una distancia igual o superior a 75 cm; en caso contrario, el aerosol se clasifica como inflamable.

31.3.3 El calor químico de combustión debe determinarse conforme a uno de los métodos descritos en las normas siguientes: ASTM D 240, ISO/FDIS 13943:1999 (E/F) 86.1 a 86.3 y NFPA 30B.

31.3.4 En los casos de espumas de aerosoles, la clasificación se ha de hacer sobre la base de los resultados de la prueba de inflamación de las espumas (véase subsección 31.6 del presente Manual).

a) Un aerosol debe ser clasificado como extremadamente inflamable si:

i) la altura de la llama es igual o superior a 20 cm y la duración de la llama es igual o superior a 2 s; o

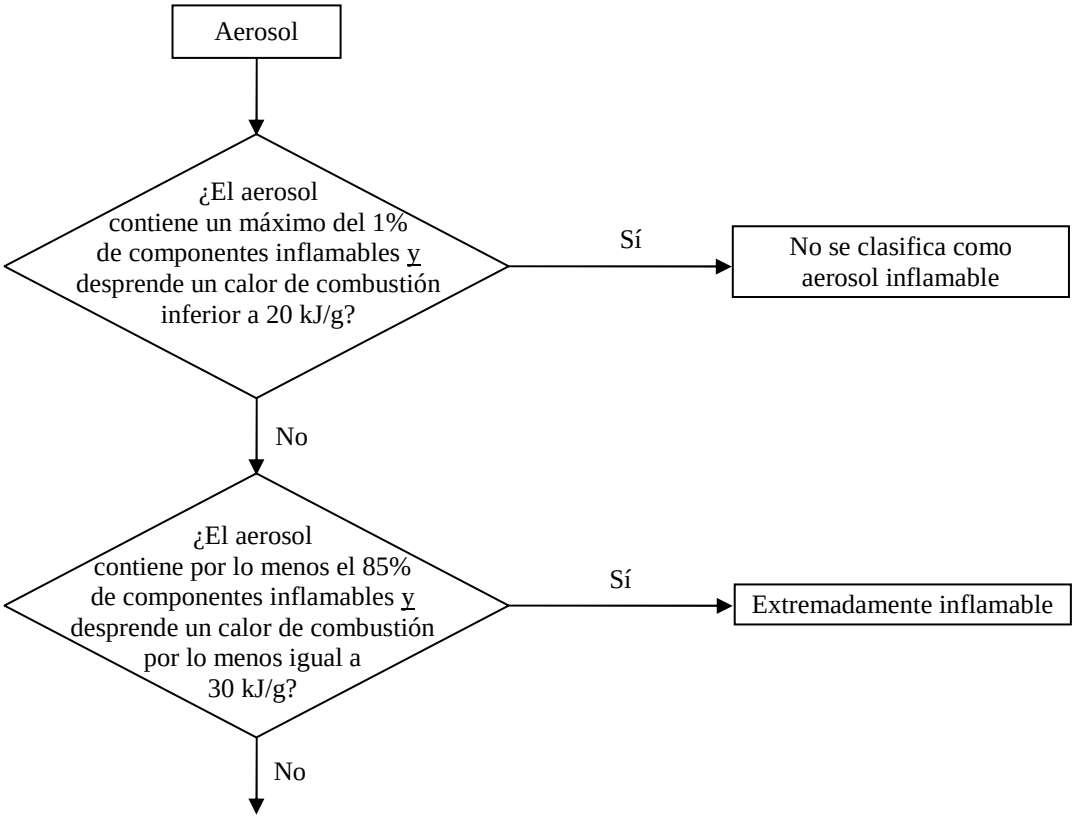
ii) la altura de la llama es igual o superior a 4 cm y la duración de la llama es igual o superior a 7 segundos.

b) El aerosol debe ser clasificado como inflamable si la altura de la llama es igual o superior a 4 cm y la duración de la llama es igual o superior a 2 cm.

31.3.5 Los criterios de clasificación para los aerosoles, los aerosoles vaporizados y la espuma de aerosoles se resumen en los diagramas de decisión reproducidos en las figuras 31.1, 31.2 y 31.3, respectivamente.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

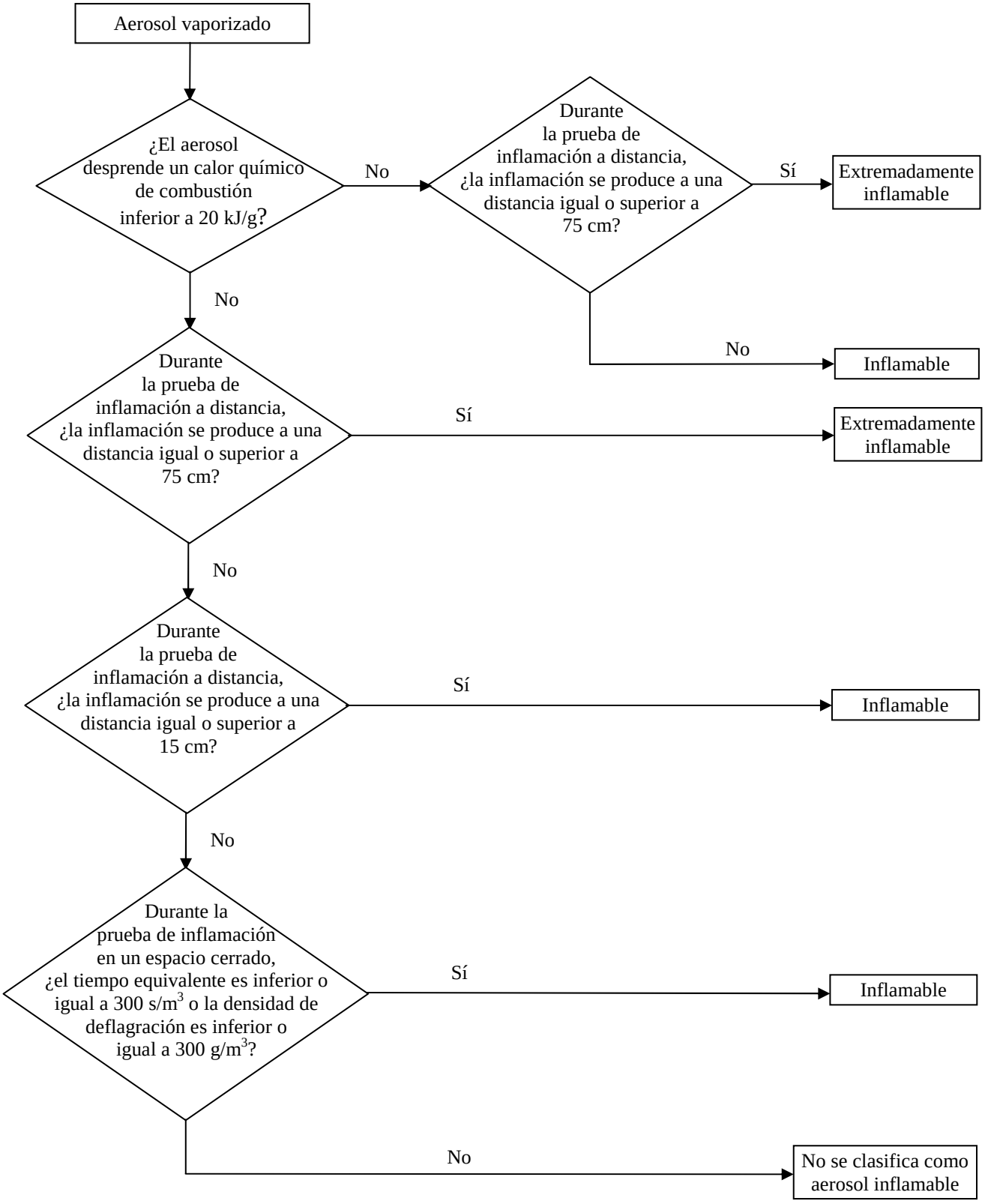
Figura 31.1:
PROCEDIMIENTO GENERAL DE CLASIFICACIÓN DE LOS AEROSOLES INFLAMABLES



Para los aerosoles vaporizados, pasar a la figura 31.2
Para las espumas de aerosoles, pasar a la figura 31.3

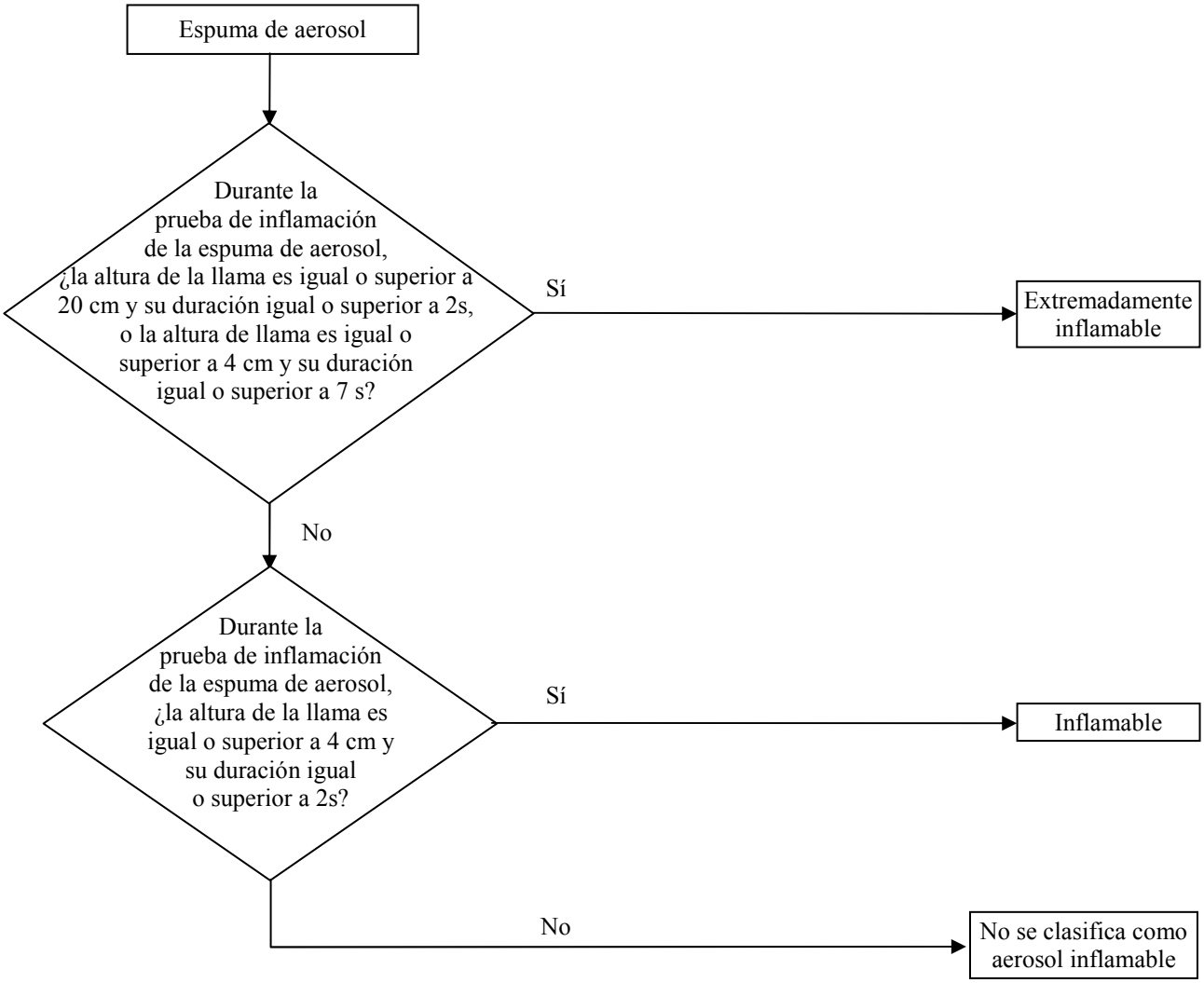
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 31.2:
PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS AEROSOLES VAPORIZADOS



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 31.3:
PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS DE AEROSOLES



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

31.4 Prueba de inflamación a distancia para los aerosoles vaporizados

31.4.1 *Introducción*

31.4.1.1 Esta prueba sirve para determinar la distancia de inflamación de un aerosol vaporizado, a fin de definir su inflamabilidad. El aerosol se vaporiza en dirección de una fuente de inflamación, de 15 cm en 15 cm, para ver si es objeto de una inflamación y de una combustión sostenida. Por "inflamación y combustión sostenida", se entiende el mantenimiento de una llama estable durante por lo menos 5 segundos. Por "fuente de inflamación" se entiende un mechero de Bunsen que produce una llama azul, no luminosa, de 4 a 5 cm de altura.

31.4.1.2 La presente prueba tiene por objeto los generadores de aerosol con un alcance igual o superior a 15 cm. Los generadores de aerosol con un alcance inferior a 15 cm, es decir, los que contienen una espuma, un gel o una pasta, o también los provistos de un dosificador no son objeto de la presente prueba. Los generadores de aerosol que contienen una espuma, un gel o una pasta deben someterse a la prueba de inflamación de las espumas de aerosol.

31.4.2 *Aparatos y material*

31.4.2.1 Se necesita el siguiente equipo:

Baño de agua mantenido a 20ºC	(precisión: ± 1ºC)
Balanza de laboratorio calibrada	(precisión: ± 0,1 g)
Cronómetro	(precisión: ± 0,2 s)
Escala graduada, con soporte y pinza	(graduada en cm)
Mechero de Bunsen, con soporte y pinza	
Termómetro	(precisión: ± 1ºC)
Higrómetro	(precisión: ± 5%)
Barómetro	(precisión: ± 0,1 bar)

31.4.3 *Procedimiento*

31.4.3.1 *Prescripciones generales*

31.4.3.1.1 Antes de la prueba, cada generador de aerosol debe ser condicionado y luego cebado por pulverización durante cerca de un segundo a fin de expulsar toda sustancia no homogénea contenida en el tubo sumergido.

31.4.3.1.2 Las consignas deben aplicarse estrictamente, incluso cuando se prevé que el generador de aerosol se utilice de pie o cabeza abajo. Si el generador de aerosol ha de ser agitado, esto ha de hacerse inmediatamente antes de la prueba.

31.4.3.1.3 La prueba debe efectuarse en un local al abrigo de las corrientes de aire pero que pueda ser ventilado, a una temperatura de 20 ± 5ºC y una humedad relativa comprendida entre 30 y 80%.

31.4.3.1.4 Cada generador de aerosol debe someterse a prueba:

a) Cuando está lleno, de conformidad con la totalidad de las pruebas, con el mechero de Bunsen colocado a una distancia comprendida entre 15 y 90 cm de la válvula del generador de aerosol;

b) Cuando contiene del 10 al 12% de su masa nominal, una sola prueba, con el mechero de Bunsen colocado o bien a 15 cm de la válvula, si el generador de aerosol lleno no se había inflamado, o bien a la distancia de inflamación de un generador lleno, aumentada de 15 cm.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

31.4.3.1.5 Durante la prueba, el generador de aerosol debe colocarse en la posición indicada en las consignas. La fuente de inflamación ha de estar colocada en consecuencia.

31.4.3.1.6 El procedimiento que figura a continuación prevé la vaporización, de 15 cm en 15 cm, entre la llama del mechero de Bunsen y la válvula de generador de aerosol, dentro de una horquilla comprendida entre 15 y 90 cm. Se aconseja comenzar a una distancia de 60 cm entre la llama y la válvula del generador de aerosol. Esta distancia debe aumentarse luego en 15 cm, cuando el aerosol tiene una distancia de inflamación de 60 cm. Por el contrario, debe disminuirse en 15 cm en caso de no inflamación a 60 cm. El procedimiento tiene por fin determinar la distancia máxima que separe la válvula del generador de aerosol de la llama del mechero de Bunsen, que produce una combustión sostenida del aerosol o determinar que la inflamación no sería posible si la llama y la válvula sólo estuviesen separadas por 15 cm.

31.4.3.2 *Procedimiento de prueba*

a) Al menos tres generadores de aerosol llenos, por producto, deben condicionarse a una temperatura de 20º ± 1ºC, sumergidos al 95% en el agua, al menos durante 30 minutos antes de cada prueba (en caso de inmersión total, bastan 30 minutos);

b) Seguir las prescripciones generales. Registrar la temperatura y la humedad relativas del local;

c) Pesar un generador de aerosol y anotar su masa;

d) Calcular la presión interna y el caudal inicial a una temperatura de 20º ± 1ºC (a fin de eliminar los generadores de aerosol mal o parcialmente llenados);

e) Poner el mechero de Bunsen sobre una superficie horizontal y plana o fijarlo en un soporte mediante una pinza;

f) Encender el mechero de Bunsen de forma que se obtenga una llama no luminosa de unos 4 a 5 cm de altura;

g) Situar el orificio de la válvula del generador de aerosol a la distancia requerida de la llama. El generador de aerosol debe situarse en la posición en la que se supone que va a ser utilizado, por ejemplo de pie o cabeza abajo;

h) Poner al mismo nivel el orificio de la válvula y la llama del mechero de Bunsen, cerciorándose de que el orificio esté bien dirigido hacia la llama (véase la figura 31.4.1). El aerosol debe ser expulsado en la mitad superior de la llama;

i) Respetar las prescripciones generales por lo que se refiere a la manera como hay que agitar el generador de aerosol;

j) Accionar la válvula del generador de aerosol de manera de obtener una pulverización durante 5 s, salvo si el aerosol se inflama. Si éste es el caso, continuar pulverizando el aerosol y mantener la llama durante 5 s, a contar desde el momento de la inflamación;

k) Anotar si la inflamación se produce a las diferentes distancias entre el mechero de Bunsen y el generador de aerosol en el cuadro previsto a este efecto;

l) Si no se produce ninguna inflamación durante la etapa j), habrá que ensayar el aerosol en otras posiciones, por ejemplo, cabeza abajo para generadores que se hayan de utilizar de pie, para ver si se produce la inflamación;

m) Volver a empezar las etapas g) a l) dos veces (esto es, tres veces en total) para el mismo generador de aerosol, y a la misma distancia entre el mechero de Bunsen y la válvula del generador;

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

n) Volver a empezar el procedimiento de prueba para otros dos generadores de aerosol que contengan el mismo producto, a la misma distancia entre el mechero de Bunsen y la válvula del generador;

o) Volver a empezar las etapas g) a n) del procedimiento de ensayo a una distancia comprendida entre 15 y 90 cm entre la válvula del generador de aerosol y la llama del mechero de Bunsen, en función del resultado de cada prueba (véase asimismo 31.4.3.1.4 y 31.4.3.1.5);

p) Si el aerosol no se inflama a una distancia de 15 cm, el procedimiento queda terminado para los generadores inicialmente llenos. El procedimiento está igualmente terminado si el aerosol es objeto de una inflamación y de una combustión sostenida a una distancia de 90 cm. Si el aerosol no se inflama a una distancia de 15 cm, hay que indicar en el protocolo que no ha habido inflamación. En todos los demás casos, se considera que la distancia de inflamación es la distancia máxima entre el mechero de Bunsen y la válvula del generador de aerosol a la cual el aerosol ha sido objeto de una inflamación y de una combustión sostenida;

q) Hay también que someter a una prueba tres generadores de aerosol llenos hasta el 10 ó 12% de su masa nominal. La distancia entre la válvula de estos generadores y la llama del mechero de Bunsen ha de ser la misma que para los generadores llenos, aumentada en 15 cm;

r) Pulverizar el contenido de un generador de aerosol lleno hasta el 10 ó 12% de su masa nominal por pulverizaciones de una duración de un máximo de 30 segundos. Esperar por lo menos 300 s entre cada pulverización. Durante este lapso, se ha de volver a poner el generador en el baño de agua a efectos de acondicionamiento;

s) Volver a empezar las etapas g) a n) sobre generadores de aerosol llenos hasta el 10 ó 12% de su contenido nominal, saltándose las etapas l) y m). Esta etapa debe ser realizada cuando el generador de aerosol se pone en una sola posición, por ejemplo, de pie o cabeza abajo, que tiene que ser la misma que aquella en la cual se produjo la inflamación, en el caso de que se haya producido;

t) Anotar todos los resultados en el cuadro 31.4, como se indica a continuación;

31.4.3.2.1 Todas las pruebas se deben ejecutar bajo una campana extractora, en un local que se pueda ventilar. La campana y el local pueden ventilarse durante por lo menos 3 minutos después de cada prueba. Tomar todas las precauciones necesarias para evitar la inhalación de los productos de la combustión.

31.4.3.2.2 Los generadores de aerosol llenos hasta el 10 ó 12% de su contenido nominal no deben ser sometidos a prueba más que una sola vez. En los cuadros, basta un único resultado por generador de aerosol.

31.4.3.2.3 En los casos en que los resultados de la prueba sean negativos cuando el generador de aerosol se ha ensayado en la posición de utilización normal, la prueba debe repetirse en la posición del generador de aerosol en la que los resultados tengan más probabilidad de ser positivos.

31.4.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

31.4.4.1 Todos los resultados deben registrarse. El cuadro 31.4 que figura a continuación es el modelo de "cuadro de resultados" que debe utilizarse.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro 31.4: Modelo de "cuadro de resultados"

Fecha		**Temperatura** **ºC** **Humedad relativa** **%**		
Nombre del producto				
Volumen neto		Generador 1	Generador 2	Generador 3
Nivel inicial de llenado		%	%	%
Distancia entre el generador y la llama	Prueba	1 2 3	1 2 3	1 2 3
15 cm	¿Inflamación? Sí o no			
30 cm	¿Inflamación? Sí o no			
45 cm	¿Inflamación? Sí o no			
60 cm	¿Inflamación? Sí o no			
75 cm	¿Inflamación? Sí o no			
90 cm	¿Inflamación? Sí o no			
Observaciones (especialmente la posición del generador)				

31.4.4.2 Los aerosoles vaporizados deben clasificarse como inflamables, extremadamente inflamables, o no inflamables conforme a los siguientes criterios:

a) Un aerosol con un calor químico de combustión inferior 20 kJ/g se clasifica como inflamable si la inflamación se produce a una distancia superior o igual a 15 cm pero inferior a 75 cm;

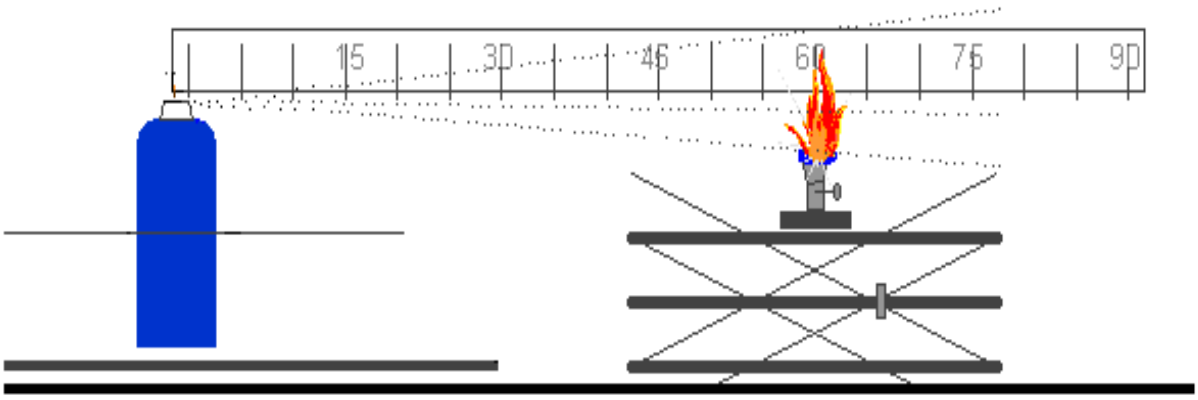
b) Un aerosol con un calor químico de combustión inferior a 20 kJ/g se clasifica como inflamable si la inflamación se produce a una distancia superior o igual a 75 cm;

c) Si para un aerosol con un calor químico de combustión inferior a 20 kJ/g no se produce ninguna inflamación, hay que recurrir a la prueba de inflamación dentro de un espacio cerrado expuesta en la subsección 31.5 del presente Manual;

d) Un aerosol con un calor químico de combustión superior o igual a 20 kJ/g se clasifica como extremadamente inflamable si la inflamación se produce a una distancia superior o igual a 75 cm; en caso contrario, el aerosol se clasifica como inflamable.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 31.4.1:
SISTEMA PARA LA PRUEBA DE INFLAMACIÓN A DISTANCIA



31.5 Prueba de la inflamación dentro de un espacio cerrado

31.5.1 *Introducción*

31.5.1.1 La presente prueba sirve para determinar la inflamabilidad, dentro de un espacio cerrado, de los productos vaporizados por los generadores de aerosol. El contenido de un generador de aerosol se vaporiza dentro de un recipiente de ensayo cilíndrico que contiene una vela encendida. Si no se produce una inflamación visible, se anota el tiempo transcurrido y la cantidad de aerosol vaporizada.

31.5.2 *Aparatos y material*

31.5.2.1 Se necesita el siguiente equipo:

Cronómetro	(precisión: ± 0,2 s)
Baño de agua mantenido a 20ºC	(precisión: ± 1ºC)
Balanza de laboratorio calibrada	(precisión: ± 0,1 g)
Termómetro	(precisión: ± 1ºC)
Higrómetro	(precisión: ± 5%)
Barómetro	(precisión: ± 0,1 bar)
Recipiente de ensayo cilíndrico	(ver a continuación)

31.5.2.2 *Preparación del equipo para la prueba*

31.5.2.2.1 Un recipiente cilíndrico de una capacidad de aproximadamente 200 dm^3 (55 galones) y de unos 600 mm de diámetro por 720 mm de largo, abierto por un extremo, debe ser modificado de la siguiente manera:

a) Debe adaptarse una tapadera articulada al extremo abierto del recipiente; o

b) Se puede también utilizar como sistema de cierre una película de plástico de 0,01 a 0,02 mm de grosor. Si este fuera el caso, hay que utilizar la película plástica de la siguiente manera:

Estirar la película sobre el extremo abierto del tubo y fijarlo mediante una banda elástica. La elasticidad de la banda debe ser tal que cuando se pone alrededor del tubo puesto sobre el lado, no se estire más de 25 mm bajo una masa de 0,45 kg colocada

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

sobre su punto más bajo. Hacer una incisión de 25 mm en la película, comenzando a 50 mm del borde del tubo. Asegurarse de que la película esté tensa.

c) En el otro extremo del tubo, hacer un agujero de 50 mm de diámetro, a 100 mm del borde, de manera que este orificio sea el punto más alto cuando el recipiente se deje tendido y listo para la prueba (figura 31.5.1).

d) Sobre un soporte metálico de 200 mm × 200 mm, poner una vela de cera de parafina de entre 20 y 40 mm de diámetro y 100 mm de altura. Reemplazar la vela cuando su altura sea inferior a 80 mm. La llama de la vela está protegida del aerosol por un deflector de 150 mm de ancho sobre 200 mm de altura, inclinado a 45º a partir de una altura de 150 mm por encima de la base del deflector (figura 31.5.2).

e) La vela colocada sobre el soporte metálico debe situarse a mitad de distancia entre las extremidades del tubo (figura 31.5.3)

f) El tubo se pone directamente sobre el suelo o sobre un soporte, en el lugar donde la temperatura esté comprendida entre 15º y 25ºC. El aerosol sometido a la prueba se vaporiza en el interior del tubo, de una capacidad de cerca de 200 dm^3, en el cual se colocará la fuente de inflamación.

31.5.2.2.2 Normalmente, el producto abandona el generador de aerosol en un ángulo de 90º en relación con el eje vertical del generador. Los arreglos y el procedimiento aquí descritos valen para este modelo. Para los modelos de generador de aerosol inhabituales (por ejemplo con vaporización vertical), hay que anotar los cambios en el material y el procedimiento, de conformidad con las buenas prácticas de trabajo en laboratorio, por ejemplo las de la norma ISO/CEI 17025:1999 Prescripciones generales relativas a la competencia de los laboratorios de contraste y ensayos.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 31.5.1:
TUBO PARA LA PRUEBA DE INFLAMACIÓN DENTRO DE UN ESPACIO CERRADO

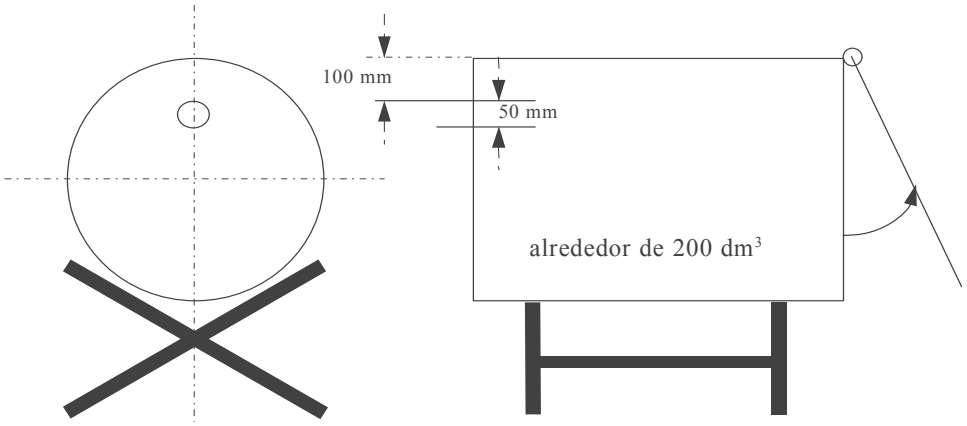


Figura 31.5.2:
VELA PARA LA PRUEBA DE INFLAMACIÓN DENTRO DE UN ESPACIO CERRADO

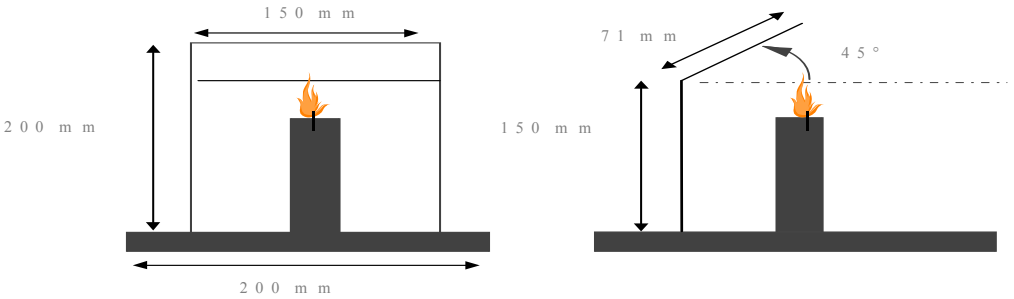
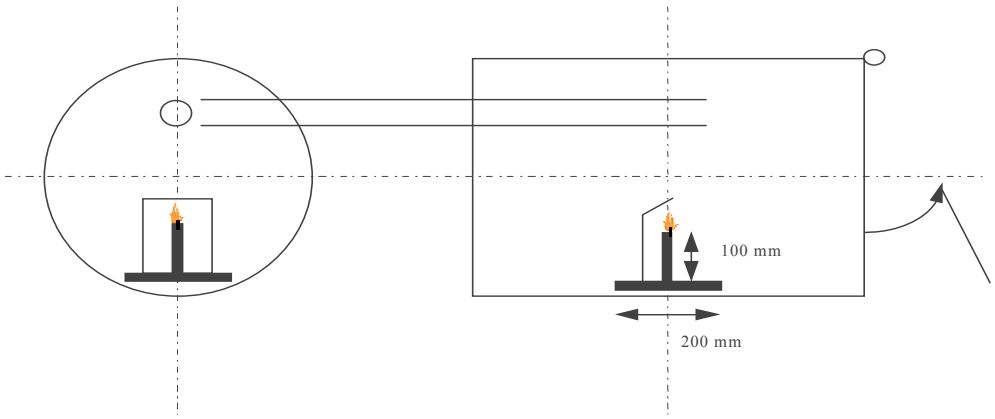


Figura 31.5.3: VELA EN SU SOPORTE METÁLICO



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

31.5.3 *Procedimiento*

31.5.3.1 *Prescripciones generales*

31.5.3.1.1 Antes de la prueba, cada generador de aerosol debe ser acondicionado y luego cebado mediante pulverización durante alrededor de un segundo, a fin de expulsar toda sustancia no homogénea contenida en el tubo sumergido.

31.5.3.1.2 Las consignas se han de aplicar estrictamente, incluso cuando el generador de aerosol esté previsto para ser utilizado de pie o cabeza abajo. Si se ha de agitar el generador de aerosol, esto tiene que hacerse inmediatamente antes de la prueba.

31.5.3.1.3 La prueba ha de efectuarse en un local al abrigo de las corrientes de aire, pero que pueda ventilarse, a una temperatura de 20 ± 5ºC y a una humedad relativa comprendida entre 30 y 80%.

31.5.3.2 *Procedimiento de prueba*

a) Por lo menos deben acondicionarse tres generadores de aerosol llenos, por producto, a una temperatura de 20º ± 5ºC en un baño de agua, en el cual son sumergidos al menos hasta el 95%, durante por lo menos 30 minutos (en caso de inmersión total, bastan 30 minutos);

b) Medir o calcular el volumen real del tubo, en dm^3;

c) Respetar las prescripciones generales. Registrar la temperatura y la humedad relativa del local;

d) Determinar la presión interior y el caudal inicial a una temperatura de 20 ± 1ºC (a fin de eliminar los generadores de aerosol mal o parcialmente llenados);

e) Pesar uno de los generadores de aerosol y anotar su masa;

f) Encender la vela e instalar el sistema de cierre (tapa o película de plástico);

g) Colocar el orificio de la válvula del generador de aerosol a 35 mm –o aún más cerca si se trata de un generador de aerosol con un gran campo de vaporización— del centro del orificio perforado en el tubo. Poner en marcha el cronómetro y, de conformidad con las consignas, dirigir el chorro hacia el centro del extremo opuesto (tapa o película de plástico). El generador de aerosol debe ponerse en la posición en la que se supone que va a ser utilizado, por ejemplo, de pie o cabeza abajo;

h) Vaporizar hasta la inflamación del aerosol. Detener el cronómetro y anotar el tiempo transcurrido. Pesar nuevamente el generador de aerosol y anotar su masa;

i) Ventilar y limpiar el tubo con el fin de eliminar cualquier residuo capaz de falsear los resultados de los ensayos siguientes. Si es necesario, enfriar el tubo;

j) Volver a comenzar las etapas d) a i) del procedimiento con otros dos generadores de aerosol que contengan el mismo producto (es decir, tres en total. *Nota*: cada generador no se somete más que una vez a la prueba).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

31.5.4 ***Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados***

31.5.4.1 Debe redactarse un informe de prueba que contenga, como mínimo, las indicaciones siguientes:

a) Naturaleza del producto sometido a la prueba y referencias de este producto;

b) Presión interior y caudal del generador de aerosol;

c) Temperatura e higrometría relativa del aire dentro del local;

d) Para cada prueba, tiempo de vaporización (en s) necesario para la vaporización del aerosol (si el aerosol no se inflama, precisarlo);

e) Masa del producto vaporizado en cada prueba (en g);

f) Volumen real del tubo (en dm^3);

31.5.4.2 El tiempo equivalente (t_{eq}) necesario para la inflamación de un metro cúbico puede calcularse del modo siguiente:

$$t_{eq} = \frac{1000 \times \text{tiempo de vaporización (s)}}{\text{volumen real del tubo (dm}^3\text{)}}$$

31.5.4.3 La densidad de deflagración (D_{def}) necesaria para la inflamación durante la prueba puede también calcularse del siguiente modo:

$$D_{def} = \frac{1000 \times \text{masa de producto vaporizada (g)}}{\text{volumen real del tubo (dm}^3\text{)}}$$

31.5.4.4 Un aerosol con un calor químico de combustión inferior a 20 kJ/g para el cual no se produce ninguna inflamación con la prueba de inflamación a distancia (véase la subsección 31.4 del presente Manual) se clasifica como inflamable si el tiempo equivalente es inferior o igual a 300 s/m^3 o si la densidad de deflagración es inferior o igual a 300 g/m^3; en caso contrario, el aerosol se clasifica como no inflamable.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

31.6 Prueba de inflamación de las espumas de aerosol

31.6.1 *Introducción*

31.6.1.1 La presente prueba sirve para determinar la inflamabilidad de un aerosol en forma de espuma, de gel o de pasta. Se pulveriza un aerosol que se presente en forma de espuma, de gel o de pasta (alrededor de 5 g) sobre un vidrio de reloj bajo el cual está situada una fuente de inflamación (vela, fósforo o encendedor, por ejemplo) para vigilar la inflamación y la combustión sostenida eventual de la espuma, del gel o de la pasta. Se entiende por "inflamación" la presencia de una llama estable durante por lo menos 2 s y que mida, cuando menos, 4 cm de altura.

31.6.2 *Aparatos y material*

31.6.2.1 Se necesita el siguiente equipo:

Escala graduada (soporte y pinza)	(graduaciones en cm)
Vidrio de reloj resistente al fuego, de cerca de 150 mm de diámetro	
Cronómetro	(precisión: ± 0,2 s)
Vela, fósforo o encendedor, por ejemplo	
Balanza de laboratorio calibrada	(precisión: ± 0,1 g)
Baño de agua mantenido a 20ºC	(precisión: ± 1ºC)
Termómetro	(precisión: ± 1ºC)
Higrómetro	(precisión: ± 5%)
Barómetro	(precisión: ± 0,1 bar)

31.6.2.2 El vidrio de reloj se pone sobre un soporte resistente al fuego, en un local al abrigo de las corrientes de aire pero que pueda ser ventilado después de cada prueba. La escala graduada se coloca exactamente detrás del vidrio de reloj y se mantiene vertical, mediante un soporte y una pinza.

31.6.2.3 La escala graduada se coloca de manera que su punto cero coincida con la base del vidrio de reloj sobre un plano horizontal.

31.6.3 *Procedimiento*

31.6.3.1 *Prescripciones generales*

31.6.3.1.1 Antes de la prueba, debe acondicionarse cada generador de aerosol y luego cebarlo mediante pulverización durante un segundo, a fin de expulsar toda sustancia no homogénea del tubo sumergido.

31.6.3.1.2 La consignas deben ser estrictamente aplicadas, incluso cuando está previsto que el generador de aerosol se utilice de pie o cabeza abajo. Si el generador de aerosol debe ser agitado, esto ha de hacerse inmediatamente antes de la prueba.

31.6.3.1.3 Las pruebas han de efectuarse en un local al abrigo de las corrientes de aire pero que pueda ventilarse, a una temperatura de 20 ± 5ºC y a una humedad relativa comprendida entre 30 y 80%.

31.6.3.2 *Procedimiento de prueba*

a) Se acondicionan por lo menos cuatro generadores de aerosol llenos, por producto, a una temperatura de 20º ± 1ºC, y se sumergen en el agua al menos hasta el 95%, durante, por lo menos 30 minutos antes de cada prueba (en caso de inmersión total, bastan 30 minutos);

b) Seguir las prescripciones generales. Observar la temperatura y la humedad relativa del local;

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

c) Determinar la presión interna a una temperatura de 20º ± 1ºC, a fin de eliminar los generadores de aerosol mal o parcialmente llenados;

d) Determinar el caudal del generador de aerosol de manera que se pueda evaluar mejor la cantidad de aerosol pulverizado;

e) Pesar un generador de aerosol y anotar su masa:

f) Habida cuenta de la cantidad de aerosol pulverizado o del caudal, y de conformidad con las consignas del fabricante, vaporizar alrededor de 5 g de aerosol en el centro de un vidrio de reloj limpio, de modo que se forme un montículo de una altura máxima de 25 mm;

g) En los cinco segundos siguientes al fin de la vaporización, colocar la fuente de inflamación al borde de la muestra y poner simultáneamente en marcha el cronómetro. Si fuera necesario, alejar la fuente de inflamación del borde de la muestra al cabo de aproximadamente dos segundos para asegurar que la inflamación se ha producido realmente. Si la muestra no está manifiestamente inflamada, volver a poner la fuente de inflamación al borde de la muestra;

h) En caso de inflamación, anotar los siguientes datos:

i) Altura máxima de la llama, en cm, por encima de la base del vidrio de reloj;

ii) Duración de la llama en segundos;

iii) Secar y volver a pesar el generador de aerosol y calcular la masa de aerosol vaporizada.

i) Ventilar el local en donde se ha realizado la prueba inmediatamente después de cada prueba;

j) Si la inflamación no se produce y el aerosol vaporizado queda en forma de espuma o de pasta durante toda la prueba, volver a empezar las etapas e) e i) al cabo de 30 segundos, de un minuto, de dos minutos o de cuatro minutos, reponer la fuente de inflamación cerca de la muestra;

k) Volver a empezar las etapas e) a j) dos veces (es decir, en total tres) sobre el mismo generador de aerosol;

l) Volver a empezar las etapas e) a k) sobre otros dos generadores de aerosol (es decir, tres generadores) que contengan el mismo producto;

31.6.4 ***Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados***

31.6.4.1 Debe redactarse un informe de prueba que contenga, como mínimo, las indicaciones siguientes:

a) Inflamabilidad del producto;

b) Altura máxima de la llama en cm;

c) Duración de la llama en segundos;

d) Masa del producto sometido a la prueba.

31.6.4.2 El aerosol debe clasificarse como extremadamente inflamable si la altura de la llama es superior o igual a 20 cm y su duración es superior o igual 2 segundos o si la duración de la llama es superior o igual a 7 segundos y la altura es superior o igual a 4 cm.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 32

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LOS EXPLOSIVOS LÍQUIDOS DESENSIBILIZADOS Y LOS LÍQUIDOS INFLAMABLES DE LA CLASE 3

32.1 Objetivo

En esta sección se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de los explosivos líquidos desensibilizados y de los líquidos inflamables de la clase 3 (véase el capítulo 2.3 de la Reglamentación Modelo). El texto debe utilizarse en conjunción con los principios de clasificación enunciados en el capítulo 2.3 de la Reglamentación Modelo y los métodos de prueba descritos en las subsecciones 32.4 y 32.5 del presente Manual.

32.2 Ámbito de aplicación

32.2.1 Los explosivos líquidos desensibilizados son sustancias explosivas disueltas o suspendidas en agua u otras sustancias líquidas formando una mezcla líquida homogénea que neutralice sus propiedades explosivas (véase el párrafo 2.3.1.4 de la Reglamentación Modelo).

32.2.2 Sólo se incluyen en esta clase como líquidos inflamables las sustancias cuyo punto de inflamación no es de más de 60ºC en pruebas en vaso cerrado o no es de más de 65,6ºC en pruebas en vaso abierto, o, si se trata de sustancias transportadas o presentadas para transporte a temperaturas elevadas, que desprenden vapores inflamables a la temperatura máxima de transporte o a temperaturas inferiores. No obstante, a los efectos de la Reglamentación Modelo no deben considerarse como líquidos inflamables los líquidos cuyo punto de inflamación sea superior a 35ºC y que no experimenten una combustión sostenida.

32.2.3 Los líquidos inflamables incluidos expresamente en esta clase (capítulo 3.2 de la Reglamentación Modelo) deben considerarse como químicamente puros. En la práctica, las mercancías transportadas con el nombre de tales sustancias son con frecuencia productos comerciales que contienen otras sustancias o impurezas. Por lo tanto, puede darse el caso de que líquidos que no figuran en la lista porque, en estado puro, su punto de inflamación es superior a 60ºC en vaso cerrado o a 65,6ºC en vaso abierto, se presenten para su transporte como productos comerciales cuyo punto de inflamación sea igual o inferior a ese límite. Además, algunos líquidos que en estado puro serían clasificados en el grupo de embalaje/envasado III podrían en realidad corresponder al grupo II como productos comerciales, por contener otras sustancias o impurezas.

32.2.4 Por estas razones, las listas, que no tienen más que un valor indicativo, deben ser utilizadas con prudencia. En caso de duda, conviene verificar experimentalmente el punto de inflamación de las sustancias de que se trate.

32.2.5 Se considera que los líquidos no son combustibles a los efectos de la Reglamentación Modelo (esto es, no experimentan combustión sostenida en determinadas condiciones de prueba) si han superado una prueba de combustibilidad apropiada (véase la sección 32.5.2) o si su punto de inflamación, con arreglo a la norma ISO 2592, es de más de 100ºC o si están mezclados con el agua en soluciones con un contenido de agua, de más del 90 % en masa.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.3 Procedimiento de clasificación

32.3.1 *Líquidos inflamables*

32.3.1.1 El cuadro 32.1 debe utilizarse para clasificar en un grupo de embalaje/envasado los líquidos que presentan un riesgo por su inflamabilidad.

32.3.1.2 En el caso de los líquidos cuyo único riesgo es la inflamabilidad, el grupo de embalaje/envasado es el que se indica en el cuadro 32.1.

32.3.1.3 Con respecto a los líquidos que presentan uno o varios riesgos adicionales, es preciso considerar tanto el grupo determinado mediante el cuadro 32.1 como el grupo determinado en función de la gravedad de los riesgos adicionales. En tales casos, para clasificar correctamente el líquido debe utilizarse el cuadro de preponderancia de las características del riesgo que figura en la sección 2.0.3 del capítulo 2.0 de la Reglamentación Modelo. El grupo de embalaje/envasado de la sustancia será el correspondiente al riesgo más grave.

Cuadro 32.1: CLASIFICACIÓN EN GRUPOS EN FUNCIÓN DE LA INFLAMABILIDAD

Grupo de embalaje/envasado	Punto de inflamación (en vaso cerrado)	Punto de ebullición inicial
I	-	≤ 35ºC
II	< 23ºC	>35ºC
III	≥ 23ºC, ≤ 60ºC	>35ºC

32.3.1.4 Las sustancias clasificadas como líquidos inflamables porque se transportan o presentan para el transporte a temperaturas elevadas deben asignarse al grupo de embalaje/envasado III.

32.3.1.5 Las sustancias viscosas cuyo punto de inflamación es inferior a 23ºC pueden clasificarse en el grupo de embalaje/envasado III, conforme a los párrafos 32.3.1.7 y 32.4.2.

32.3.1.6 Las sustancias viscosas que:

a) Tengan un punto de inflamación igual o superior a 23ºC e igual o inferior a 60ºC;

b) No sean tóxicas, corrosivas ni peligrosas para el medio ambiente;

c) No contengan más de un 20% de nitrocelulosa siempre que ésta no contenga más de un 12,6%, en masa seca, de nitrógeno; y

d) Estén embaladas/envasadas en recipientes de capacidad inferior a 450 litros;

no están sujetas a la Reglamentación Modelo, si:

a) En la prueba de separación del disolvente (véase 32.5.1) la altura de la capa separada de disolvente es de menos del 3% de la altura total; y

b) El tiempo de flujo en la prueba de viscosidad (véase 32.4.3) con un diámetro de la boquilla de 6 mm es igual o superior a:

i) 60 segundos; o

ii) 40 segundos, si la sustancia viscosa contiene no más del 60% de sustancias de la clase 3.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.3.1.7 Los líquidos viscosos inflamables, tales como las pinturas, esmaltes, lacas, barnices, adhesivos y productos abrillantadores cuyo punto de inflamación sea inferior a 23ºC se clasifican en el grupo de embalaje/envasado III, si se cumplen las condiciones siguientes:

a) que en la prueba de separación del disolvente, la capa separada de disolvente sea inferior al 3%;

b) que la mezcla no contenga ninguna sustancia que presente un riesgo primario o secundario de la división 6.1 o de la clase 8;

c) que la viscosidad y el punto de inflamación se ajusten al cuadro siguiente:

Tiempo de flujo t(s)	**Diámetro de la boquilla (mm)**	**Punto de inflamación (ºC)**
$20 < t \leq 60$	4	superior a 17
$60 < t \leq 100$	4	superior a 10
$20 < t \leq 32$	6	superior a 5
$32 < t \leq 44$	6	superior a -1
$44 < t \leq 100$	6	superior a -5
$100 < t$	6	sin límite

d) que la capacidad del recipiente utilizado no sea superior a 450 litros.

32.3.2 ***Explosivos líquidos desensibilizados***

32.3.2.1 En esta subsección se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de los explosivos líquidos desensibilizados de la clase 3 (véase el párrafo 2.3.1.4 de la Reglamentación Modelo). Los explosivos líquidos desensibilizados son sustancias disueltas o suspendidas en agua u otras sustancias líquidas para formar una mezcla líquida homogénea que neutralice sus propiedades explosivas.

32.3.2.2 En el caso de los nuevos productos térmicamente estables que tengan, o se sospeche que tienen, propiedades explosivas, debe considerarse primero la posibilidad de incluirlos en la clase 1 y aplicarles el procedimiento de aceptación en la clase 1 y, de ser necesario, el procedimiento de asignación.

32.3.2.3 Cuando una sustancia se asigne a la clase 1 pero se diluya para quedar excluida de la clase 1 con arreglo a la serie de pruebas 6 (véase la sección 16), esta sustancia diluida, si responde a los criterios de clasificación o a la definición de otra clase o división, debe clasificarse en esta clase o división en la concentración más elevada que la excluya de la clase 1. Estas sustancias, suficientemente diluidas, pueden considerarse como no peligrosas (véase también el párrafo 2.1.3.5.3 de la Reglamentación Modelo).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.4 Métodos de prueba para determinar el punto de inflamación y la viscosidad

32.4.1 *Líquidos inflamables no viscosos*

Pueden utilizarse los métodos siguientes para determinar el punto de inflamación de los líquidos inflamables:

Normas internacionales:

ISO 1516
ISO 1523
ISO 2719
ISO 13736
ISO 3679
ISO 3680

Normas nacionales:

American Society for Testing Materials International, *100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, Pennsylvania, USA 19428-2959*):

ASTM D3828-07a, Standard Test Methods for Flash Point by Small Scale Closed Cup Tester
ASTM D56-05, Standard Test Method for Flash Point by Tag Closed Cup Tester
ASTM D3278-96(2004)e1, Standard Test Methods for Flash Point of Liquids by Small Scale Closed-Cup Apparatus
ASTM D93-08, Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester

Association française de normalisation, AFNOR 11, *rue de Pressensé, 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex:*:

Norma francesa NF M 07-019
Normas francesas NF M 07-011 / NFT 30-050 / NFT 66-009
Norma francesa NF M 07-036

Deutsches Institut für Normung, *Burggrafenstr. 6, D-10787 Berlín*:

Norma DIN 51755 (puntos de inflamación inferiores a 65ºC)

Comité Estatal de Normalización, Consejo de Ministros, 113813,GSP, Moscú, M-49 Leninsky Prospect, 9:

GOST 12.1.044-84

32.4.2 *Sustancias viscosas inflamables de punto de inflamación inferior a 23ºC*

32.4.2.1 El grupo en que deben incluirse las pinturas, esmaltes, lacas, barnices, adhesivos, productos abrillantadores y otras sustancias viscosas inflamables de la clase 3 cuyo punto de inflamación sea inferior a 23ºC se determina, según el riesgo que representen, en función de:

a) La viscosidad, determinada por el tiempo de flujo en segundos (véase 32.4.3);

b) El punto de inflamación en vaso cerrado (véase 32.4.2.2); y

c) Una prueba de separación del disolvente (véase 32.5.1).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.4.2.2 El punto de inflamación en vaso cerrado se determina según el método de la Organización Internacional de Normalización ISO 1523:1983, aplicable a pinturas y barnices. Cuando la temperatura del punto de inflamación es demasiado baja para que pueda utilizarse agua en el recipiente de baño líquido, hay que introducir las modificaciones siguientes:

a) Se utiliza etilenglicol en el recipiente de baño líquido u otro recipiente similar apropiado;

b) Si es necesario, se puede utilizar un refrigerador para hacer que la temperatura de la muestra y del aparato baje a menos de la que requiere el método de determinación del punto de inflamación supuesto. Para obtener temperaturas más bajas, la muestra y el material deben enfriarse a una temperatura apropiada - por ejemplo, añadiendo lentamente dióxido de carbono sólido al etilenglicol y enfriando la muestra del mismo modo en otro recipiente de etilenglicol;

c) Para que los puntos de inflamación obtenidos sean fiables, es importante no sobrepasar la velocidad recomendada de elevación de la temperatura de la muestra. Según el volumen del baño líquido y la cantidad de etilenglicol que contenga, tal vez sea necesario aislar parcialmente el baño líquido, a fin de que la elevación de la temperatura sea suficientemente lenta.

32.4.3 *Prueba de viscosidad*

El tiempo de flujo en segundos se determina a 23ºC utilizando el vaso normalizado de la ISO provisto de una boquilla de 4 mm (ISO 2431:1984). Si el tiempo de flujo es superior a 100 segundos, se efectúa una segunda prueba utilizando el vaso normalizado de la ISO con una boquilla de 6 mm.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.5 Métodos de prueba para determinar la separación del disolvente y la combustión sostenida

32.5.1 *Prueba L.1: Prueba de separación del disolvente*

32.5.1.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar el grado de separación del disolvente en los líquidos viscosos tales como las pinturas, los esmaltes, los barnices, los adhesivos y los productos abrillantadores de punto de inflamación inferior a 23ºC.

32.5.1.2 *Aparatos y materiales*

Se requiere una probeta de 100 ml, de una altura total de alrededor de 25 cm y de un diámetro interior uniforme de unos 3 cm en la parte calibrada, provista de un tapón.

32.5.1.3 *Procedimiento*

Se agita la pintura para obtener una consistencia uniforme y se vierte en la probeta hasta la señal de los 100 ml. Se tapona la probeta y se deja reposar durante 24 horas. Después se mide la altura de la capa superior separada.

32.5.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

La altura de la capa superior separada debe expresarse en porcentaje de la altura total de la muestra. Si se separa menos del 3% de disolvente claro, puede estudiarse la inclusión de la sustancia en el grupo de embalaje/envasado III (véase 32.3.1.6 y 32.3.1.7).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.5.2 *Prueba L.2: Prueba de combustibilidad sostenida*

32.5.2.1 *Introducción*

Esta prueba sirve para determinar si una sustancia, tras haber sido calentada en las condiciones previstas para la prueba y expuesta a una llama, se mantiene en combustión. Se calienta hasta que llegue a una temperatura especificada un bloque de metal con una pequeña cavidad que contendrá la muestra. Se transfiere la porción especificada de la sustancia a dicha cavidad y, tras haberle aplicado, retirándola luego, una llama de dimensiones normalizadas en las condiciones especificadas, se observa si la sustancia se mantiene en combustión.

32.5.2.2 *Aparatos y materiales*

32.5.2.2.1 Se utiliza un bloque de una aleación de aluminio o de otro metal de elevada conductividad térmica resistente a la corrosión. El bloque debe tener una pequeña cavidad y una perforación cilíndrica destinada a contener un termómetro. Se fija al bloque un pequeño mechero de gas con un soporte articulado. El mango para su manejo y el conducto de entrada del gas pueden ser ajustados formando un ángulo conveniente con la boquilla. En la figura 32.5.2.1 se presenta un aparato adecuado, y en las figuras 32.5.2.1 y 32.5.2.2 se reproducen sus diagramas esenciales. También se necesita el equipo siguiente:

a) *Calibrador*, para verificar si la altura a que está el centro del mechero de gas por encima de la superficie superior de la porción de muestra es de 2,2 mm (véase la figura 32.5.2.1).

b) *Termómetro*, de mercurio en vidrio, para utilización horizontal, y de una sensibilidad de no menos de 1 mm/ºC, u otro aparato de medición de sensibilidad equivalente que permita leerlo a intervalos de 0,5ºC. Mientras el termómetro está introducido en el lugar del bloque destinado a contenerlo, el bulbo debe estar rodeado por un compuesto termoplástico termoconductor.

c) *Placa de calentamiento*, dotada de un dispositivo de regulación de la temperatura (pudiendo utilizarse para calentar el bloque de metal, aparatos de otros tipos provistos de los adecuados medios de regulación de la temperatura).

d) *Cronómetro* u otro aparato cronomedidor adecuado.

e) *Jeringa* que permita expulsar 2,0 ml con una precisión de ± 0,1 ml.

f) *Combustible*, butano.

32.5.2.2.2 La muestra debe ser representativa de la sustancia que va a ser objeto de las pruebas y debe ser suministrada en un recipiente herméticamente cerrado y mantenida en esas condiciones hasta el momento de iniciar las pruebas. Dada la posibilidad de pérdida de constituyentes volátiles, debe reducirse al mínimo posible el tratamiento de la muestra para asegurar su homogeneidad. Una vez extraída del recipiente que contiene la muestra la porción de ella necesaria para cada prueba, debe cerrárselo de inmediato herméticamente para evitar que escapen de él componentes volátiles, y si el cierre no es hermético hay que preparar otra muestra completamente nueva.

32.5.2.3 *Procedimiento*

32.5.2.3.1 Es indispensable montar el aparato en un lugar totalmente resguardado de corrientes de aire[1] y, para facilitar la observación de destellos, llamas, etc., donde no haya mucha luz.

[1] ***Advertencia: la prueba no debe efectuarse en un espacio cerrado pequeño (por ejemplo, una caja de manipulación con guantes en laboratorio) porque puede producirse una explosión***.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.5.2.3.2 Se coloca el bloque de metal sobre la placa de calentamiento o se lo calienta por algún otro medio apropiado, hasta que la temperatura del bloque medida por el termómetro insertado en él se mantenga en la especificada, con una tolerancia de ± 1ºC. La temperatura de prueba es de 60,5ºC o de 75ºC (véase 32.5.2.3.8). Se corrige esa temperatura para tener en cuenta la diferencia de presión barométrica en relación con la presión atmosférica normal (101,3 kPa), elevando la temperatura de prueba si la presión es más alta, o reduciendo la temperatura de prueba si la presión es más baja, en 1,0°C por cada 4 kPa de diferencia. Se verifica la perfecta horizontalidad de la superficie superior del bloque de metal. Se utiliza el calibrador para asegurarse de que la boquilla del gas estará a 2,2 mm de altura por encima del plano superior de la cavidad que contiene la muestra cuando se halle en la posición de prueba.

32.5.2.3.3 Se enciende el butano, dirigiendo la boquilla del gas para alejarla de la posición de prueba (es decir, en la posición de cierre, en la dirección opuesta a la de la cavidad que contiene la muestra). Se ajusta el tamaño de la llama para que sea de entre 8 y 9 mm de altura y de 5 mm, aproximadamente, de anchura.

32.5.2.3.4 Utilizando la jeringa, se extraen del recipiente de la muestra 2 ml, por lo menos, de ella y se transfiere rápidamente una porción de prueba de 2 ml ± 0,1 ml a la cavidad del bloque de metal para la prueba de combustibilidad, poniendo inmediatamente en marcha el cronómetro.

32.5.2.3.5 Tras un período de calentamiento de 60 segundos, transcurridos los cuales se considera que la porción de prueba ha llegado a su temperatura de equilibrio, si el fluido de prueba no se ha inflamado, se cambia la dirección de la llama de butano a la posición de prueba de manera que pase por encima de la superficie del líquido. Se mantiene la llama en esa posición durante 15 segundos y se cambia luego su posición de nuevo a la de cierre, observando al mismo tiempo el comportamiento de la porción de prueba de la muestra. Debe mantenerse encendida la llama sin interrupción desde el momento en que empieza la prueba hasta que acaba.

32.5.2.3.6 Deben efectuarse tres ensayos. En cada uno de ellos se observa y anota:

a) Si se ha inflamado la porción de prueba y se ha mantenido en combustión o ha destellado antes de que se haya pasado la llama de butano a la posición de prueba o si no ha sucedido nada de ello; y

b) Si la porción de prueba se ha inflamado hallándose la llama de butano en la posición de prueba, y en caso afirmativo durante cuánto tiempo se mantuvo en combustión tras haberse retirado la llama a la posición de cierre.

32.5.2.3.7 Si no se advierte combustión sostenida -interpretada esta expresión tal como se la define en el párrafo 32.5.2.4, se repite todo el procedimiento con nuevas porciones de prueba, pero con tiempo de calentamiento de 30 segundos.

32.5.2.3.8 Si no se advierte combustión sostenida -interpretada esta expresión tal como se la define en el párrafo 32.5.2.4, a una temperatura de prueba de 60,5°C, se repite todo el procedimiento con nuevas porciones, pero a una temperatura de prueba de 75°C.

32.5.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

Debe evaluarse si la sustancia objeto de la prueba es o no una sustancia que experimenta combustión sostenida. Debe señalarse toda combustión sostenida que se produzca en cualquiera de los períodos o temperaturas de calentamiento si, con cualquiera de las porciones de prueba, se registra uno de los hechos siguientes:

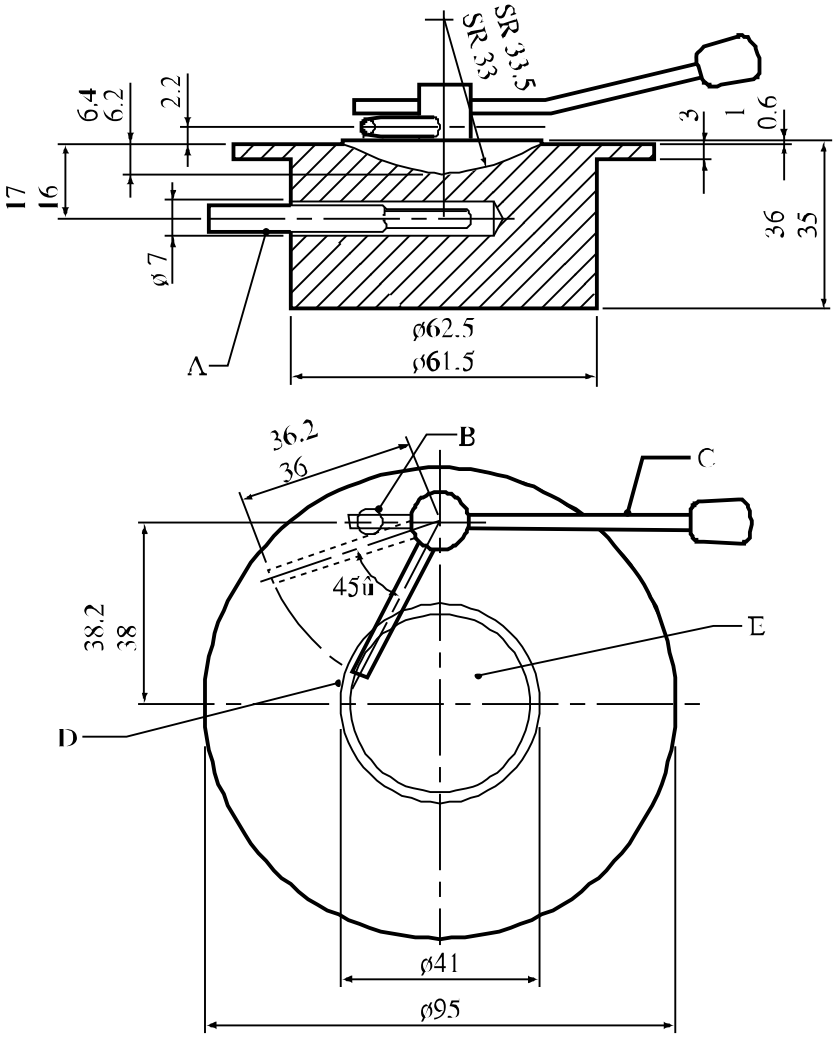
a) La porción de prueba se inflama y se mantiene en combustión mientras la llama de butano se halla en la posición de cierre;

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

b) La porción de prueba se inflama mientras la llama de butano está en la posición de prueba, mantenida durante 15 segundos, y continúa en combustión durante más de 15 segundos tras haberse pasado a la posición de cierre.

Un destello intermitente no debe interpretarse como combustión sostenida. Normalmente, pasados los 15 segundos, puede determinarse claramente si la combustión ha cesado o si prosigue. En caso de duda, debe considerarse que la sustancia es de combustión sostenida.

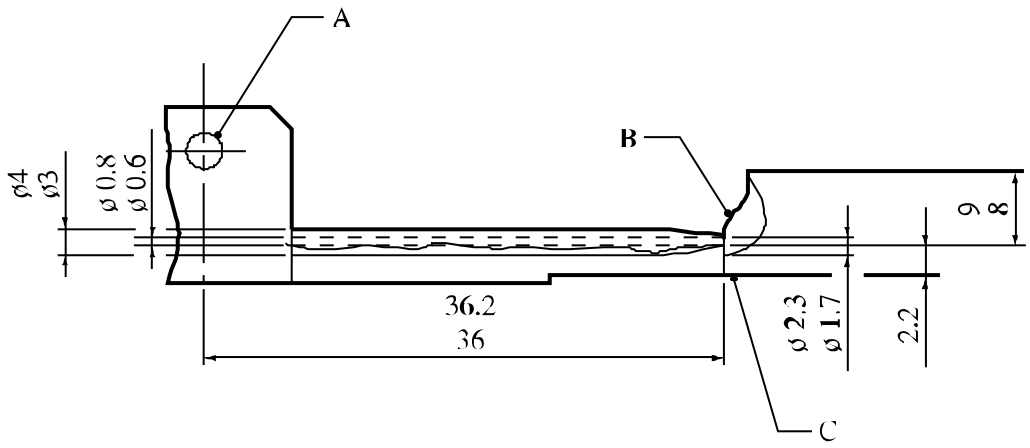
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Termómetro
(B)	Tope
(C)	Mango
(D)	Mechero de gas
(E)	Cavidad para la muestra

Figura 32.5.2.1: APARATO PARA LA PRUEBA DE COMBUSTIBILIDAD

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Boquilla de entrada del butano
(B)	Llama para la prueba
(C)	Cavidad para la muestra

Figura 32.5.2.2: BOQUILLA Y LLAMA DE GAS PARA LA PRUEBA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

32.6 Métodos de prueba utilizados para determinar el punto de ebullición inicial

Los métodos siguientes pueden utilizarse para determinar el punto de ebullición inicial de los líquidos inflamables:

Normas internacionales:

ISO 3924
ISO 4626
ISO 3405

Normas nacionales:

American Society for Testing Materials International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, Pennsylvania, USA 19428-2959:

ASTM D86-07a, Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure
ASTM D1078-05, Standard Test Method for Distillation Range of Volatile Organic Liquids

Otros métodos aceptables:

Método, descrito en la parte A del anexo del Reglamento (CE) Nº 440/2008 de la Comisión.[2]

[2] *Reglamento (CE) Nº 440/2008 de la Comisión, de 30 de mayo de 2008, por el que se establecen métodos de ensayo de acuerdo con el Reglamento (CE) Nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) (Diario Oficial de la Unión Europea, Nº L 142, de 31 de mayo de 2008, págs. 1 a 739).*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 33

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 4

33.1 Introducción

Esta sección del Manual comprende los procedimientos de clasificación, los métodos de prueba y los criterios relativos a las sustancias (excepto las sustancias de reacción espontánea de la clase 4.1; véase la parte II) y objetos de la clase 4.

33.2 División 4.1

33.2.1 *Sólidos inflamables*

33.2.1.1 *Objetivo*

33.2.1.1.1 En la sección 33.2.1.3 se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de los sólidos que entran fácilmente en combustión, de la división 4.1 (véase la subsección 2.4.2.2 de la Reglamentación Modelo). El texto debe utilizarse en conjunción con los principios de clasificación enunciados en los párrafos 2.4.2.2.2 y 2.4.2.2.3 de la Reglamentación Modelo, el diagrama de la figura 33.2.1.3 y las disposiciones relativas a las pruebas que figuran en el párrafo 33.2.1.4 del presente Manual.

33.2.1.1.2 A fin de establecer una distinción entre las sustancias que pueden inflamarse y las que se queman rápidamente o cuyas características de combustión son especialmente peligrosas, sólo se clasifican en la división 4.1 aquellas sustancias cuya velocidad de combustión excede de determinado valor límite.

33.2.1.1.3 Los procedimientos de prueba esbozados en el presente Manual y en la Reglamentación Modelo permiten evaluar debidamente el riesgo relativo que presentan los sólidos que entran fácilmente en combustión a fin de poder establecer una clasificación de los mismos con miras a su transporte.

33.2.1.2 *Ámbito de aplicación*

33.2.1.2.1 Los productos que se presentan para el transporte deben someterse a los procedimientos de clasificación enunciados en los párrafos 2.4.2.2.2 y 2.4.2.2.3 de la Reglamentación Modelo, a menos que no resulte posible efectuar las pruebas (por ejemplo, por su estado físico). Las sustancias u objetos que no puedan someterse a prueba deben clasificarse por analogía con los productos existentes (véase el párrafo 2.4.2.2.2.2 de la Reglamentación Modelo). El procedimiento de clasificación debe llevarse a cabo antes de que el nuevo producto se presente para el transporte.

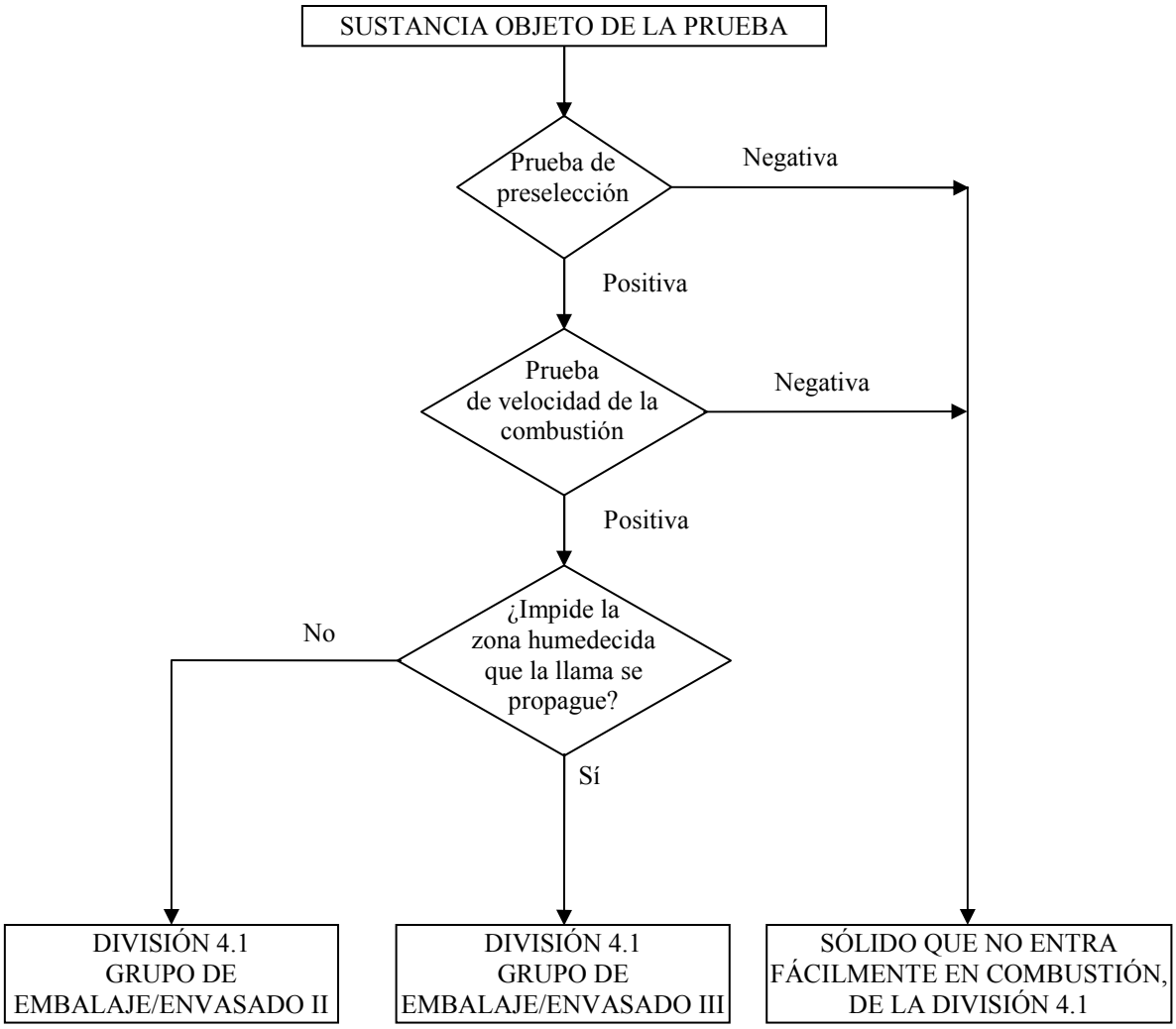
33.2.1.3 *Procedimiento de clasificación para los sólidos que entran fácilmente en combustión*

33.2.1.3.1 Se efectúa una prueba de preselección para determinar si hay propagación de la combustión con o sin llama en caso de inflamación por llama de gas. Si se produce la propagación dentro de un espacio de tiempo determinado, hay que llevar a cabo la totalidad de la prueba para determinar la velocidad e intensidad de la combustión.

33.2.1.3.2 Las pruebas sólo deben aplicarse a las sustancias en gránulos, pasta o polvo. Si, en la prueba de preselección, la sustancia no se inflama ni se propaga la combustión con o sin llama, no es necesario completar la prueba de la velocidad de combustión ya que no se trata de una sustancia que entra fácilmente en combustión, de la división 4.1. Si se produce la propagación y el tiempo de combustión es inferior al tiempo crítico, debe efectuarse toda la prueba de velocidad de la combustión. Sobre la base de los resultados de la prueba se decide si la sustancia es un sólido que entra fácilmente en combustión de la división 4.1 y, de ser así, si debe asignarse al grupo de embalaje/envase II o III.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 33.2.1.3:
DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN EN LA DIVISIÓN 4.1 DE LOS SÓLIDOS QUE ENTRAN FÁCILMENTE EN COMBUSTIÓN, EXCEPTO LOS POLVOS METÁLICOS



Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.2.1.4 *Prueba N.1: Método de prueba para las sustancias que entran fácilmente en combustión*

33.2.1.4.1 Introducción

La capacidad de una sustancia para propagar la combustión se somete a prueba inflamando la sustancia y calculando la duración de la combustión.

33.2.1.4.2 Aparatos y materiales

Para la prueba de velocidad de la combustión se utiliza un molde de sección triangular, de 250 mm de longitud, cuyas dimensiones interiores deben ser de 10 mm de altura y 20 mm de ancho. A ambos lados del molde, longitudinalmente, se fijan sendas láminas de metal, a modo de adrales, que sobresalgan 2 mm por encima del borde superior de la sección triangular (figura 33.2.1.4.1). Se emplea, a manera de soporte de la muestra, una placa impenetrable, incombustible y de baja conductibilidad térmica.

33.2.1.4.3 Procedimiento

33.2.1.4.3.1 Prueba de preselección

La sustancia, en su forma comercial, se dispone en una tira o reguero continuos de polvo de aproximadamente 250 mm de longitud, 20 mm de ancho y 10 mm de altura, sobre una placa fría, impenetrable y de baja conductibilidad térmica, que le servirá de soporte. Mediante un quemador de gas (diámetro mínimo, 5 mm) se aplica una llama de elevada temperatura (como mínimo, 1.000ºC) a uno de los extremos del reguero de polvo, hasta que éste se inflame o durante un tiempo máximo de 2 minutos (5 minutos en el caso de los polvos metálicos y de las aleaciones de metales). Se trata de comprobar si la combustión se propaga a lo largo de los 200 mm del reguero durante los dos minutos (o 20 minutos en el caso de los polvos metálicos) prescritos para la prueba. Si la sustancia no se inflama ni se propaga la combustión, con llama o sin ella, a lo largo de los 200 mm del reguero en los 2 (o los 20) minutos prescritos para la prueba, la sustancia no debe clasificarse como sólido inflamable y puede darse por concluida la prueba. Si la sustancia propaga la combustión a lo largo de los 200 mm del reguero de polvo en menos de 2 minutos (o en menos de 20 minutos en el caso de los polvos metálicos), se pasa a efectuar la totalidad del programa de prueba descrito en el párrafo 33.2.1.4.3.2.

33.2.1.4.3.2 Prueba de velocidad de la combustión

33.2.1.4.3.2.1 La sustancia en polvo o en gránulos, en su forma comercial, se aloja, sin atacarla, en el molde. Seguidamente, se deja caer el molde 3 veces, desde una altura de 20 mm, sobre una superficie sólida. Se retiran las láminas laterales y se coloca sobre el molde la placa impenetrable, incombustible y de baja conductibilidad térmica, después de lo cual se invierte la posición del conjunto y se retira el molde. Cuando se trate de una sustancia pastosa, se extiende la muestra sobre una superficie incombustible, de manera que adopte la forma de un cordón de 250 mm de longitud y aproximadamente 100 mm^2 de sección transversal. Si la sustancia es sensible a la humedad, debe efectuarse la prueba lo antes posible una vez sacada de su recipiente. Se coloca el soporte con la muestra frente al tiro de una campana de humos. La velocidad del aire, que debe ser constante durante la prueba, ha de ser suficiente para que no se expandan humos por el laboratorio. Puede rodearse el aparato con una pantalla.

33.2.1.4.3.2.2 Para las sustancias que no sean polvos metálicos, debe añadirse a la muestra, en un punto situado entre 30 y 40 mm de distancia de la zona de 100 mm de medición de la duración de la combustión, 1 ml de una solución humectante. Esa solución debe ser aplicada gota a gota en la cresta de la muestra, de manera que la sección transversal de ésta se humedezca en su totalidad sin pérdidas de líquidos por los lados. La solución debe depositarse sobre un trecho de muestra lo más corto posible, pero evitando que el líquido se pierda por los lados. Con muchas sustancias, el agua discurre por los lados de la muestra, por lo que puede ser necesario agregar agentes humectantes. Los que se utilicen no deben contener ningún diluyente combustible, y la sustancia activa presente en la solución humectante no debe exceder del 1%. Para añadir ese líquido a la muestra, puede abrirse en su parte superior una cavidad de hasta 3 mm de profundidad y 5 mm de diámetro.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.2.1.4.3.2.3 Se enciende la muestra por uno de sus extremos, para lo cual puede utilizarse cualquier medio adecuado, como puede ser una llama pequeña o un hilo metálico muy caliente a 1.000ºC de temperatura como mínimo. Cuando la muestra ha ardido hasta una distancia de 80 mm, se mide la velocidad de la combustión a lo largo de los 100 mm siguientes. Cuando no se trate de polvos metálicos, se comprueba si la zona humedecida detiene o no detiene la propagación de la llama durante 4 minutos, por lo menos. Deben efectuarse seis ensayos, con una placa fría y limpia en cada uno de ellos, a menos que se observe antes un resultado positivo.

33.2.1.4.4 *Criterios de prueba y método para la evaluación de los resultados*

33.2.1.4.4.1 Las sustancias en polvo, granulares o pastosas deben clasificarse en la división 4.1 si en uno o más ensayos efectuados conforme al método descrito en el párrafo 33.2.1.3.4.2 el tiempo de combustión es inferior a 45 segundos, o bien si la velocidad de combustión es superior a 2,2 mm/s. Los polvos metálicos o las aleaciones de metales deben clasificarse en dicha división si pueden inflamarse y la reacción se propaga en 10 minutos o menos a toda la longitud de la muestra.

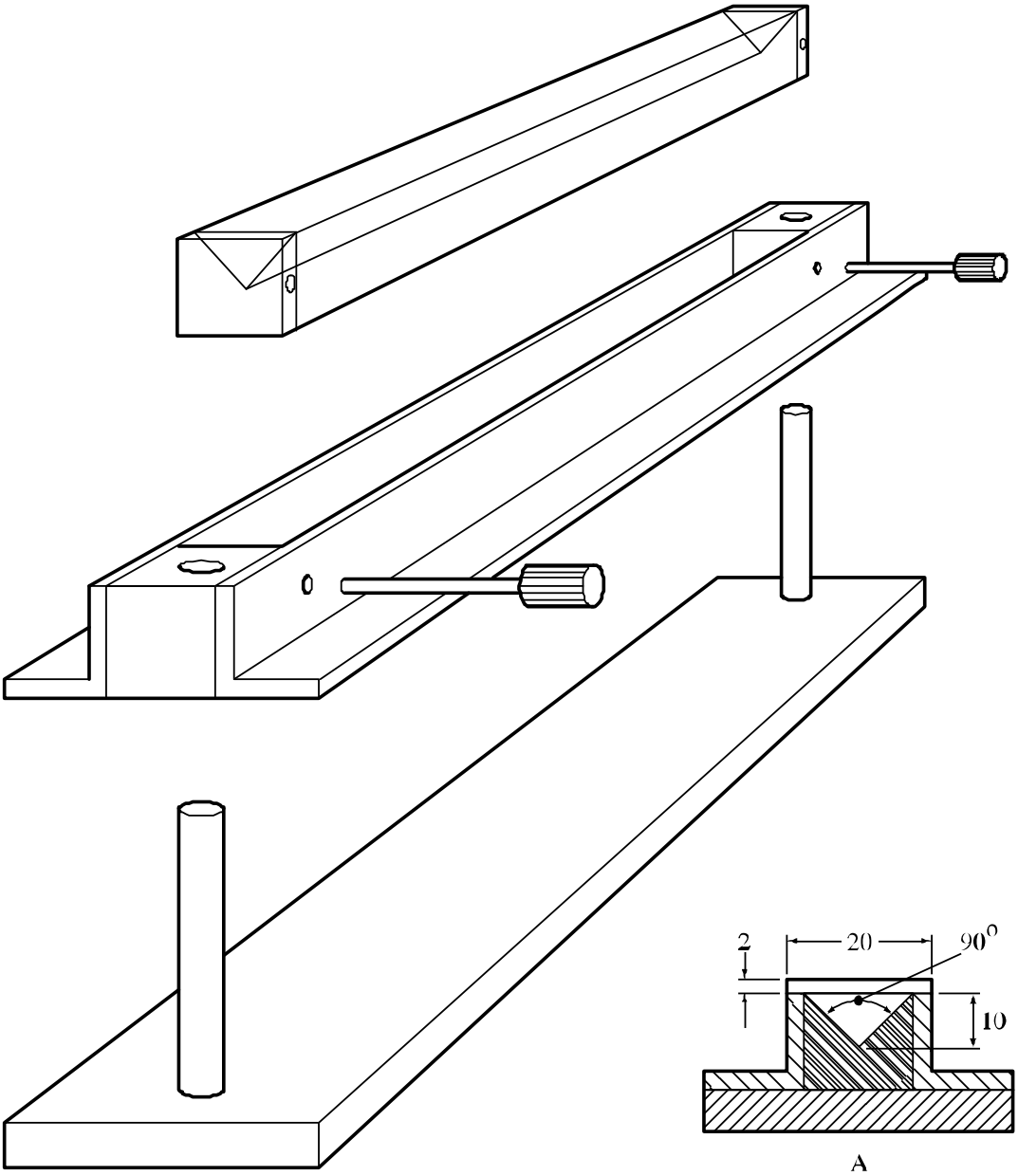
33.2.1.4.4.2 Las sustancias sólidas (distintas de los polvos metálicos) que entran fácilmente en combustión deben asignarse al grupo de embalaje/envasado II si el tiempo de combustión es inferior a 45 s y si la llama rebasa la zona humidificada. Los polvos metálicos y las aleaciones de metales deben asignarse al grupo de embalaje/envasado II si la zona de reacción se extiende a lo largo de toda la muestra en 5 minutos o menos.

33.2.1.4.4.3 Las sustancias sólidas (distintas de los polvos metálicos) que entran fácilmente en combustión deben asignarse al grupo de embalaje/envasado III si el tiempo de combustión es inferior a 45 s y si la zona humidificada detiene la propagación de la llama durante 4 minutos, por lo menos. Los polvos metálicos deben asignarse al grupo de embalaje/envasado III si la reacción se extiende a lo largo de toda la muestra en más de 5 minutos, pero menos de 10 minutos.

33.2.1.4.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Tiempo de combustión preliminar (s)**	**Tiempo de combustión (s)**	**Demora (s)**	**Resultado**
Complejo de ditiocarbamato de manganeso y etileno con sal de cinc, 88% (Mancozeb)	-	102	-	No incl. En div. 4.1
Complejo de ditiocarbamato de manganeso y etileno con sal de cinc, 80% (Mancozeb)	-	145	-	No incl. En div. 4.1
Complejo de ditiocarbamato de manganeso y etileno con sal de cinc, 75% (Mancozeb)	No se inflama	-	-	No incl. En div. 4.1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Sección transversal del molde, de 250 mm de longitud

Figura 33.2.1.4.1: MOLDE Y ACCESORIOS PARA PREPARAR LA MUESTRA PARA LA PRUEBA DE VELOCIDAD DE LA COMBUSTIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.2.2 [*Reservada*]

33.2.3 *Explosivos sólidos desensibilizados de la división 4.1*

33.2.3.1 En esta subsección se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de los explosivos desensibilizados de la división 4.1 (véase la subsección 2.4.2.4 de la Reglamentación Modelo). Los explosivos sólidos desensibilizados son sustancias que se humedecen con agua o alcoholes o se diluyen con otras sustancias para formar una mezcla líquida homogénea que neutralice sus propiedades explosivas.

33.2.3.2 En el caso de los nuevos productos térmicamente estables que tengan, o se sospeche que tienen, propiedades explosivas, debe considerarse primero la posibilidad de incluirlos en la clase 1 y aplicarles el procedimiento de aceptación en la clase 1 y, de ser necesario, el procedimiento de asignación.

33.2.3.3 Cuando una sustancia se asigne a la clase 1 pero se diluya para quedar excluida de la clase 1 con arreglo a la serie de pruebas 6 (véase la sección 16), esta sustancia diluida, si responde a los criterios de clasificación o a la definición de otra clase o división, debe clasificarse en esta clase o división en la concentración más elevada que la excluya de la clase 1. Estas sustancias, suficientemente diluidas, pueden considerarse como no peligrosas (véase también el párrafo 2.1.3.5.3 de la Reglamentación Modelo).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.3 División 4.2

33.3.1 *Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea*

33.3.1.1 *Objetivo*

33.3.1.1.1 En esta subsección se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de las sustancias que pueden experimentar combustión espontánea de la división 4.2 (véase la sección 2.4.3 de la Reglamentación Modelo). El texto debe utilizarse en conjunción con los principios de clasificación enunciados en las subsecciones 2.4.3.2 y 2.4.3.3 de la Reglamentación Modelo y las disposiciones relativas a las pruebas que figuran en los párrafos 33.3.1.4 a 33.3.1.6 del presente Manual.

33.3.1.1.2 Los procedimientos de prueba tienen por finalidad determinar dos tipos de sustancias que poseen propiedades de combustión espontánea:

a) Sustancias, incluidas las mezclas y soluciones (líquidas o sólidas), que aun en pequeñas cantidades se inflaman en el espacio de cinco minutos tras entrar en contacto con el aire. Son éstas las sustancias con mayor tendencia a la combustión espontánea, y se las denomina "sustancias pirofóricas";

b) Sustancias que pueden calentarse espontáneamente en contacto con el aire, sin aporte de energía. Estas sustancias no se inflaman sino cuando están en cantidades importantes (kilogramos) y al cabo de cierto tiempo (horas o días), y se las denomina "sustancias que experimentan calentamiento espontáneo".

33.3.1.1.3 Mediante los procedimientos de prueba que se describen en esta subsección se puede evaluar debidamente el riesgo relativo que presentan las sustancias que pueden experimentar combustión espontánea con miras a efectuar una clasificación apropiada con fines de transporte.

33.3.1.2 *Ámbito de aplicación*

33.3.1.2.1 Los productos que se presenten para el transporte deben someterse a los procedimientos de clasificación descritos en las subsecciones 2.4.3.2 y 2.4.3.3 de la Reglamentación Modelo, a menos que no resulte posible efectuar las pruebas (por ejemplo, por las propiedades físicas de la sustancia). El procedimiento de clasificación debe llevarse a cabo antes de que el producto se presente para el transporte.

33.3.1.3 *Procedimiento de clasificación de las sustancias que pueden experimentar combustión espontánea*

33.3.1.3.1 Sólidos pirofóricos

Se efectúa una prueba para determinar si un sólido se inflama en el espacio de cinco minutos tras entrar en contacto con el aire. El método recomendado se reproduce aquí (33.3.1.4). Sobre la base de los resultados de la prueba se decide si la sustancia es un sólido pirofórico de la división 4.2. Todos los sólidos pirofóricos se asignan al grupo de embalaje/envasado I.

33.3.1.3.2 Líquidos pirofóricos

Se efectúa una prueba para determinar si un líquido se inflama al incorporarlo a un soporte inerte y exponerlo al aire. Si no se inflama, se pasa a la segunda parte de la prueba que consiste en determinar si inflama o carboniza un trozo de papel filtro. El método recomendado se reproduce en la subsección 33.3.1.5 del presente Manual. Sobre la base de los resultados de la prueba se decide si la sustancia es un líquido pirofórico de la división 4.2. Todos los líquidos pirofóricos se asignan al grupo de embalaje/envasado I.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.3.1.3.3 Sustancias que experimentan calentamiento espontáneo

33.3.1.3.3.1 Se efectúan pruebas para determinar si unas sustancias, en muestras en forma de cubos de 25 ó 100 mm de lado, mantenidas a temperaturas constantes de 100ºC, 120ºC ó 140ºC, experimentan combustión espontánea o un peligroso calentamiento espontáneo, que se manifiesta por una elevación de la temperatura de 60ºC por encima de la temperatura del horno en el espacio de 24 horas. El sistema de clasificación se representa en la figura 33.3.1.3.3.1. Estos criterios están basados en la temperatura de inflamación espontánea del carbón vegetal, que es de 50ºC para una muestra cúbica de 27 m^3. No deben asignarse a la división 4.2 las sustancias con una temperatura de combustión espontánea de más de 50ºC para un volumen de 27 m^3. No deben asignarse al grupo de embalaje/envasado II de la división 4.2 las sustancias con una temperatura de inflamación espontánea de más de 50ºC para un volumen de 450 litros. El método recomendado figura en la subsección 33.3.1.6 del presente Manual.

33.3.1.3.3.2 Si no se produce un calentamiento espontáneo peligroso en una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140ºC, no se trata de una sustancia que experimenta calentamiento espontáneo de la división 4.2.

33.3.1.3.3.3 Si se produce un calentamiento espontáneo peligroso en una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140ºC, debe efectuarse una prueba con una muestra de 25 mm a 140ºC para determinar si debe asignarse al grupo de embalaje/envasado II.

33.3.1.3.3.4 Si se produce un calentamiento espontáneo peligroso a 140ºC con una muestra cúbica de 100 mm de lado, pero no con una muestra cúbica de 25 mm de lado, debe efectuarse una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado:

a) A 120ºC, si debe transportarse en bultos de volumen no superior a 3 cm^3; o

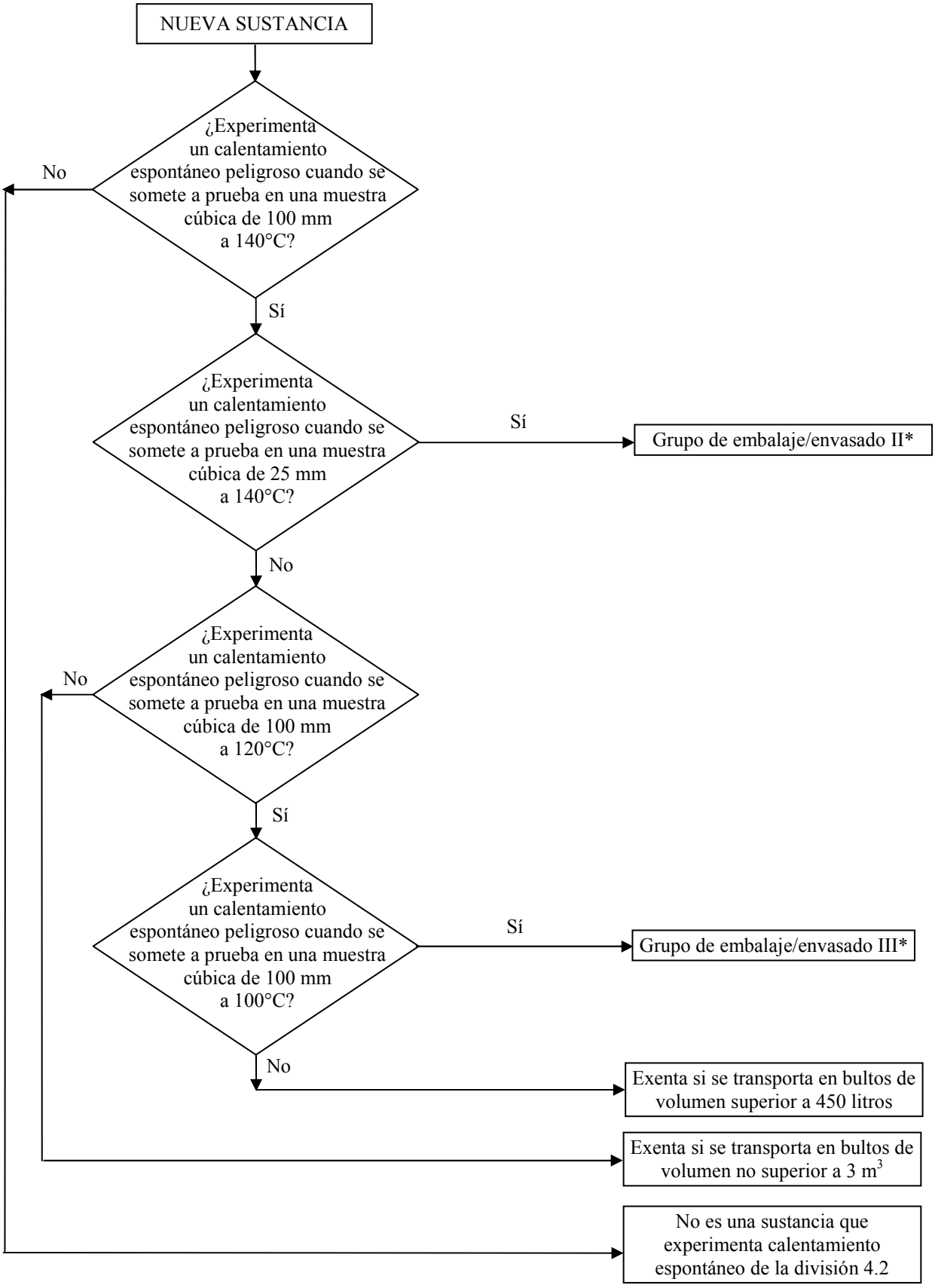
b) A 100ºC, si debe transportarse en bultos de volumen no superior a 450 litros.

Sobre la base de los resultados de la prueba se decide si la sustancia se asigna al grupo de embalaje/envasado III de la división 4.2 o si la sustancia no es una sustancia que experimenta calentamiento espontáneo de la división 4.2 en el embalaje/envase que va a utilizarse.

33.3.1.3.3.5 Las sustancias de reacción espontánea del tipo G que den un resultado positivo en esta prueba pueden clasificarse en la división 4.2 (véase 20.2.6).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 33.3.1.3.3.1: CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS QUE EXPERIMENTAN CALENTAMIENTO ESPONTÁNEO



* *Las sustancias con una temperatura de calentamiento espontáneo superior a 50°C para 27 m^3 no deben clasificarse en la división 4.2.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.3.1.4 *Prueba N.2: Método de prueba para sólidos pirofóricos*

33.3.1.4.1 Introducción

Se determina la capacidad de una sustancia sólida para inflamarse al contacto del aire exponiéndola al aire y determinando el tiempo que transcurre hasta la inflamación.

33.3.1.4.2 Aparatos y materiales

No se requiere ningún material especial de laboratorio.

33.3.1.4.3 Procedimiento

Desde aproximadamente 1 m de altura se derrama sobre una superficie incombustible una muestra de 1 a 2 ml de la sustancia en polvo, y se observa si ésta se inflama durante el descenso o en el espacio de 5 minutos después de posarse. Esta operación debe efectuarse seis veces, a menos que se observe antes un resultado positivo.

33.3.1.4.4 Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados

Si la muestra se inflama en una de las pruebas, se considera que la sustancia es pirofórica y debe clasificarse en el grupo de embalaje/envasado I de la división 4.2.

33.3.1.4.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Tiempo de inflamación (s)**	**Resultado**
Complejo de ditiocarbamato de de manganeso y etileno con sal de cinc, 88% (Mancozeb)	No hay inflamación en 5 min	No incl. en GE I, div. 4.2
Complejo de ditiocarbamato de de manganeso y etileno con sal de cinc, 80% (Mancozeb)	No hay inflamación en 5 min	No incl. en GE I, div. 4.2
Complejo de ditiocarbamato de manganeso y etileno con sal de cinc, 75% (Mancozeb)	No hay inflamación en 5 min	No incl. en GE I, div. 4.2

33.3.1.5 *Prueba N.3: Método de prueba para líquidos pirofóricos*

33.3.1.5.1 Introducción

Se determina la capacidad de una sustancia líquida para inflamarse cuando se la incorpora a un soporte inerte y se la expone al aire, o para carbonizar o inflamar un trozo de papel filtro en contacto con el aire.

33.3.1.5.2 Aparatos y materiales

Para la primera parte de la prueba, se requiere una cubeta de porcelana de unos 100 mm de diámetro y cierta cantidad de tierra de diatomeas o de sílice gelatinosa, y para la segunda, papel filtro poroso.

33.3.1.5.3 Procedimiento

33.3.1.5.3.1 Dentro de una cubeta de porcelana de unos 100 mm de diámetro se pone cierta cantidad de tierra de diatomeas o de sílice gelatinosa a la temperatura ambiente hasta que llegue a unos 5 mm de altura. Se añaden 5 ml aproximadamente del líquido objeto de la prueba y se observa si la sustancia se inflama en un período de 5 minutos. Esta operación debe efectuarse seis veces, a menos que se obtenga antes un

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

resultado positivo. Si el resultado es negativo, debe aplicarse el procedimiento descrito en el párrafo 33.3.1.5.3.2.

33.3.1.5.3.2 Mediante una jeringuilla se deposita una muestra de 0,5 ml del líquido objeto de la prueba sobre un papel filtro seco con una pequeña concavidad. Se efectúa la prueba a 25 ± 2ºC y con humedad relativa del 50 ± 5%. Se observa si el papel filtro se inflama o carboniza en un período de cinco minutos a partir del momento en que se lo somete a la acción del líquido. Esta operación debe efectuarse tres veces, con un papel filtro nuevo cada vez, a menos que se obtenga antes un resultado positivo.

33.3.1.5.4 Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados

Si el líquido se inflama en la primera parte de la prueba, o si en la segunda parte se inflama o carboniza el papel filtro, se considera que la sustancia es pirofórica y debe clasificarse en el grupo de embalaje/envasado I de la división 4.2.

33.3.1.5.5 Ejemplos de resultados

Sustancia	**Efecto de la exposición al aire**	**Efecto sobre el papel filtro**	**Resultado**
Cloruro de dietil-aluminio/ isopentano (10/90)	No hay inflamación	No hay carbonización	No incl. en div. 4.2
Cloruro de dietil-aluminio/ isopentano (15/85)	No hay inflamación	Carbonización	Div.4.2
Cloruro de dietil-aluminio/ isopentano (95/5)	No hay inflamación	Carbonización	Div.4.2
Trietilaluminio/heptano (10/90)	No hay inflamación	No hay carbonización	No incl. en div. 4.2
Trietilaluminio/heptano (15/85)	No hay inflamación	Carbonización	Div.4.2
Trietilaluminio/heptano (95/5)	No hay inflamación	Carbonización	Div.4.2

33.3.1.6 *Prueba N.4: Método de prueba para las sustancias que experimentan calentamiento espontáneo*

33.3.1.6.1 Introducción

Se determina la capacidad de una sustancia para experimentar un calentamiento espontáneo por oxidación cuando se la expone al aire a temperaturas de 100ºC, 120ºC ó 140ºC en un cubo de tela metálica de 25 ó 100 mm de lado.

33.3.1.6.2 Aparatos y materiales

Se necesitan los aparatos siguientes:

a) un horno de aire caliente circulante, de un volumen interior de más de 9 litros y provisto de los dispositivos de regulación necesarios para mantener su temperatura interna a 100ºC, 120ºC ó 140ºC ± 2ºC;

b) dos portamuestras cúbicos de 25 mm y 100 mm de lado, respectivamente, de tela de acero inoxidable con malla de 0,05 mm y abiertos por la parte superior; y

c) dos termopares de cromel-alumel de 0,3 mm de diámetro, que se colocan, respectivamente, en el centro de la muestra y entre el portamuestra y la pared del horno.

Cada portamuestra se aloja en un receptáculo cúbico, de tela de acero inoxidable con malla de 0,60 mm, de tamaño algo mayor que el portamuestra respectivo. A fin de evitar los efectos del aire

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

circulante, el receptáculo se coloca, a su vez, en otra jaula de tela de acero inoxidable con malla de 0,595 mm, que mide 150 × 150 × 250 mm.

33.3.1.6.3 Procedimiento

Se llena el portamuestra hasta el borde con la sustancia, en polvo o granular, en su forma comercial, y se lo golpea suavemente varias veces para comprimir la muestra. Si se asienta la muestra, se agrega la cantidad necesaria para que llegue al borde. Se aloja el portamuestra en su receptáculo y se lo suspende en el centro del horno. Debe ponerse el horno a 140ºC de temperatura y ésta debe mantenerse durante 24 horas. Deben registrarse continuamente las temperaturas de la muestra y del horno. La primera prueba[1] puede efectuarse con una muestra cúbica de 100 mm de lado. Se obtiene un resultado positivo si se produce una inflamación espontánea o si la temperatura de la muestra excede en 60ºC de la temperatura del horno. Si se obtiene un resultado negativo, puede darse por concluida la prueba. Si se obtiene un resultado positivo, hay que efectuar una segunda prueba a 140ºC con una muestra cúbica de 25 mm de lado para determinar si la sustancia debe asignarse o no al grupo de embalaje/envasado II. Si se obtiene un resultado positivo a 140ºC con una muestra cúbica de 100 mm de lado, pero no con una muestra de 25 mm, debe efectuarse una prueba adicional con la muestra cúbica de 100 mm de lado:

a) A 120ºC, si la sustancia va a transportarse en bultos de volumen superior a 450 litros, pero de no más de 3 cm^3; o

b) A 100ºC, si la sustancia va a transportarse en bultos de volumen no superior a 450 litros.

33.3.1.6.4 Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados

33.3.1.6.4.1 Se obtiene un resultado positivo si se produce una inflamación espontánea o si la temperatura de la muestra supera en 60°C la del horno durante las 24 horas del período de prueba. De no ser así, el resultado se considera negativo.

33.3.1.6.4.2 Una sustancia no debe clasificarse en la división 4.2:

a) Si se obtiene un resultado negativo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140ºC;

b) Si se obtiene un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140ºC, un resultado negativo en una prueba con una muestra cúbica de 25 mm de lado a 140ºC, un resultado negativo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 120ºC *y* la sustancia debe transportarse en bultos de volumen no superior a 3 m^3;

c) Si se obtiene un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140ºC, un resultado negativo en una prueba con una muestra cúbica de 25 mm de lado a 140ºC, un resultado negativo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 100ºC y la sustancia debe transportarse en bultos de volumen no superior a 450 litros.

33.3.1.6.4.3 Deben asignarse al grupo de embalaje/envasado II las sustancias que experimentan calentamiento espontáneo que den un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 25 mm de lado a 140°C.

[1] *Puede alterarse el orden de las pruebas. Por ejemplo, si se prevé que se obtendrá un resultado positivo con una muestra cúbica de 25 mm, se puede, por razones de seguridad y de protección ambiental, efectuar la primera prueba con una muestra de ese tamaño. Si se obtiene un resultado positivo con esta muestra, no es necesario efectuar la prueba con una muestra cúbica de 100 mm.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.3.1.6.4.4 Las sustancias que experimentan calentamiento espontáneo deben asignarse al grupo de embalaje/envasado III:

a) Si se obtiene un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm a 140ºC, y un resultado negativo en una prueba con una muestra cúbica de 25 mm de lado a 140ºC y la sustancia debe transportarse en bultos de volumen no superior a 3 m^3;

b) Si se obtiene un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140ºC, un resultado negativo en una prueba con una muestra de 25 mm de lado a 140ºC, un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm a 120ºC y la sustancia debe transportarse en bultos de volumen no superior a 450 litros;

c) si se obtiene un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140ºC, un resultado negativo en una prueba con una muestra cúbica de 25 mm de lado a 140ºC *y* si se obtiene un resultado positivo en una prueba con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 100ºC.

33.3.1.6.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Temp. del horno (ºC)**	**Lado de la muestra cúbica (mm)**	**Temp. máxima alcanzada (ºC)**	**Resultado**
Catalizador de cobalto/molibdeno, gránulos	140	100	> 200	GE III, div. 4.2[a]
Catalizador de níquel, gránulos, con 70% de aceite hidrogenado	140	100	140	No incl. en div. 4.2
Catalizador de níquel, gránulos, con 50% de aceite blanco	140	100	> 200	GE III, div. 4.2[a]
Catalizador de níquel/molibdeno, gránulos (agotado)	140	100	> 200	GE III, div. 4.2[a]
Catalizador de níquel/molibdeno, gránulos (pasivado)	140	100	161	No incl. en div. 4.2
Catalizador de níquel/vanadio, gránulos	140	25	> 200	GE II, div. 4.2
Complejo de ditiocarbamato de manganeso y etileno con sal de cinc, 75% (Mancozeb)	140	25	> 200	GE II, div. 4.2
Ditiocarbamato de manganeso y etileno, 80% (Maneb)	140	25	> 200	GE II, div. 4.2

[a] *No se probó a 100ºC ni a 120ºC.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

33.4 División 4.3

33.4.1 *Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables*

33.4.1.1 *Objetivo*

33.4.1.1.1 En esta sección se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de las sustancias de la división 4.3 que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables (véase la sección 2.4.4 de la Reglamentación Modelo). El texto debe utilizarse en conjunción con los principios de clasificación enunciados en las subsecciones 2.4.4.2 y 2.4.4.3 de la Reglamentación Modelo, junto con las disposiciones relativas a las pruebas que se citan en la subsección 33.4.1.4 del presente Manual.

33.4.1.1.2 El procedimiento de prueba tiene por finalidad determinar si al reaccionar una sustancia con el agua se producen cantidades peligrosas de gases que puedan llegar a inflamarse.

33.4.1.1.3 Los procedimientos de prueba que se describen en el presente Manual permiten evaluar debidamente el riesgo relativo que presentan las sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables (llamadas a veces sustancias hidrorreactivas en la Reglamentación Modelo) a fin de poder establecer una clasificación apropiada de estas sustancias con fines de transporte.

33.4.1.2 *Ámbito de aplicación*

33.4.1.2.1 Los nuevos productos que se presenten para el transporte deben someterse a los procedimientos de clasificación descritos en las subsecciones 2.4.4.2 y 2.4.4.3 de la Reglamentación Modelo. El procedimiento de clasificación debe llevarse a cabo antes de que el nuevo producto se presente para el transporte.

33.4.1.3 *Procedimiento de clasificación para las sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables*

33.4.1.3.1 El método de prueba puede aplicarse tanto a las sustancias sólidas como a las líquidas. En el caso de una sustancia pirofórica, el ensayo debe efectuarse en una atmósfera de nitrógeno. La sustancia debe someterse a la prueba en su forma comercial a la temperatura ambiente (20 °C) poniéndola en contacto con el agua. Si durante alguna etapa de la prueba se inflama el gas desprendido, puede darse por concluida la prueba y debe asignarse la sustancia a la división 4.3. Si no se produce inflamación espontánea del gas, debe efectuarse la etapa final de la prueba para determinar la tasa de emisión de gas inflamable. El método recomendado, con sus posibles resultados, se describe en la subsección 33.4.1.4 del presente Manual. Sobre la base de los resultados obtenidos en la prueba, se decide si se trata de una sustancia hidrorreactiva de la división 4.3 y, de ser así, si debe asignarse al grupo de embalaje/envasado I, II o III.

33.4.1.4 *Prueba N.5: Método de prueba para las sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables*

33.4.1.4.1 Introducción

Se somete a prueba la capacidad de una sustancia para desprender gases inflamables cuando se la pone en contacto con el agua en diversas condiciones.

33.4.1.4.2 Aparatos y materiales

No se requiere ningún material especial de laboratorio.

33.4.1.4.3 Procedimiento

33.4.1.4.3.1 La sustancia debe someterse a prueba con arreglo a los procedimientos que se describen a continuación; si en cualquier etapa se produce inflamación espontánea, puede darse por concluida la prueba.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Si se determina que la sustancia no reacciona violentamente con el agua, hay que pasar al párrafo 33.4.1.4.3.5.

33.4.1.4.3.2 En una cubeta con agua destilada, a 20ºC, se pone una pequeña cantidad (equivalente a unos 2 mm de diámetro) de la sustancia objeto de la prueba. Se observa:

a) Si se produce algún desprendimiento de gas; y

b) Si éste se inflama espontáneamente.

33.4.1.4.3.3 Se pone una pequeña cantidad (equivalente a unos 2 mm de diámetro) de la sustancia objeto de la prueba en el centro de un papel filtro, que se extiende flotando sobre la superficie del agua destilada a 20ºC en un recipiente adecuado (por ejemplo, una cápsula de evaporación de 100 mm de diámetro). El objeto del papel filtro es hacer que la sustancia permanezca fija en determinado punto, con lo que es máxima la probabilidad de inflamación espontánea del gas que pueda desprenderse. Se observa:

a) Si se produce algún desprendimiento de gas; y

b) Si éste se inflama espontáneamente.

33.4.1.4.3.4 Se forma con la sustancia un montoncillo de aproximadamente 20 mm de altura y 30 mm de diámetro, con un hoyo en la parte superior. Se vierten en éste unas cuantas gotas de agua. Se observa:

a) Si se produce algún desprendimiento de gas; y

b) Si éste se inflama espontáneamente.

33.4.1.4.3.5 Si se trata de una sustancia sólida, debe examinarse para verificar qué proporción contiene de partículas de menos de 500 micrones de diámetro. Si dicha proporción excede del 1% (en masa) del total, o si la sustancia es friable, se pulveriza la muestra en su totalidad antes de la prueba, habida cuenta de que puede producirse una disminución del tamaño de las partículas de resultas de la manipulación y el transporte del producto. En caso contrario, la sustancia se someterá a la prueba en su forma comercial, como se hace con los líquidos. Esta prueba debe efectuarse tres veces, a la temperatura ambiente (20ºC) y a la presión atmosférica. Se vierte agua en un embudo de grifo, y se pesa y pone en un frasco cónico una muestra de la sustancia, en cantidad suficiente (hasta una masa máxima de 25 g) para que se produzcan emanaciones de gas de entre 100 y 250 ml. Se abre el grifo del embudo para que el agua pase al interior del frasco y se pone en marcha un cronómetro. El volumen del gas desprendido se mide por cualquier medio adecuado. Se anota el tiempo que transcurre hasta que dejan de desprenderse gases y también, de ser posible, se hacen varias mediciones intermedias.El régimen de emanación de gas se determina con respecto a un período de 7 horas y a intervalos de 1 hora. Si dicho régimen es irregular o aumenta después de transcurridas las 7 horas, se amplía el período de medición hasta un máximo de 5 días. Esta prueba de 5 días puede interrumpirse si el régimen de emanación se estabiliza o disminuye de manera constante y se han obtenido datos suficientes para asignar a la sustancia un grupo de embalaje/envasado o para determinar que no debe ser clasificada como sustancia de la división 4.3. Si no se conoce la naturaleza química del gas desprendido, se lo someterá a una prueba de inflamabilidad.

33.4.1.4.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultado*s

33.4.1.4.4.1 Debe clasificarse en la división 4.3 toda sustancia:

a) Que se inflame espontáneamente en alguna fase de la prueba; o

b) Que desprenda un gas inflamable a un régimen superior a 1 litro por kilogramo de sustancia y hora.

33.4.1.4.4.2 Se asignará al grupo de embalaje/envasado I toda sustancia que a la temperatura ambiente reaccione con gran intensidad en contacto con el agua y desprenda gases que, por lo general, tiendan a inflamarse espontáneamente, o que a la temperatura ambiente reaccione rápidamente en contacto con el agua

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

de tal forma que el régimen de emanación de gas inflamable sea igual o superior a 10 litros por kilogramo de sustancia en un período de 1 minuto.

33.4.1.4.4.3 Se asignará al grupo de embalaje/envasado II toda sustancia que a la temperatura ambiente reaccione rápidamente en contacto con el agua de tal forma que el régimen máximo de emanación de gas inflamable sea igual o superior a 20 litros por kilogramo de sustancia y por hora, y que no responda a los criterios de asignación al grupo de embalaje/envasado I.

33.4.1.4.4.4 Se asignará al grupo de embalaje/envasado III toda sustancia que a la temperatura ambiente reaccione lentamente en contacto con el agua de tal forma que el régimen máximo de emanación de gas inflamable sea superior a 1 litro por kilogramo de sustancia y por hora, y que no responda a los criterios de asignación a los grupos de embalaje/envasado I o II.

33.4.1.4.5 *Ejemplos de resultados*

Sustancia	**Régimen de emanación de gas (litro/kg.h)**	**Inflamación espontánea del gas (sí/no)**	**Resultado**
Complejo de ditiocarbamato de manganeso y etileno con sal de cinc, 88% (Mancozeb)	0	No es aplicable	No incl. en div. 4.3

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 34

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS COMBURENTES DE LA DIVISIÓN 5.1

34.1 Objetivo

34.1.1 En esta sección se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de las sustancias comburentes de la división 5.1 (véase la sección 2.5.2 de la Reglamentación Modelo). Este texto debe utilizarse en conjunción con los principios de clasificación enunciados en los párrafos 2.5.2.2 y 2.5.2.3 de la Reglamentación Modelo y las disposiciones relativas a las pruebas que figuran en la sección 34.4 del presente Manual.

34.2 Ámbito de aplicación

34.2.1 Los nuevos productos que se presenten para el transporte deben someterse a los procedimientos de clasificación que se describen en los párrafos 2.5.2.2.1 y 2.5.2.2.2 ó 2.5.2.3.1 y 2.5.2.3.2 de la Reglamentación Modelo, a menos que no resulte posible efectuar las pruebas (por ejemplo, por las propiedades físicas). Las sustancias que no puedan someterse a prueba deben clasificarse por analogía con los productos existentes. El procedimiento de clasificación debe llevarse a cabo antes de que un nuevo producto se presente para el transporte.

34.3 Procedimiento de clasificación

Los procedimientos de prueba esbozados en esta sección ofrecen una evaluación suficiente del riesgo relativo de las sustancias comburentes de manera que la autoridad competente pueda hacer una clasificación apropiada con fines de transporte. En caso de divergencia entre los resultados de la prueba y la experiencia conocida, esta última tendrá precedencia sobre los resultados.

34.3.1 *Sustancias comburentes sólidas*

Se efectúa una prueba para determinar si una sustancia sólida tiene capacidad para aumentar la velocidad o intensidad de combustión de una sustancia combustible con la que forme una mezcla homogénea. El método de prueba recomendado figura en esta sección, así como en la subsección 2.5.2.2 de la Reglamentación Modelo. Los resultados de la prueba indican si se trata de una sustancia comburente sólida de la división 5.1 y, de ser así, si debe asignarse a los grupos de embalaje/envasado I, II o III (véase también **Orden de preponderancia de las características del riesgo** en la sección 2.0.3 de la Reglamentación Modelo). Como la granulometría tiene una incidencia importante en el resultado, debe constar en el informe de la prueba el tamaño de las partículas de la sustancia objeto de la prueba.

34.3.2 *Sustancias comburentes líquidas*

Se efectúa una prueba para determinar si una sustancia líquida tiene capacidad para aumentar la velocidad o intensidad de combustión de una sustancia combustible o para provocar una inflamación espontánea cuando esas dos sustancias formen una mezcla homogénea. El método de prueba que se recomienda en esta sección permite medir el tiempo de aumento de la presión durante la combustión. Los resultados de la prueba indican si se trata de una sustancia comburente de la división 5.1 y, de ser así, si debe asignarse a los grupos de embalaje/envasado I, II o III (véase también **Orden de preponderancia de las características del riesgo** en la sección 2.0.3 de la Reglamentación Modelo).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

34.4 Métodos de prueba para sustancias comburentes

34.4.1 *Prueba O.1: Prueba para sustancias comburentes sólidas*

34.4.1.1 *Introducción*

Este método de prueba tiene por finalidad medir la capacidad de una sustancia sólida para aumentar la velocidad o intensidad de combustión de una sustancia combustible con la que forme una mezcla homogénea. Se realizan dos ensayos con la sustancia que ha de evaluarse, mezclada con celulosa fibrosa seca en una proporción de 1 a 1 y de 4 a 1 (en masa), respectivamente. Las características de combustión de una y otra mezcla se comparan con las de una mezcla normalizada de bromato potásico y celulosa, en una proporción de 3 a 7 (en masa). Si el tiempo de combustión es igual o inferior al de esta mezcla, deben compararse los tiempos de combustión con los de las mezclas de referencia para los grupos de embalaje/envasado I o II, en una proporción de 3 a 2 y de 2 a 3 (en masa), de bromato potásico y celulosa, respectivamente.

34.4.1.2 *Aparatos y materiales*

34.4.1.2.1 Como sustancia de referencia se requiere bromato potásico técnicamente puro. Debe poder pasar, sin molerse, por un tamiz de 0,15 a 0,30 mm de malla. La sustancia de referencia se pone a secar a 65ºC hasta obtener una masa constante (durante 12 horas, como mínimo) y se deja en un aparato desecador (con un desecante) hasta que se enfríe y hasta el momento de utilizarla.

34.4.1.2.2 Como material combustible se utiliza celulosa fibrosa desecada[1], con una longitud de fibra de 50 a 250 µm y un diámetro medio de 25 µm. Se seca en una capa de menos de 25 mm de espesor, a 105ºC, hasta lograr una masa constante (durante 4 horas, como mínimo) y se conserva en el desecador (con desecante) hasta que se enfría y hasta el momento de utilizarla. El contenido de agua debe ser inferior a 0,5% en masa seca. Si es necesario, debe prolongarse el tiempo de secado hasta lograrlo.

34.4.1.2.3 Se requiere una fuente de inflamación, constituida por un hilo de metal inerte (por ejemplo, de níquel/cromo), conectado con una fuente de energía eléctrica y que tenga las características siguientes:

a)	Longitud	=	30 ± 1 cm
b)	Diámetro	=	0,6 ± 0,05 mm
c)	Resistencia eléctrica	=	6,0 ± 0,5 Ω/m
d)	Potencia eléctrica disipada en el hilo	=	150 ± 7 W

El hilo debe tener la forma que se indica en la figura 34.4.1.1.

34.4.1.2.4 Debe utilizarse un embudo de vidrio, con ángulo de 60º, sellado en su abertura estrecha, para dar a las mezclas una forma de cono truncado, de 70 mm de diámetro en la base, colocado sobre una placa cuadrada fría, impenetrable y de baja conductibilidad térmica. Esta placa puede tener 150 mm de lado y 6 mm de espesor y una conductibilidad térmica de 0,23 $W.m^{-1}.K^{-1}$ (a una temperatura de 0ºC). Pueden utilizarse otras placas de conductibilidad análoga.

34.4.1.2.5 Debe disponerse de una campana de humos o de otra clase de zona ventilada en la que la velocidad de la corriente de aire no debe exceder de 0,5 m/s. ***El sistema de extracción de humos debe tener capacidad para extraer humos tóxicos***.

[1] *Pueden solicitarse datos sobre esta prueba al organismo competente de Francia (véase el apéndice 4).*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

34.4.1.2.6 Debe comprobarse si la sustancia, en la forma en que va a ser transportada, contiene partículas de diámetro inferior a 500 µm. Si estas partículas constituyen más del 10% (en masa) del total, o si se trata de una sustancia friable, debe molerse la totalidad de la muestra para convertirla en polvo, antes de iniciar la prueba, a fin de prever un margen para la reducción del tamaño de las partículas durante la manipulación y el transporte.

34.4.1.3 *Procedimiento*

34.4.1.3.1 Se preparan 30,0 g ± 0,1 g de mezcla de la sustancia de referencia y de celulosa, con proporciones de bromato potásico y celulosa de 3 a 7, 2 a 3 y 3 a 2, en masa. Asimismo, se preparan 30,0 g ± 0,1 g de mezcla de la sustancia objeto de la prueba, con la misma granulometría que para el transporte (véase 34.4.1.2.6), y de celulosa con proporciones de sustancia comburente y celulosa de 4 a 1 y 1 a 1, en masa. Todas las mezclas deben hacerse por medios mecánicos, sin excesiva aplicación de fuerza. Cada mezcla debe prepararse por separado, utilizarse lo antes posible y no extraerse de un lote.

34.4.1.3.2 Por medio del embudo, se dispone cada una de las mezclas en un montoncillo en forma de cono truncado, de 70 mm de diámetro en la base, recubriendo el hilo de ignición, dispuesto en forma de bucle sobre la placa de baja conductibilidad. Esta debe colocarse en una zona ventilada y los ensayos deben efectuarse a la presión atmosférica y a una temperatura ambiente de 20ºC ± 5ºC.

34.4.1.3.3 Se conecta el hilo de ignición y se mantiene la corriente eléctrica mientras dure la prueba o por tres minutos si la mezcla no se inflama ni quema. El tiempo de combustión se mide desde el momento en que pasa la corriente hasta que termina la reacción principal (por ejemplo, llama o incandescencia). No deben tenerse en cuenta las reacciones intermitentes, tales como las chispas o el chisporroteo, tras la reacción principal. Si el hilo de calentamiento se quiebra durante el ensayo, éste debe repetirse, a menos que la ruptura del hilo no incida en modo alguno en el resultado. La prueba debe efectuarse cinco veces con cada sustancia. Deben realizarse cinco ensayos con cada mezcla de referencia utilizada para la asignación a un grupo de embalaje/envasado o para determinar si la sustancia no debe clasificarse en la división 5.1.

34.4.1.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

34.4.1.4.1 Para evaluar los resultados se tiene en cuenta:

a) La comparación del tiempo medio de combustión de la sustancia con los de las mezclas de referencia; y

b) El hecho de que la mezcla de sustancia y celulosa se inflame y queme.

34.4.1.4.2 Para determinar las propiedades comburentes de la sustancia se aplican los criterios siguientes:

Grupo de embalaje/envasado I:	toda sustancia que, en una proporción de 4 a 1 o de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de muestra y celulosa con que se la ensaye, registre un tiempo medio de combustión inferior al de una mezcla de bromato potásico y celulosa en una proporción de 3 a 2 (en masa).
Grupo de embalaje/envasado II:	toda sustancia que, en una proporción de 4 a 1 o de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de muestra y celulosa con que se la ensaye, registre un tiempo medio de combustión igual o inferior al de una mezcla de bromato potásico y celulosa en una proporción de 2 a 3 (en masa) y que no responda a los criterios relativos al grupo de embalaje/envasado I.
Grupo de embalaje/envasado III:	toda sustancia que, en una proporción de 4 a 1 o de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de muestra y celulosa con

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

que se la ensaye, registre un tiempo medio de combustión igual o inferior al de una mezcla de bromato potásico y celulosa en una proporción de 3 a 7 (en masa) y que no responda a los criterios relativos a los grupos de embalaje/envasado I y II.

No se incluye en la división 5.1: toda sustancia que, en una proporción de 4 a 1 o de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de muestra y celulosa, no se inflame ni queme o registre un tiempo medio de combustión superior al de una mezcla de bromato potásico y celulosa en una proporción de 3 a 7 (en masa).

En el caso de las sustancias que presenten otros riesgos (por ejemplo, toxicidad o corrosividad), deben cumplirse las disposiciones de la sección 2.0.3 de la Reglamentación Modelo.

34.4.1.5 *Ejemplos de resultados*

NOTA: Los resultados de las pruebas sólo deben utilizarse a título ilustrativo, ya que los resultados que se obtengan con determinada sustancia comburente dependerán del tamaño de las partículas, etc.

Sustancia	**Tiempos medios de combustión (s)**		**Resultado**
	Mezcla 4 a 1	**Mezcla 1 a 1**	
Clorato sódico	5	13	GE II
Dicromato amónico	55	189	GE III[a]
Nitrato amónico (cristalino)	161	74	GE III
Nitrato cálcico (anhidro)	10	25	GE II[b]
Nitrato cálcico (tetrahidrato)	268	142	No incl. en div. 5.1
Nitrato de cerio y amonio	10	36	GE II[c]
Nitrato de cobalto (hexahidrato)	205	390	No incl. en div. 5.1
Nitrato de estroncio (anhidro)	107	237	No incl. en div. 5.1[b]
Nitrato de níquel	101	221	No incl. en div. 5.1[b]
Trióxido de cromo	3	33	GE I[a]

Tiempos de combustión de las mezclas de sustancia de referencia y celulosa:

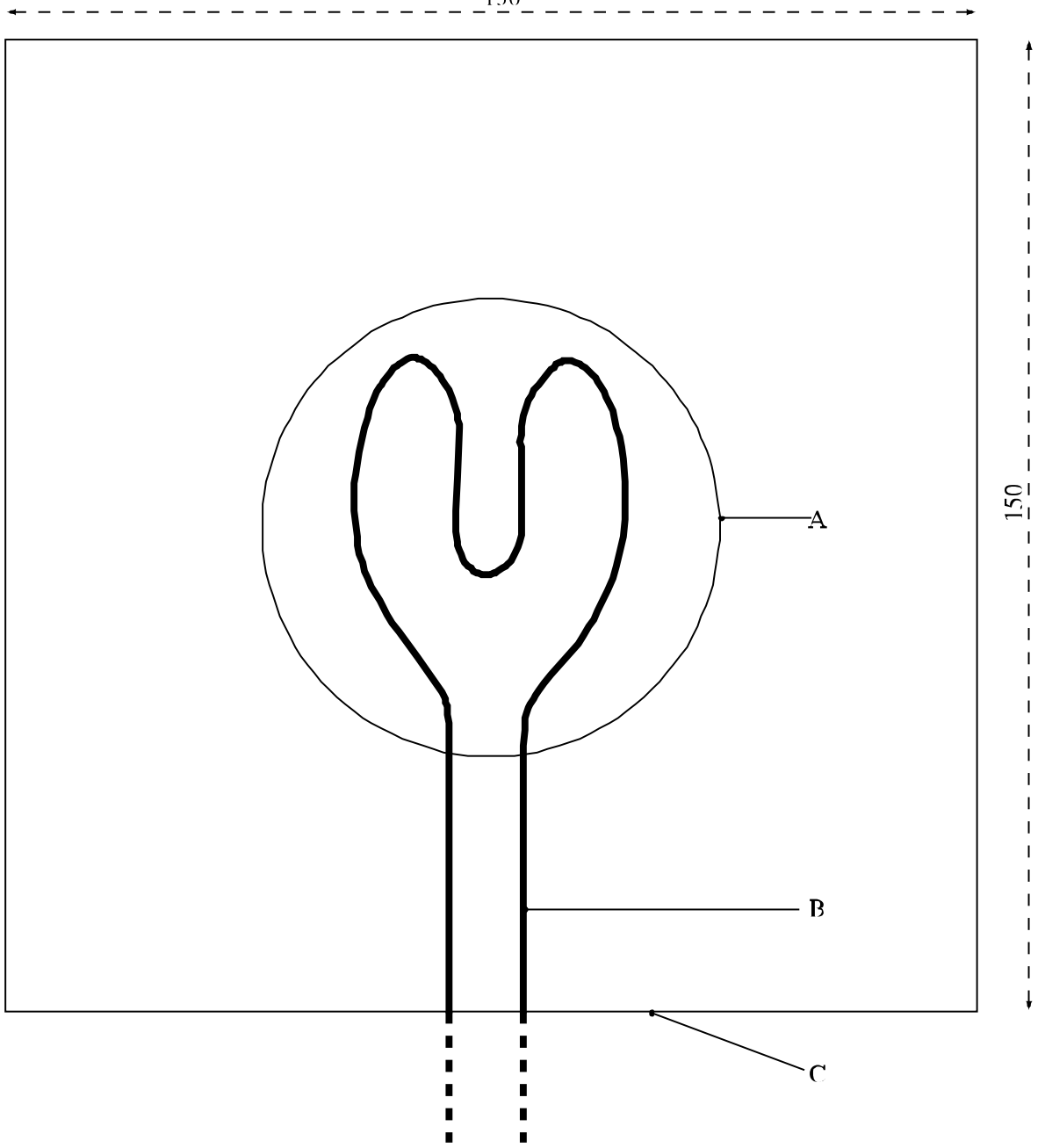
3 a 7 - bromato potásico/celulosa	100 s
2 a 3 - bromato potásico/celulosa	54 s
3 a 2 - bromato potásico/celulosa	4 s

[a] *Actualmente figura en el grupo de embalaje/envasado II, pero se trata de un caso dudoso*.

[b] *Actualmente figura en el grupo III*.

[c] *Actualmente no está clasificado*.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Base de la muestra en forma de cono truncado (70 mm de diámetro)
(B) Hilo de calentamiento
(C) Placa de baja conductibilidad térmica

Figura 34.4.1.1: PLACA E HILO DE ENCENDIDO PARA LA PRUEBA

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

34.4.2 *Prueba O.2: Prueba para sustancias comburentes líquidas*

34.4.2.1 *Introducción*

Este método de prueba sirve para medir la capacidad de una sustancia líquida para aumentar la velocidad o intensidad de combustión de una sustancia combustible cuando esas dos sustancias formen una mezcla homogénea o una mezcla que se inflame espontáneamente. El líquido se mezcla, en una relación de masa de 1 a 1, con celulosa fibrosa y la mezcla se calienta en un recipiente a presión y se determina la velocidad de aumento de la presión[2].

34.4.2.2 *Aparatos y materiales*

34.4.2.2.1 Se necesita un recipiente a presión como el que se utiliza en la prueba de tiempo/presión (véase la parte I, prueba 1 c) i)). Consiste en un recipiente cilíndrico a presión, de acero, de 89 mm de longitud y 60 mm de diámetro exterior (véase la figura 34.4.2.1). Diametralmente opuestos, tiene dos rebajos maquinados (que reducen a 50 mm su sección transversal), por donde se sujeta el aparato para ajustarle el tapón de activación y el de salida de gases. El recipiente, cuyo diámetro interior es de 20 mm, tiene en ambos extremos sendas muescas de 19 mm de profundidad, con rosca de una pulgada conforme a las normas británicas de fileteado para tubos de gas (BSP). En la superficie curva del aparato, y a manera de espita, va enroscada una toma de presión, a 35 mm de uno de los extremos y en ángulo de 90º con los rebajos maquinados. El taladro en que se aloja, de 12 mm de profundidad, tiene una rosca que se adapta al fileteado de ½ pulgada (conforme a las normas antes citadas), existente en el extremo de la espita. Si es necesario, se instala una junta de material inerte para asegurar la estanqueidad a los gases. La toma de presión sobresale 55 mm del cuerpo del recipiente y tiene un diámetro interior de 6 mm. En el otro extremo tiene un rebajo roscado al que se acopla un transductor de presión de diafragma. Puede utilizarse cualquier dispositivo de medida de presión, a condición de que resista a los gases calientes o a los productos de descomposición y pueda responder a un aumento de presión de 690 a 2.070 kPa en menos de 5 minutos.

34.4.2.2.2 El extremo del recipiente más alejado de la toma de presión está cerrado con un tapón de activación que tiene dos electrodos, uno de los cuales va aislado del tapón y el otro está puesto a tierra en este último. El otro extremo del recipiente va cerrado por una cápsula de seguridad (con presión de ruptura de, aproximadamente, 2.200 kPa (320 psi)), que se mantiene fija mediante un tapón de sujeción que tiene un orificio de 20 mm de diámetro. Si es necesario, se instala una junta de material inerte para asegurar la estanqueidad a los gases. Durante la prueba, el aparato se mantiene en la posición correcta mediante un soporte (figura 34.4.2.2), que se compone de una placa de apoyo de acero dulce, de 235 mm × 184 mm × 6 mm, y de un tubo hueco de sección cuadrada de 70 × 70 × 4 mm y de 185 mm de longitud.

34.4.2.2.3 En uno de los extremos de éste, se cortan hasta cierta altura dos de las caras paralelas, con lo que el resultado es una pieza constituida por un tubo de sección cuadrada de 86 mm de longitud que tiene por base dos patas planas. Se cortan éstas de manera que su arista inferior forme un ángulo de 60º con el plano horizontal, y se sueldan a la placa de apoyo. En uno de los lados del extremo superior del tubo se maquina una muesca de 22 mm de ancho y 46 mm de fondo, en la que se introducirá la toma de presión en el momento de unir el aparato de ensayo -con el tapón de activación hacia abajo- al soporte de sección cuadrada. En la cara inferior interna de éste se suelda, a modo de elemento separador, una cuña de acero, de 30 mm de ancho y 6 mm de espesor. La cara opuesta lleva dos tornillos de orejetas, de 7 mm, que sujetan firmemente el recipiente. Al mismo tiempo, éste va apoyado, por su parte inferior, en dos tiras de acero, de 12 mm de ancho y 6 mm de espesor, soldadas a las patas del tubo de sección cuadrada.

34.4.2.2.4 El dispositivo de ignición se compone de un hilo de Ni/Cr de 25 cm de longitud y de una resistencia de 3,85 ohmios/m. El hilo, enrollado en bobina en torno a una varilla de 5 mm de diámetro, se conecta con los electrodos del tapón de activación. Las características de la bobina de encendido se indican

[2] *En algunos casos, las sustancias pueden generar un aumento de la presión (demasiado alta o demasiado baja), debido a reacciones químicas que no son características de las propiedades comburentes de la sustancia. En tales casos, puede ser necesario repetir la prueba con una sustancia inerte, por ejemplo, diatomita (kieselguhr), en lugar de la celulosa, para averiguar la naturaleza de la reacción.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

en la figura 34.4.2.3. Debe mantenerse una distancia de 20 mm entre el fondo del recipiente y la parte inferior de la bobina. Si los electrodos no pueden ajustarse, los extremos del hilo, entre la bobina y el fondo del recipiente, deben aislarse con una funda de material cerámico. Se calienta el hilo mediante corriente constante de por lo menos 10 A.

34.4.2.2.5 Como material combustible se utiliza celulosa fibrosa desecada[3], con una longitud de fibra de 50 a 250 µm y un diámetro medio de 25 µm. Se seca en una capa de menos de 25 mm de espesor a 105ºC durante cuatro horas y se mantiene en un desecador, con desecante, hasta que se enfríe y hasta el momento de utilizarla. El contenido de agua de la celulosa desecada debe ser inferior a 0,5% en masa seca. Si es necesario, debe prolongarse el tiempo de secado hasta lograrlo.

34.4.2.2.6 Como sustancias de referencia se requiere ácido perclórico al 50%, una solución acuosa de clorato sódico al 40% y ácido nítrico acuoso al 65%.

34.4.2.2.7 Debe especificarse en el informe la concentración de la sustancia que se ha sometido a prueba. Si se trata de soluciones saturadas, éstas deben prepararse a 20ºC.

34.4.2.3 *Procedimiento*

34.4.2.3.1 Una vez montado el aparato, con el transductor de presión y el sistema de calentamiento, pero sin la cápsula de seguridad, y sujetándolo con el tapón de activación hacia abajo, se introduce en él una muestra de 2,5 g del líquido de que se trate que se mezcla con 2,5 g de celulosa seca en un vaso de vidrio, utilizando un agitador de vidrio. ***Por razones de seguridad, la mezcla debe prepararse colocando una pantalla de seguridad entre el observador y la mezcla***. (Si la mezcla se inflama durante la operación o al efectuarse el llenado, no es necesario proseguir la prueba). Se añade la mezcla, en pequeñas fracciones y mediante golpes suaves, al recipiente a presión, cuidando de que la mezcla se retaque alrededor de la bobina de encendido y quede en contacto directo con ella. Es importante que no se deforme la bobina durante la operación de llenado. Se coloca la cápsula de seguridad y se enrosca al máximo el tapón de sujeción. Se monta el recipiente cargado -de manera que la cápsula de seguridad quede arriba- en el soporte de ensayo, que conviene alojar en una campana de humos blindada o en un cubículo a propósito. Se conecta la energía eléctrica a los bornes exteriores del tapón de activación y se aplica una corriente de 10 A. Deben transcurrir diez minutos entre el inicio de la operación de mezcla y la puesta en circuito.

34.4.2.3.2 La señal producida por el transductor de presión se capta mediante instrumentos con los que sea posible analizar la curva tiempo/presión resultante y obtener un registro permanente de ella (por ejemplo, un registrador de señales transitorias acoplado a un registrador de banda de papel). Se calienta la mezcla hasta que se rompe la cápsula de seguridad o hasta que han transcurrido por lo menos 60 s. ***Si la cápsula de seguridad no se rompe, debe dejarse que la mezcla se enfríe antes de desmontar cuidadosamente el aparato, y deben tomarse precauciones en caso de presurización***. Se efectúan cinco ensayos con la mezcla y cada una de las sustancias de referencia. Se anota el tiempo necesario para que la presión suba de 690 a 2.070 kPa por encima de la presión atmosférica. Debe utilizarse el tiempo medio a efectos de clasificación.

34.4.2.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

34.4.2.4.1 Para evaluar los resultados de la prueba se tiene en cuenta:

a) Si la mezcla de sustancia y celulosa se inflama espontáneamente;

b) La comparación del tiempo medio necesario para que la presión suba de 690 a 2.070 kPa con los de las sustancias de referencia.

[3] *Pueden solicitarse datos sobre esta prueba al organismo competente de Suecia (véase el apéndice 4).*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

34.4.2.4.2 Para determinar las propiedades comburentes de la sustancia se emplean los criterios siguientes:

Grupo de embalaje/envasado I:	toda sustancia que, en una proporción de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de la muestra y celulosa con que se la ensaye, se inflame espontáneamente; o el tiempo medio de aumento de la presión en una mezcla de muestra y celulosa, en proporción de 1 a 1 (en masa), es inferior al de una mezcla, en una proporción de 1 a 1 (en masa), de ácido perclórico al 50% y celulosa.
Grupo de embalaje/envasado II:	toda sustancia que, en una proporción de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de la muestra y celulosa con que se la ensaye, registre un tiempo medio de aumento de la presión inferior o igual al de una mezcla, en proporción de 1 a 1 (en masa), de una solución acuosa de clorato sódico al 40% y celulosa, y no responda a los criterios relativos al grupo de embalaje/envasado I.
Grupo de embalaje/envasado III:	toda sustancia que, en una proporción de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de la muestra y celulosa con que se la ensaye, registre un tiempo medio de aumento de la presión inferior o igual al de una mezcla, en proporción de 1 a 1 (en masa), de ácido nítrico acuoso al 65% y celulosa: y no responda a los criterios relativos al grupo de embalaje/envasado I y II.
No se incluye en la división 5.1:	toda sustancia que, en una proporción de 1 a 1 (en masa) en la mezcla de la muestra y celulosa con que se la ensaye, registre un aumento de presión inferior a 2.070 kPa; o registre un tiempo medio de aumento de la presión superior al de una mezcla de ácido nítrico acuoso al 65% y celulosa en una proporción de 1 a 1 (en masa).

En el caso de las sustancias que presenten otros riesgos (por ejemplo, toxicidad o corrosividad), deben cumplirse las disposiciones de la sección 2.0.3 de la Reglamentación Modelo.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

34.4.2.5 *Ejemplos de resultados*

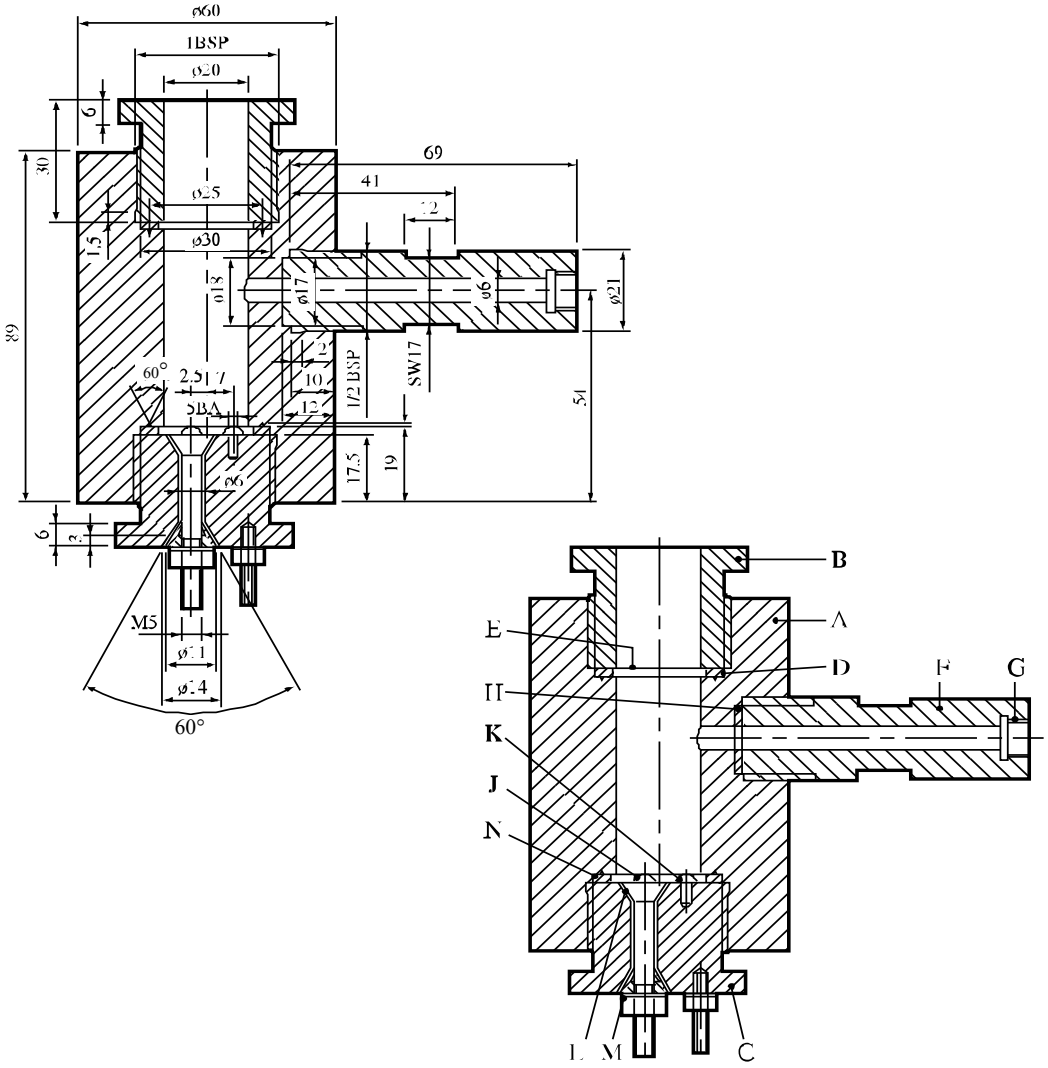
Sustancia	**Tiempo medio de aumento de presión en mezcla de 1 a 1 con celulosa (ms)**	**Resultado**
Ácido nítrico, 65%	4.767[a]	GE III[b]
Ácido perclórico, 50%	121[a]	GE II
Ácido perclórico, 55%	59	GE I
Clorato sódico, 40% en solución acuosa	2.555[a]	GE II
Dicromato amónico, solución acuosa saturada	20.800	No incl. en div. 5.1
Nitrato sódico, 45% en solución acuosa	4.133	GE III
Nitrato cálcico, solución acuosa saturada	6.700	No incl. en div. 5.1
Nitrato de níquel, solución acuosa saturada	6.250	No incl. en div. 5.1
Nitrato de plata, solución acuosa saturada	[c]	No incl. en div. 5.1
Nitrato férrico, solución acuosa saturada	4.133	GE III
Nitrato potásico, 30% en solución acuosa	26.690	No incl. en div. 5.1
Perclorato de litio, solución acuosa saturada	1.686	GE II
Perclorato de magnesio, solución acuosa saturada	777	GE II
Sustancia inerte		
Agua: celulosa	[c]	

[a] *Valor medio obtenido en ensayos comparativos entre varios laboratorios.*

[b] *Se asigna al grupo de embalaje/envasado III según la prueba, pero a la clase 8 según la tabla de preponderancia de riesgos*.

[c] *No se alcanzó la presión máxima de 2.070 kPa*.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Cuerpo del recipiente a presión	(B)	Tapón de sujeción de la cápsula de seguridad
(C)	Tapón de activación	(D)	Arandela de plomo blando
(E)	Cápsula de seguridad	(F)	Toma de presión
(G)	Rosca del transductor de presión	(H)	Arandela
(J)	Electrodo aislado	(K)	Electrodo puesto a tierra
(L)	Aislamiento	(M)	Tobera de acero
(N)	Ranura de recalado de la arandela		

Figura 34.4.2.1: RECIPIENTE A PRESIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

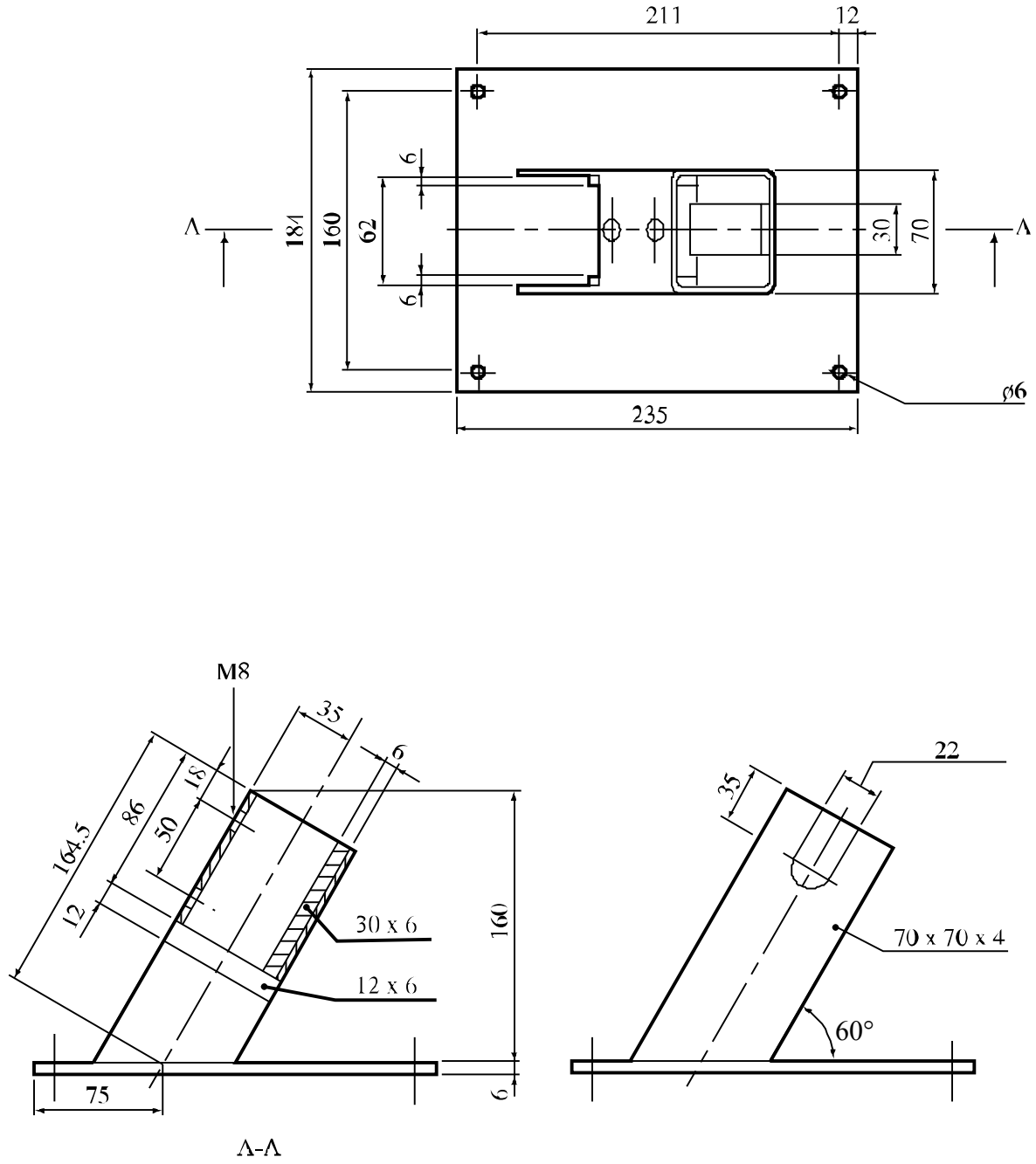
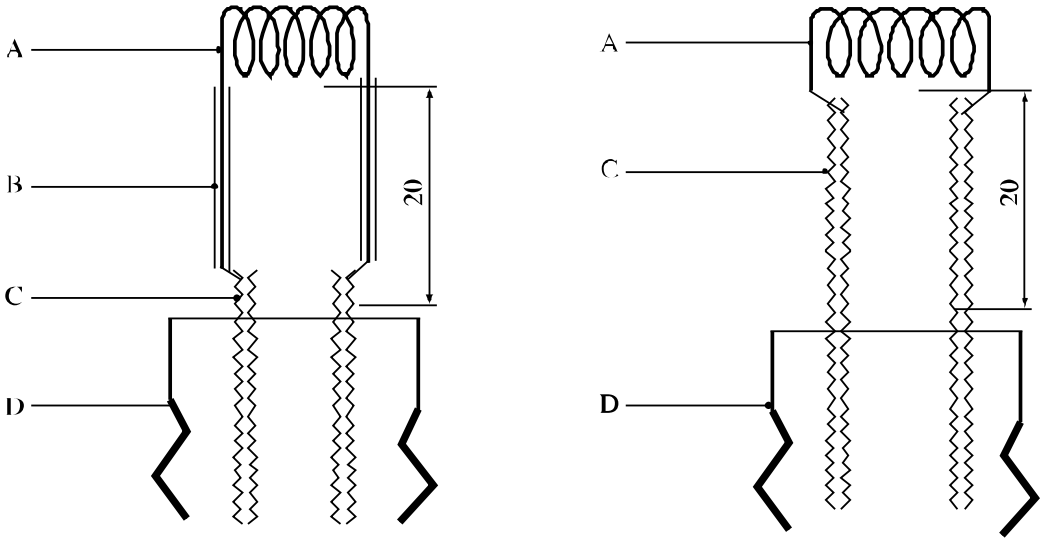


Figura 34.4.2.2: SOPORTE

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



***NOTA*:** *Puede utilizarse cualquiera de estas configuraciones.*

(A)	Bobina de encendido
(B)	Aislamiento
(C)	Electrodos
(D)	Tapón de activación

Figura 34.4.2.3: SISTEMA DE ENCENDIDO

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

[35. Reservada para los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a la clase 6.]

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

[36. Reservada para los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a la clase 7.]

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 37

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LAS SUSTANCIAS DE LA CLASE 8

37.1 Objetivo

37.1.1 Esta sección presenta el sistema de las Naciones Unidas de clasificación de sustancias corrosivas de la clase 8 (véanse las secciones 2.8.1 y 2.8.2 de la Reglamentación Modelo). El método de prueba para la corrosividad se describe en la subsección 37.4 del presente Manual. El método para la determinación de la corrosión dérmica figura en la directriz 404 de la OCDE y los criterios para la clasificación figuran en el capítulo 2.8 de la Reglamentación Modelo. Si se demuestra que una sustancia es corrosiva para la piel, no es necesario, a los efectos de la clasificación, efectuar pruebas para determinar la corrosividad para los metales.

37.2 Ámbito de aplicación

37.2.1 Los nuevos productos presentados para el transporte deben ser sometidos a las pruebas de clasificación mencionadas en el párrafo 2.8.2.5 c) ii) de la Reglamentación Modelo, a menos que sea imposible (por ejemplo, a causa de las propiedades físicas de la sustancia) ejecutar las pruebas. Las sustancias que no puedan ser sometidas a prueba deberían ser clasificadas por analogía en las rúbricas existentes. El procedimiento de clasificación ha de ser aplicado antes de que se presente para el transporte un producto nuevo.

37.3 Procedimiento de clasificación

Los procedimientos de prueba siguientes se han concebido para evaluar el riesgo de corrosividad a efectos de una clasificación apropiada para el transporte.

37.4 Método de prueba para determinar la corrosividad para los metales

37.4.1 *Introducción*

37.4.1.1 *Prueba C.1: Prueba de determinación de las propiedades corrosivas de las sustancias líquidas y de las sustancias sólidas que se pueden licuar en el curso del transporte como mercancías peligrosas de la clase 8, grupo de embalaje III.*

37.4.1.2 *Aparatos y material*

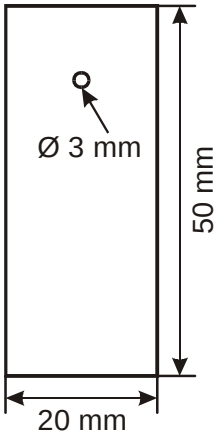
Para la exposición a la sustancia corrosiva por clasificar, hay que producir probetas constituidas por plaquetas de 2 mm de grueso, hechas de los siguientes materiales:

– Aluminio de los tipos no revestidos 7075-T6 o AZ5GU-T6; y

– Acero de los tipos S235JR+CR (1.0037, respectivamente St 37-2),S275J2G3+CR (1.0144, respectivamente St 44-3), ISO 3574, "Unified Numbering System (UNS) G10200" o SAE 1020 (véase la figura 37.4.1).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 37.4.1: PROBETA



Se deben utilizar por lo menos tres juegos de probetas para cada sustancia (aluminio, acero). Se utiliza un reactor cilíndrico (de vidrio o de PTFE) del modelo representado en la figura 37.4.2 con tres cuellos de dimensión apropiada, NS29/32 por ejemplo, así como un cuello NS14 para alojar la muestra (véase la figura 37.4.1), y un cuarto cuello de dimensión suficiente para recibir el refrigerante con reflujo. Debe garantizarse en todo momento la entrada del aire en el recipiente. Las muestras de aluminio y acero se han de someter a prueba en reactores distintos. Para evitar la pérdida de líquido, se provee el reactor de un refrigerante con reflujo (véase la figura 37.4.2).

Figura 37.4.2: Reactor provisto de refrigerante con reflujo

Para la prueba de corrosión, hay que disponer de una cantidad mínima de la sustancia corrosiva por clasificar de 1,5 l para que el agente no se agote antes del fin del tiempo de exposición. Una prueba que dure mucho sin cambiar la solución puede a veces producir resultados negativos. Para obtener resultados ajustados y evitar el tener que volver a empezar las pruebas, hay que tener en cuenta las siguientes observaciones :

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

a) Hay que aportar solución fresca durante toda la prueba;

b) El volumen de la solución debe ser lo suficientemente importante para evitar toda modificación apreciable de su corrosividad durante la prueba;

NOTA: *Si se prevén problemas, debe analizarse la solución de modo de determinar en qué medida ha variado su composición, como puede suceder en caso de evaporación o de agotamiento de la solución.*

37.4.1.3 *Procedimiento*

Las muestras de palastro metálico deben ser pulidas con un abrasivo de grano 120. Después de alejar con alcohol los restos del apomazado en un baño con ultrasonidos y el desengrase con acetona, hay que pesar las muestras con una precisión de ± 0,0002 g. No hay que efectuar ningún tratamiento químico de la superficie (desoxidación, ataque, etc.) para eliminar los defectos de la superficie (inhibición, pasivación). Las probetas deben ser suspendidas en el interior del reactor con hilos de PTFE no extruidos. No hay que utilizar hilo metálico. Los ensayos de los metales así preparados deben practicarse el mismo día para impedir que se vuelva a formar la capa de óxido, salvo que se tomen medidas apropiadas para proteger las muestras con vistas a próximas pruebas. Para cada prueba, hay que sumergir en el líquido una probeta de metal, hundir otra hasta la mitad y colgar una tercera en la fase gaseosa. La distancia entre el borde superior de la probeta sumergida y la superficie del líquido debe ser de 10 mm. Deben evitarse las pérdidas de líquido.

La temperatura de la prueba, a saber, 55ºC ± 1, se ha de mantener durante toda la prueba, comprendida la fase gaseosa.

Las probetas se exponen a estas condiciones estables durante un tiempo mínimo de una semana (168 h ± 1 hora).

Después de acabado el ensayo, las probetas deben ser enjuagadas y limpiadas con un cepillo de cerdas sintéticas o naturales (no metálicas). En el caso de residuos no eliminables por medios mecánicos (productos de corrosión o depósitos adherentes) hay que utilizar soluciones desoxidantes estabilizadas. En esos casos, habría que tratar de la misma manera una muestra testigo (en duración, temperatura, concentración y preparación de la superficie) para poder determinar la pérdida de peso causada por la desoxidación. Este valor habría que deducirlo antes de la evaluación del efecto de corrosión. Después de una limpieza final con alcohol y acetona en un baño de ultrasonidos, seguido de un secado, hay que pesar las muestras metálicas. El peso entonces obtenido, después de tomar en cuenta el peso específico del metal, da la tasa de corrosión.

37.4.1.4 *Criterios de prueba y métodos de evaluación de los resultados*

Se distinguen dos tipos de efectos de la corrosión.

37.4.1.4.1 Evaluación de la corrosión uniforme

En el caso de la corrosión uniforme, se determina la pérdida de peso de la muestra más fuertemente atacada. Se considera que el resultado de la prueba es positivo y que la sustancia no es corrosiva si la pérdida de peso con una probeta de metal es superior al valor indicado en el cuadro que figura a continuación.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro 37.4.1.4.1: Pérdida de peso mínima de las muestras tras diferentes tiempos de exposición

Tiempo de exposición	Pérdida de peso
7 días	13,5 %
14 días	26,5 %
21 días	39,2 %
28 días	51,5 %

NOTA: *Estos valores se han calculado sobre la base de una tasa de corrosión de 6,25 mm de corrosión al año.*

37.4.1.4.2 Prueba de evaluación con corrosión localizada

Cuando una corrosión localizada, que se produce además o en lugar de una corrosión uniforme, ataca la superficie, la profundidad del hueco más profundo, respectivamente la mayor disminución de grueso , se añadirá o se utilizará ella sola para calcular la intrusión. Si la intrusión más profunda (que hay que determinar metalográficamente) es superior a los valores indicados en el cuadro que figura a continuación, la prueba se considera como positiva.

Cuadro 37.4.1.4.2: Profundidad mínima de la intrusión tras diferentes tiempos de exposición

Tiempo de exposición	Profundidad mínima de la intrusión
7 días	120 µm
14 días	240 µm
21 días	360 µm
28 días	480 µm

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

SECCIÓN 38

PROCEDIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN, MÉTODOS DE PRUEBA Y CRITERIOS RELATIVOS A LA CLASE 9

38.1 Introducción

Esta sección contiene los procedimientos de clasificación, métodos de prueba y criterios relativos a las sustancias y objetos de la clase 9.

38.2 Abonos a base de nitrato amónico que pueden experimentar una descomposición autosostenida

38.2.1 *Objetivo*

38.2.1.1 En esta sección se presenta el sistema de las Naciones Unidas para la clasificación de los abonos a base de nitrato amónico de la clase 9 (véase N° ONU 2071 y la disposición especial 193 de la Reglamentación Modelo). El procedimiento de prueba tiene por finalidad determinar si un abono a base de nitrato amónico puede experimentar una descomposición autosostenida.

38.2.2 *Ámbito de aplicación*

38.2.2.1 Los nuevos productos que se presenten para el transporte deben someterse al procedimiento de clasificación si su composición corresponde a la definición del N° ONU 2071. Dicho procedimiento debe llevarse a cabo antes de que el nuevo producto se presente para el transporte.

38.2.3 *Procedimiento de clasificación*

38.2.3.1 Debe efectuarse una prueba para determinar si una descomposición iniciada en una zona localizada se extenderá a toda la masa. En la subsección 38.2.4 se describe el método de prueba recomendado. En función de los resultados de la prueba se decide si la sustancia es o no un abono a base de nitrato amónico de la clase 9.

38.2.3.2 Todos los abonos a base de nitrato amónico de la clase 9 corresponden al grupo de embalaje/envasado III.

38.2.3.3 Puede considerarse que los abonos a base de nitrato amónico cuya composición corresponde a la del N° ONU 2071 no están sometidos a la Reglamentación Modelo si queda demostrado que no están expuestos a una descomposición autosostenida, a condición de que no contengan un exceso de nitrato superior al 10% en masa (calculado en nitrato potásico).

38.2.4 *Prueba S.1: Prueba de la cubeta para determinar la descomposición autosostenida de los abonos a base de nitratos*

38.2.4.1 *Introducción*

Se define como susceptible de descomposición autosostenida el abono en el que la descomposición iniciada en una zona localizada se extiende a la totalidad de la masa. La tendencia de un abono, que se presenta para el transporte, a experimentar este tipo de descomposición puede determinarse mediante la prueba de la cubeta. Esta prueba consiste en provocar la descomposición localizada en un lecho de abono extendido en el interior de una cubeta montada en posición horizontal, y en medir el grado de propagación a toda la masa a partir del momento en que se interrumpa la aplicación de calor.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

38.2.4.2 *Aparatos y materiales*

38.2.4.2.1 Consiste el aparato (figura 38.2.4.1) en una cubeta abierta por la parte superior, que mide interiormente 150 × 150 × 500 mm. Se construye con tela metálica (preferiblemente de acero inoxidable) de malla cuadrada de aproximadamente 1,5 mm de lado, cuyo hilo tiene un grosor de 1 mm; se apoya en un armazón hecho de varillas de acero de 15 mm de ancho y 2 mm de espesor. En cada extremo de la cubeta, la tela metálica puede sustituirse por placas de acero inoxidable de 150 × 150 mm y 1,5 mm de espesor. La cubeta debe colocarse sobre un soporte apropiado. Cuando se trate de abonos cuyas partículas traspasen la tela metálica en cantidad considerable, debe efectuarse la prueba en una cubeta de malla más pequeña o en una cubeta revestida interiormente con tela metálica de malla más pequeña. Al inicio del ensayo, debe aplicarse calor suficiente durante cierto tiempo, de modo que el abono comience a descomponerse en un frente uniforme.

38.2.4.2.2 Para el calentamiento se recomienda uno de los métodos siguientes:

Calentamiento eléctrico. En el interior de la cubeta, en uno de los extremos (figura 38.2.4.2), se coloca un dispositivo eléctrico de calentamiento (de 250 vatios de potencia), alojado en una caja de acero inoxidable de 145 × 145 × 10 mm, con paredes de 3 mm de espesor. La cara de la caja que no esté en contacto con el abono se protege con una pantalla térmica (placa aislante de 5 mm de espesor). La superficie de calentamiento de la caja puede protegerse con papel de aluminio o con una placa de acero inoxidable.

Quemadores de gas. En el interior de la cubeta, en uno de los extremos, se coloca una placa de acero (de 1 a 3 mm de espesor) de modo que esté en contacto con la tela metálica (figura 38.2.4.1). Se calienta esa placa con dos quemadores, que se fijan al soporte de la cubeta y que tienen capacidad suficiente para mantener la placa a temperaturas de 400 a 600ºC, es decir, del rojo sombra.

38.2.4.2.3 Para evitar que el calor se propague por la parte exterior de la cubeta, a unos 5 cm del extremo de ésta en que se produce el calentamiento se instala una placa de acero (de 2 mm de espesor) a modo de pantalla térmica.

38.2.4.2.4 El aparato durará más si se construye de acero inoxidable en su totalidad, sobre todo por lo que se refiere a la tela metálica.

38.2.4.2.5 Puede medirse la propagación mediante termopares colocados en la sustancia, registrando el momento en que se produce un aumento repentino de la temperatura cuando el frente de reacción llega al termopar.

38.2.4.3 *Procedimiento*

38.2.4.3.1 El aparato debe instalarse bajo una campana de humos, para dar salida a los gases tóxicos procedentes de la descomposición, o en una zona abierta, en la que los humos puedan dispersarse rápidamente. Aunque no exista riesgo de explosión, es aconsejable que en el transcurso de la prueba haya entre el observador y el aparato una pantalla protectora, por ejemplo de un plástico transparente de características apropiadas.

38.2.4.3.2 Se llena la cubeta con el abono -este último, en la forma en que se pretenda transportarlo-, y se inicia la descomposición en uno de los extremos, eléctricamente o por medio de los quemadores de gas, tal como se ha explicado más arriba. Debe mantenerse el calentamiento ininterrumpidamente hasta el momento en que, habiéndose iniciado claramente la descomposición del abono, se observe la propagación del frente (en una distancia aproximada de 3 a 5 cm). Con productos de gran estabilidad térmica puede ser necesario mantener el calentamiento por espacio de dos horas. Si se trata de abonos que muestren tendencia a fundirse, hay que efectuar el calentamiento con cuidado, es decir, con llama reducida.

38.2.4.3.3 Unos 20 minutos después de que se haya interrumpido la aplicación de calor, se anota la posición del frente de descomposición. Este es perceptible por las diferencias de color -por ejemplo:

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

de pardo (abono no descompuesto) a blanco (abono descompuesto)- o por la temperatura que indican los pares contiguos de termopares, que rodean el frente de reacción. La velocidad de propagación puede determinarse mediante la observación y cronometraje o el análisis de datos registrados por los termopares. Debe indicarse si la propagación se detiene cuando se interrumpe el calentamiento o si se transmite a toda la sustancia.

38.2.4.4 *Criterios de prueba y método de evaluación de los resultados*

38.2.4.4.1 Si la descomposición se propaga a toda la sustancia, se considera que el abono es susceptible de descomposición autosostenida.

38.2.4.4.2 Si la descomposición no se propaga a toda la sustancia, se considera que el abono no presenta riesgo de descomposición autosostenida.

38.2.4.5 *Ejemplos de resultados*

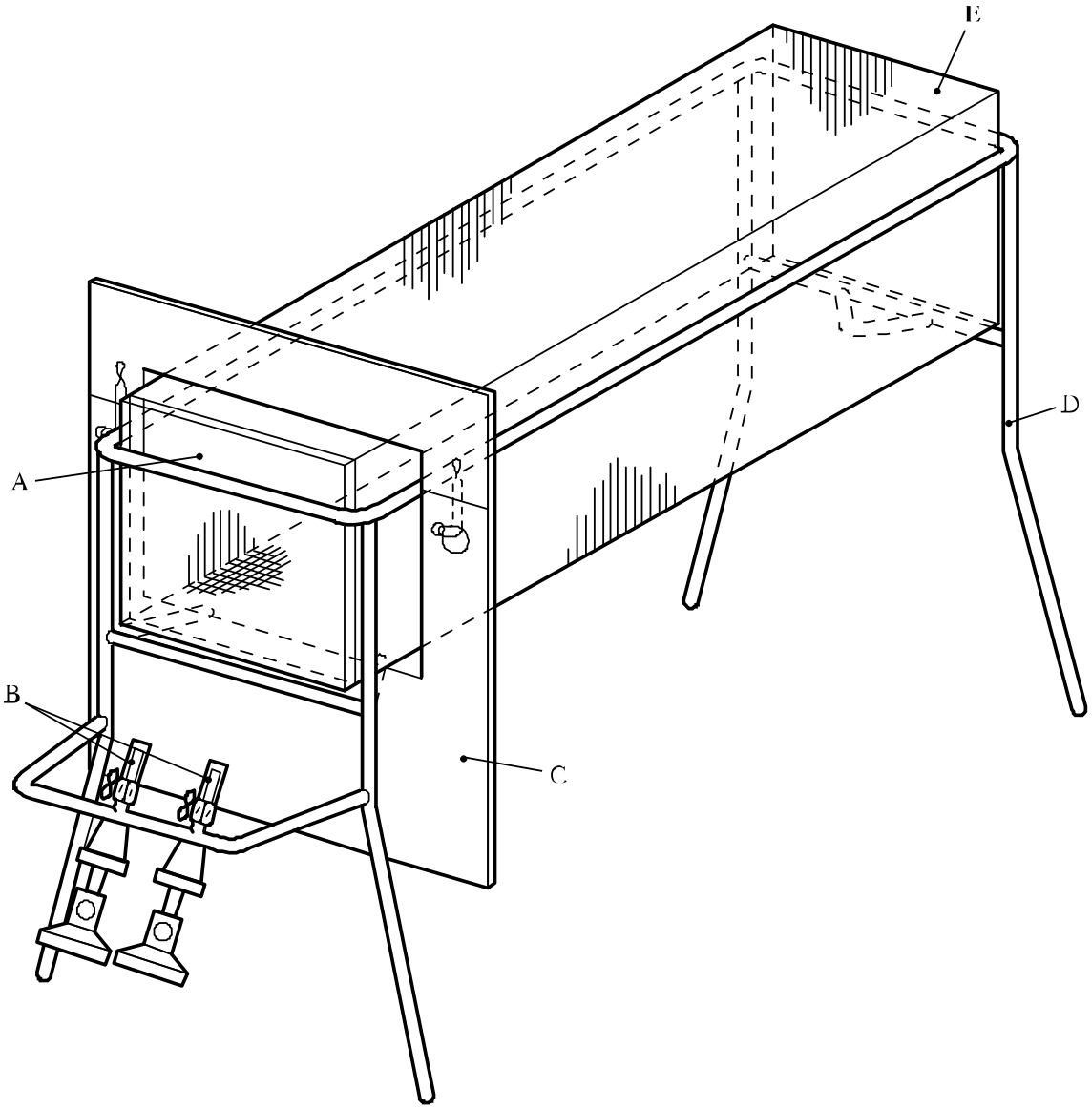
***NOTA**: Las proporciones de los elementos N, P y K en un abono no deben utilizarse como criterios para decidir si es susceptible de descomposición autosostenida, ya que esto depende de las especies químicas presentes.*

Sustancia	**Distancia de propagación (cm)**	**Resultado**
Abono compuesto NPK 17-11-22[a]	50	Positivo
Abono compuesto NPK 15-11-8[a]	10	Negativo
Abono compuesto NPK 14-14-14[a]	10	Negativo
Abono compuesto NPK 21-14-14[a]	10	Negativo
Abono compuesto NPK 12-12-18[b]	50	Positivo

[a] *Contiene cloruro.*

[b] *Contiene huellas de cobalto y cobre, pero menos del 1% de cloruro.*

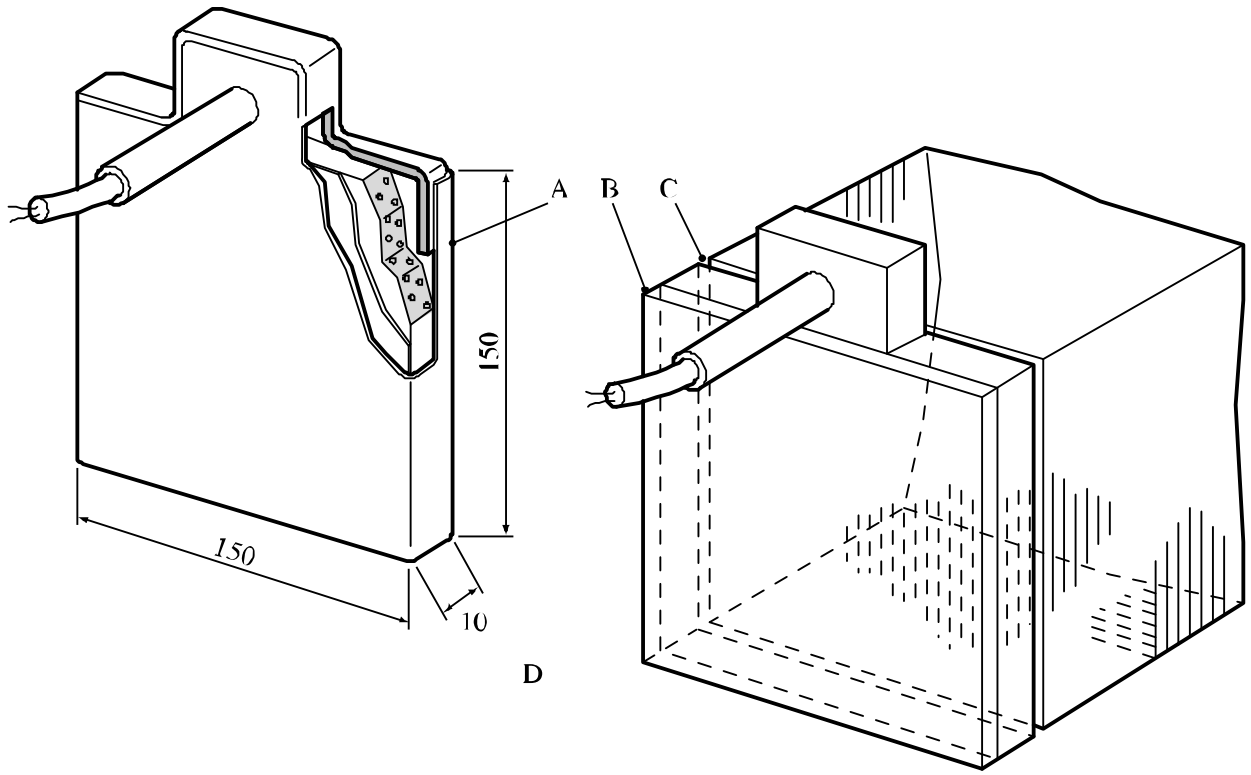
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Placa de acero (150 × 150 mm y de 1 a 3 mm de espesor)
(B)	Quemadores de gas (por ejemplo, Teclu o Bunsen)
(C)	Pantalla térmica (2 mm de espesor)
(D)	Soporte (por ejemplo, hecho con varilla de acero de 15 × 2 mm)
(E)	Cubeta de tela metálica (150 × 150 × 500 mm)

Figura 38.2.4.1: CUBETA DE TELA METÁLICA, CON SOPORTE Y QUEMADORES

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Placa de aluminio o acero inoxidable (pared de 3 mm de espesor)
(B)	Placa aislante (pared de 5 mm de espesor)
(C)	Placa de aluminio o acero inoxidable (pared de 3 mm de espesor)
(D)	Posición del dispositivo de calentamiento en la cubeta

Figura 38.2.4.2: DISPOSITIVO ELÉCTRICO DE CALENTAMIENTO (POTENCIA: 250 VATIOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

38.3 Baterías de metal litio y baterías de ión litio

38.3.1 *Objetivo*

En esta sección se presentan los procedimientos que han de seguirse para la clasificación de las pilas y baterías de metal litio y de ión litio (véanse los números ONU 3090, 3091, 3480 y 3481) y las disposiciones especiales aplicables del capítulo 3.3 de la Reglamentación Modelo).

38.3.2 *Ámbito de aplicación*

38.3.2.1 Antes del transporte de un tipo determinado de pila o batería de metal litio o de ión litio, éstas deberán someterse a las pruebas que imponen las disposiciones especiales 188 y 230 del capítulo 3.3 de la Reglamentación Modelo. Toda pila o batería que difiera de un tipo probado:

a) En el caso de las pilas y baterías primarias, por una variación de más de 0,1 g ó del 20% de la masa del cátodo del ánodo o del electrolito, tomándose el valor más alto;

b) en el caso de las pilas y baterías recargables, por una variación en vatios-hora de más del 20% o un aumento de la tensión de más del 20%; o

c) por una variación que pudiera incidir de forma significativa en los resultados de la prueba.

deberá considerarse como de un nuevo tipo y se someterá a las pruebas necesarias.

En el caso de que un tipo de pila o batería no satisfaga uno o más de los requisitos de prueba se tomarán medidas para corregir la deficiencia o deficiencias que causaron el fallo antes de someter esa pila o batería a una nueva prueba.

38.3.2.2 A los efectos de clasificación, se entiende por:

Batería, una o más pilas conectadas entre sí eléctricamente mediante un dispositivo permanente, incluidos la caja, los bornes y las marcas.

Nota: *Las unidades que se denominan normalmente "paquetes de baterías", "módulos" o "conjuntos de baterías" y cuya función principal es la de constituir una fuente de corriente para otro equipo, están sometidas, a los efectos de la Reglamentación Modelo y del presente Manual, a las mismas prescripciones que las baterías*.

Batería grande, una batería de litio metal o de ión-litio con una masa bruta superior a 12 kg.

Batería pequeña, una batería de litio metal o de ión-litio con una masa bruta inferior o igual a 12 kg.

Capacidad nominal, la capacidad en amperios-horas de una pila o batería, medida en las condiciones de carga, temperatura y tensión de corte especificadas por el fabricante.

Capacidad nominal en vatios hora, es la obtenida al multiplicar la capacidad nominal en amperios hora de una pila o batería, por su voltaje nominal.

Ciclo, una secuencia de cargas y descargas completas de una pila o batería recargable.

Completamente cargada, el estado de una pila o batería que se ha cargado eléctricamente hasta su capacidad nominal.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Completamente descargada,

el estado de una pila o batería primaria que se ha descargado eléctricamente hasta la pérdida del 100% de su capacidad nominal; o

el estado de una pila o batería recargable que se ha descargado eléctricamente hasta la tensión final que especifica el fabricante.

Contenido de litio, concepto que se aplica a las pilas y baterías de metal litio y aleación de litio; en el caso de una pila de metal litio o de aleación de litio significa la masa de litio contenida en el ánodo, que en el caso de una pila primaria se mide cuando la pila está en un estado no descargado y en una pila recargable se mide cuando la pila está completamente cargada. El contenido de litio de una batería es igual a la suma, en gramos, de la cantidad de litio que contienen las pilas que constituyen la batería.

Contenido total de litio, la suma de los gramos de litio contenidos en las pilas que constituyen una batería.

Cortocircuito, la conexión directa de los bornes positivo y negativo de una pila o batería por un camino conductor de resistencia prácticamente nula.

Dispositivos de protección, son dispositivos como los fusibles, los diodos y los limitadores de corriente que interrumpen la corriente, la detienen en un sentido o la limitan en un circuito eléctrico.

Efluente, un líquido o gas que escapa cuando una pila o batería se descarga o tiene una fuga.

Estallido, una abertura o rotura por la que una materia sólida de cualquier parte de una pila o batería atraviesa una pantalla de tela metálica (hecha de hilo de aluminio recocido de 0,25 mm de diámetro y de una malla de 6 a 7 hilos por cm) situada a 25 cm de distancia de la pila o batería.

Evacuación de gas, una descarga de la sobrepresión interna de una pila o batería tal y como se ha previsto en el diseño para evitar la ruptura o el estallido.

Fuga, el derrame o escape de material de una pila o batería.

No descargada, el estado de una pila o batería primaria que no se ha descargado completa o parcialmente.

Pérdida de masa, una pérdida de masa que supera los valores del cuadro 38.3.2.2 siguiente. La pérdida de masa se calcula a partir de la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdida de masa (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

donde M_1 es la masa de la prueba y M_2 es la masa después de la prueba. Cuando la pérdida no supera los valores del cuadro 38.3.2.2 se considerará "sin pérdida de masa".

Cuadro 38.3.2.2: Límite de pérdida de masa

Masa M de la pila o batería	Límite de pérdida de masa
$M < 1$ g	0,5%
1 g $< M <$ 5 g	0,2%
$M \geq 5$ g	0,1%

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Pila, una unidad electroquímica contenida en una caja (con un electrodo positivo y otro negativo) que presenta una diferencia de tensión entre sus dos terminales. De conformidad con la Reglamentación Modelo y el presente Manual, y en la medida en que la unidad electroquímica contenida en la caja cumpla la definición de "pila" que figura en ellos, se considera una "pila" y no una "batería", con independencia de que la unidad se denomine "batería" o "batería de una sola pila" fuera de la Reglamentación Modelo o el presente Manual.

Pila o batería de tipo botón, una pequeña pila o batería redonda cuya altura total es inferior a su diámetro.

Pila o batería de ión-litio, una pila o batería electroquímica recargable en la que los electrodos positivos y negativos están formados por compuestos de intercalación (el litio intercalado está presente en una forma iónica o casi atómica en el retículo del material del electrodo) y está construida sin litio metálico en ninguno de los electrodos. Una pila o batería de polímero de litio que utiliza las propiedades químicas del ión-litio, según se describe en el presente Manual, está reglamentada como una pila o batería de ión-litio.

Pila o batería prismática, una pila o batería cuyos extremos están constituidos por superficies idénticas, paralelas y planas y cuyos lados son paralelogramos.

Pila componente, una pila contenida en una batería.

Pila grande, una pila de metal litio en la que el contenido en litio del ánodo, cuando está completamente cargado, es superior a 12 g o, en el caso de una pila de ión litio, una pila con una capacidad nominal en vatios hora superior a 150 Wh.

Pila pequeña, una pila de metal litio en la que el contenido de litio del ánodo, cuando está totalmente cargado, es inferior o igual a 12 g o, en el caso de una pila de ión litio, una pila con una capacidad nominal en vatios hora no superior a 150 Wh.

Primaria, una pila o batería que no está diseñada para ser cargada o recargada eléctricamente.

Primer ciclo, el ciclo inicial que sigue a la finalización de todos los procesos de fabricación.

Recargable, una pila o batería diseñada para ser recargada eléctricamente.

Rotura, un fallo mecánico de la caja que contiene la pila o del envase de la batería, inducido por una causa interna o externa que provoca la exposición o el derrame pero no la expulsión de materiales sólidos.

Tipo, un modelo de pila o batería con determinadas características electroquímicas y físicas.

38.3.3 Cuando se ha de someter a prueba un tipo de pila o de batería con arreglo a la presente subsección, el número y estado de pilas y baterías de cada tipo que deben someterse a prueba son los siguientes:

a) Cuando se someten a prueba pilas y baterías primarias en la cantidad indicada con arreglo a las pruebas 1 a 5:

i) diez pilas en estado descargado;

ii) diez pilas en estado completamente descargado;

iii) cuatro baterías pequeñas en estado no descargado;

iv) cuatro baterías pequeñas en estado completamente descargado;

v) cuatro baterías grandes en estado no descargado; y

vi) cuatro baterías grandes en estado completamente descargado.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

b) Cuando se someten a prueba pilas y baterías recargables, en la cantidad indicada, con arreglo a las pruebas 1 a 5:

i) diez pilas, en el primer ciclo, en estado completamente cargado;

ii) cuatro baterías pequeñas, en el primer ciclo, en estado completamente cargado;

iii) cuatro baterías pequeñas después de 50 pequeños ciclos finalizando en estado completamente cargado;

iv) dos baterías grandes, en el primer ciclo, en estado completamente cargado; y

vi) dos baterías grandes después de 25 ciclos finalizando en estado completamente cargado.

c) Cuando se someten a prueba pilas primarias y recargables, en la cantidad indicada, con arreglo a la prueba 6:

i) cuando se trate de pilas primarias, cinco pilas en estado no descargado y cinco pilas en estado completamente descargado;

ii) cuando se trate de pilas componentes de baterías primarias, cinco pilas en estado no descargado y cinco pilas en estado completamente descargado;

iii) cuando se trate de pilas recargables, cinco pilas en el primer ciclo al 50% de la capacidad nominal proyectada; y

iv) cuando se trate de pilas componentes de baterías recargables, cinco pilas en el primer ciclo al 50% de su capacidad nominal.

Cuando se trate de células prismáticas se necesitan diez pilas, en lugar de las cinco indicadas anteriormente, de modo que el procedimiento pueda llevarse a cabo con cinco pilas a lo largo de los ejes longitudinales y, separadamente, con cinco pilas a lo largo de los demás ejes. En cada caso, cada pila de muestra se someterá a un solo impacto.

d) Cuando se someten a prueba baterías recargables, en la cantidad indicada, con arreglo a la prueba 7:

i) cuatro baterías pequeñas, en el primer ciclo, en estado completamente cargado;

ii) cuatro baterías pequeñas después de 50 ciclos finalizando en estado completamente cargado;

iii) dos baterías grandes, en el primer ciclo, en estado completamente cargado; y

iv) dos baterías grandes después de 25 ciclos finalizando en estado completamente cargado.

No tienen que ser sometidas a esta prueba las baterías no provistas de protección contra la sobrecarga que estén diseñadas para ser utilizadas solamente en un conjunto de baterías que tenga esa protección.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

e) Cuando se someten a prueba pilas primarias y recargables, en la cantidad indicada, con arreglo a la prueba 8:

i) diez pilas primarias en estado completamente descargado;

ii) diez pilas recargables, en el primer ciclo, en estado completamente descargado; y

iii) diez pilas recargables después de 50 ciclos finalizando en estado completamente descargado.

f) Cuando se pruebe un conjunto de baterías en el que el contenido total de litio de todos los ánodos, en estado completamente cargado, no sea superior a 500 g, o, en el caso de una batería de ión-litio, con una capacidad nominal en vatios hora no superior a 6.200 vatios-hora, que esté compuesto de pilas o baterías que hayan pasado todas las pruebas aplicables, un solo conjunto de baterías en estado completamente cargado será sometido a las pruebas 3, 4 y 5, así como a la prueba 7 en el caso de un conjunto de baterías recargables. En cuanto a los conjuntos de baterías recargables, deben haber sido sometidos al menos a 25 ciclos.

Cuando las baterías que hayan pasado todas las pruebas aplicables estén conectadas eléctricamente para formar un conjunto de baterías en el que el contenido total de litio de todos los ánodos, en estado completamente cargado, sea superior a 500 g, o, en el caso de una batería de ión-litio, con una capacidad nominal en vatios hora superior a 6.200 vatios-hora, el conjunto de baterías no necesita ser sometido a prueba si está provisto de un sistema capaz de controlar el conjunto de baterías y de prevenir los cortocircuitos, o la descarga excesiva entre las baterías del conjunto y cualquier sobrecalentamiento o sobrecarga del conjunto de baterías.

38.3.4 ***Procedimiento***

Cada tipo de pila y batería deberá someterse a las pruebas 1 a 8. Las pruebas 1 a 5 deberán realizarse secuencialmente en la misma pila o batería. Las pruebas 6 y 8 deberán realizarse con pilas o baterías que no se hayan sometido a ninguna otra prueba. La prueba 7 puede realizarse utilizando baterías no dañadas, utilizadas anteriormente en las pruebas 1 a 5 con el fin de probarlas en baterías sometidas a ciclos.

38.3.4.1 *Prueba T.1: Simulación de altitud*

38.3.4.1.1 Objetivo

Esta prueba simula el transporte aéreo en condiciones de baja presión.

38.3.4.1.2 Procedimiento de prueba

Las pilas y baterías que vayan a someterse a la prueba se mantienen a una presión igual o inferior a 11,6 kPa durante al menos seis horas a temperatura ambiente (20 ± 5ºC).

38.3.4.1.3 Requisito

Las pilas y baterías cumplen este requisito si no hay pérdida de masa, fuga, evacuación de gas, estallido, rotura o incendio y si la tensión en circuito abierto, de cada pila o batería sometida a prueba y una vez finalizada la misma no es inferior al 90% de la tensión medida inmediatamente antes de realizar la prueba. El requisito relativo a la tensión no es aplicable a pilas y baterías sometidas a prueba en estado completamente descargado.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

38.3.4.2 *Prueba T.2: Prueba térmica*

38.3.4.2.1 Objetivo

Esta prueba evalúa la integridad del sellado y de las conexiones eléctricas internas de pilas y baterías. La prueba se realiza aplicando cambios de temperatura rápidos y extremos.

38.3.4.2.2 Procedimiento de prueba

Las pilas y baterías que deben someterse a la prueba se mantienen durante la menos seis horas a una temperatura de prueba igual a 75 ± 2ºC, y a continuación durante al menos seis horas a una temperatura de prueba igual a -40 ± 2ºC. El intervalo temporal máximo entre los extremos de temperatura en la prueba es de 30 minutos. Este procedimiento se repite diez veces, después de lo cual todas las pilas y baterías deben mantenerse durante 24 horas a la temperatura ambiente (20 ± 5ºC). Si se trata de pilas y baterías grandes, la duración de la exposición a cada temperatura deberá ser, como mínimo, de 12 horas.

38.3.4.2.3 Requisito

Las pilas y baterías cumplen este requisito si no se produce pérdida de masa, fuga, evacuación de gas, estallido, rotura o incendio y si la tensión en circuito abierto de cada pila o batería sometida a prueba y una vez finalizada la misma no es inferior al 90% de la tensión medida inmediatamente antes de realizar la prueba. El requisito relativo a la tensión no es aplicable a pilas y baterías sometidas a prueba en estado completamente descargado.

38.3.4.3 *Prueba T.3: Vibración*

38.3.4.3.1 Objetivo

Esta prueba simula la vibración durante el transporte.

38.3.4.3.2 Procedimiento de prueba

Las pilas y baterías se sujetan firmemente a la plataforma del vibrador de manera que no sufran distorsión alguna y de modo que la vibración se transmita fielmente. Se les aplica una onda sinusoidal con un barrido logarítmico de frecuencias entre 7 Hz y 200 Hz, para volver a 7 Hz con un tiempo de recorrido de 15 minutos. Este ciclo se repetirá 12 veces durante un total de 3 horas para cada una de las tres posiciones de montaje de la pila perpendiculares entre sí. Uno de los ejes de vibración será perpendicular a la superficie que lleva los bornes.

El barrido logarítimo de frecuencias es el siguiente: a partir de 7 Hz se mantiene una aceleración máxima de 1 g_n hasta alcanzar los 18 Hz. La amplitud se mantiene entonces en 0,8 mm (recorrido total: 1,6 mm) y se aumenta la frecuencia hasta tener una aceleración máxima de 8 g_n (aproximadamente a los 50 Hz). Se mantiene entonces una aceleración máxima de 8 g_n hasta que la frecuencia haya aumentado a 200 Hz.

38.3.4.3.3 Requisito

Las pilas y baterías cumplen este requisito si no se produce pérdida de masa, fuga, evacuación de gas, estallido, rotura o incendio y si la tensión en circuito abierto de cada pila o batería sometida a prueba y una vez finalizada la misma no es inferior al 90% de la tensión medida inmediatamente antes de realizar la prueba. El requisito relativo a la tensión no es aplicable a pilas y baterías sometidas a prueba en estado completamente descargado.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

38.3.4.4 *Prueba T.4: Choque*

38.3.4.4.1 Objetivo

Esta prueba simula posibles impactos que pueden producirse durante el transporte.

38.3.3.3.2 Procedimiento de prueba

Las pilas y baterías sometidas a prueba se fijarán al aparato para la prueba de choque mediante un soporte rígido que sirva de apoyo para todas las superficies de montaje de cada batería. Cada pila o batería se someterá a un choque semi-sinusoidal con una aceleración máxima de 150 g_n y una duración de los pulsos de 6 ms. Se someterá cada pila o batería a 3 choques en el sentido positivo seguidos de 3 choques en el sentido negativo de cada una de las 3 posiciones de montaje de la pila o batería perpendiculares entre sí, hasta un total de 18 choques.

Las pilas y baterías grandes se someterán a un choque semi-sinusoidal con una aceleración máxima de 50 g_n y duración de los pulsos de 11 ms. Cada pila o batería se someterá a 3 choques en el sentido positivo seguidos por 3 choques en el sentido negativo de cada una de las 3 posiciones de montaje de la pila o batería perpendiculares entre sí, hasta un total de 18 choques.

38.3.4.4.3 Requisito

Las pilas y baterías cumplen este requisito si no se produce pérdida de masa, fuga, evacuación de gas, estallido, rotura o incendio y si la tensión de circuito abierto de cada pila o batería sometida a prueba y una vez finalizada la misma no es inferior al 90% de la tensión medida inmediatamente antes de realizar la prueba. El requisito relativo a la tensión no es aplicable a pilas y baterías sometidas a prueba en estado completamente descargado.

38.3.4.5 *Prueba T.5: Cortocircuito externo*

38.3.4.5.1 Objetivo

Esta prueba simula un cortocircuito externo.

38.3.4.5.2 Procedimiento de prueba

La batería que ha de someterse a prueba se estabilizará térmicamente de modo que la temperatura de su caja exterior alcance 55 ± 2ºC; a continuación, la pila o batería se someterá a un cortocircuito con una resistencia externa total inferior a 0,1 ohm a una temperatura de 55 ± 2ºC. Se mantendrá el cortocircuito durante por lo menos 1 hora a partir del momento en que la temperatura de la caja exterior de la pila o batería haya alcanzado de nuevo los 55 ± 2ºC. La pila o batería se mantendrá en observación seis horas antes de dar por terminada la prueba.

38.3.4.5.3 Requisito

Las pilas y baterías cumplen este requisito si su temperatura externa no supera los 170ºC y no se produce estallido, rotura o incendio durante las seis horas de observación.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

38.3.4.6 *Prueba T.6: Impacto*

38.3.4.6.1 Objetivo

Esta prueba simula un impacto.

38.3.4.6.2 Procedimiento de prueba

La pila de muestra o la pila componente que se somete a prueba se sitúa sobre una superficie plana. Se coloca una barra de 15,8 mm de diámetro en el centro de la muestra. Se deja caer sobre la muestra una masa de 9,1 kg desde una altura de 61 ± 2,5 cm.

El impacto sobre una pila cilíndrica o prismática se lleva a cabo con su eje longitudinal paralelo a la superficie plana y perpendicular al eje longitudinal de la superficie curvada de 15,8 mm de diámetro situada en el centro de la muestra. Del mismo modo, una pila prismática debe girarse 90º alrededor de su eje longitudinal para poder someter al impacto el lado ancho y el lado estrecho. Cada muestra se someterá a un único impacto. Se utilizarán muestras diferentes para cada impacto.

El impacto sobre una pila de tipo botón se realizará con la superficie plana de la muestra, paralela a la superficie plana y con la superficie curvada de 15,8 mm de diámetro situada en el centro de la muestra.

38.3.4.6.3 Requisito

Las pilas y pilas componentes satisfacen este requisito si su temperatura exterior no supera los 170ºC y no se produce estallido ni incendio durante las seis horas de observación.

38.3.4.7 *Prueba T.7: Sobrecarga*

38.3.4.7.1 Objetivo

Esta prueba evalúa la capacidad de una batería recargable de resistir un estado de sobrecarga.

38.3.4.7.2 Procedimiento de prueba

La corriente de carga será el doble de la corriente máxima de carga continua recomendada por el fabricante. La tensión mínima de la prueba será la siguiente:

a) Si la tensión de carga recomendada por el fabricante no es superior a 18 V, la tensión mínima de prueba será el valor menor de dos veces la tensión máxima de carga de la batería o 22 V;

b) Si la tensión de carga recomendada por el fabricante es superior a 18 V, la tensión mínima de prueba será 1,2 veces la tensión máxima de carga.

Las pruebas se realizarán a temperatura ambiente y la duración de la prueba será de 24 horas.

38.3.4.7.3 Requisito

Las baterías recargables cumplen este requisito si no se produce estallido ni incendio durante los siete días siguientes a la prueba.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

38.3.4.8 *Prueba T.8: Descarga forzada*

38.3.4.8.1 Objetivo

Esta prueba evalúa la capacidad de una pila primaria o recargable de resistir un estado de descarga forzada.

38.3.4.8.2 Procedimiento de prueba

Cada pila se someterá a una descarga forzada a temperatura ambiente conectándola en serie con una fuente de alimentación de 12 V cc. con una corriente inicial igual a la corriente de descarga máxima especificada por el fabricante.

La corriente de descarga especificada se obtiene conectando una carga resistiva de magnitud y capacidad adecuadas en serie con la pila de prueba. Cada pila se someterá a una descarga forzada durante un intervalo de tiempo (en horas) igual a su capacidad nominal dividida por la corriente de prueba inicial (en amperios).

38.3.4.8.3 Requisito

Las pilas primarias o recargables cumplen este requisito si no se produce estallido ni incendio durante los siete días siguientes a la prueba.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

PARTE IV

MÉTODOS DE PRUEBA RELATIVOS AL EQUIPO DE TRANSPORTE

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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:

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Siendo:

Δt = intervalo de tiempo entre los valores de la aceleración;
ω_n = frecuencia natural no amortiguada (en radianes);
ω_d = frecuencia natural amortiguada = $\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$;
$\ddot{x}_k$ = $k_{ésimo}$ 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:

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

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:

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

Siendo:

$\mathrm{Acc(t)}_{(\mathrm{medido})}$ = 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 la valores Acc(t) (corregido).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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;

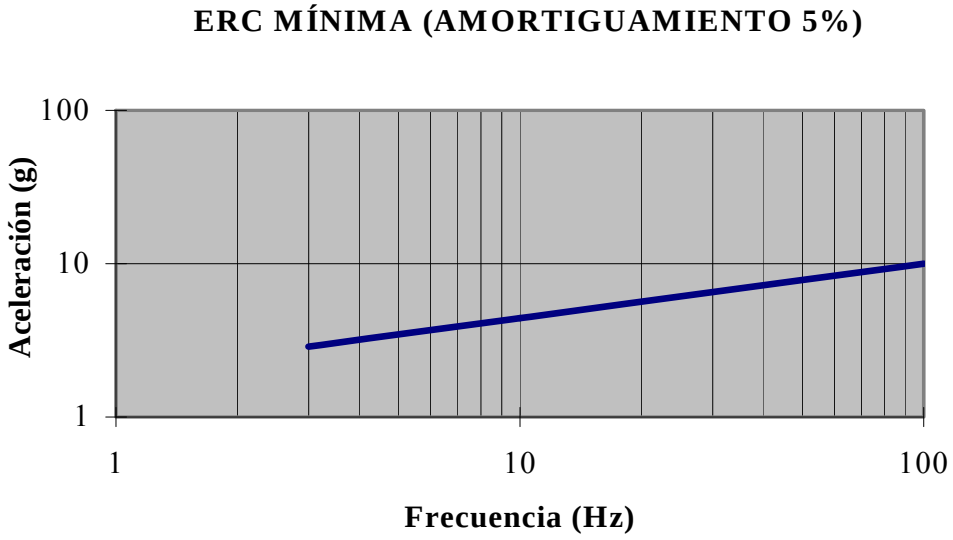
e) Velocidad de choque;

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.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura 41.3.5.1: Curva ERC mínima



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

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

APÉNDICES

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice		Página
1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS DETONADORES NORMALIZADOS	433
2.	MÉTODO BRUCETON Y MÉTODO DE COMPARACIÓN DE MUESTRAS	437
3.	CAVITACIÓN DE LAS MUESTRAS	441
4.	ORGANISMOS NACIONALES QUE FACILITAN INFORMACIÓN SOBRE LAS PRUEBAS	445
5.	EJEMPLO DE MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS SISTEMAS DE DESCOMPRESIÓN	447
6.	PROCEDIMIENTOS DE DETECCIÓN	453
7.	PRUEBA HSL DE COMPOSICIONES DETONANTES	459

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

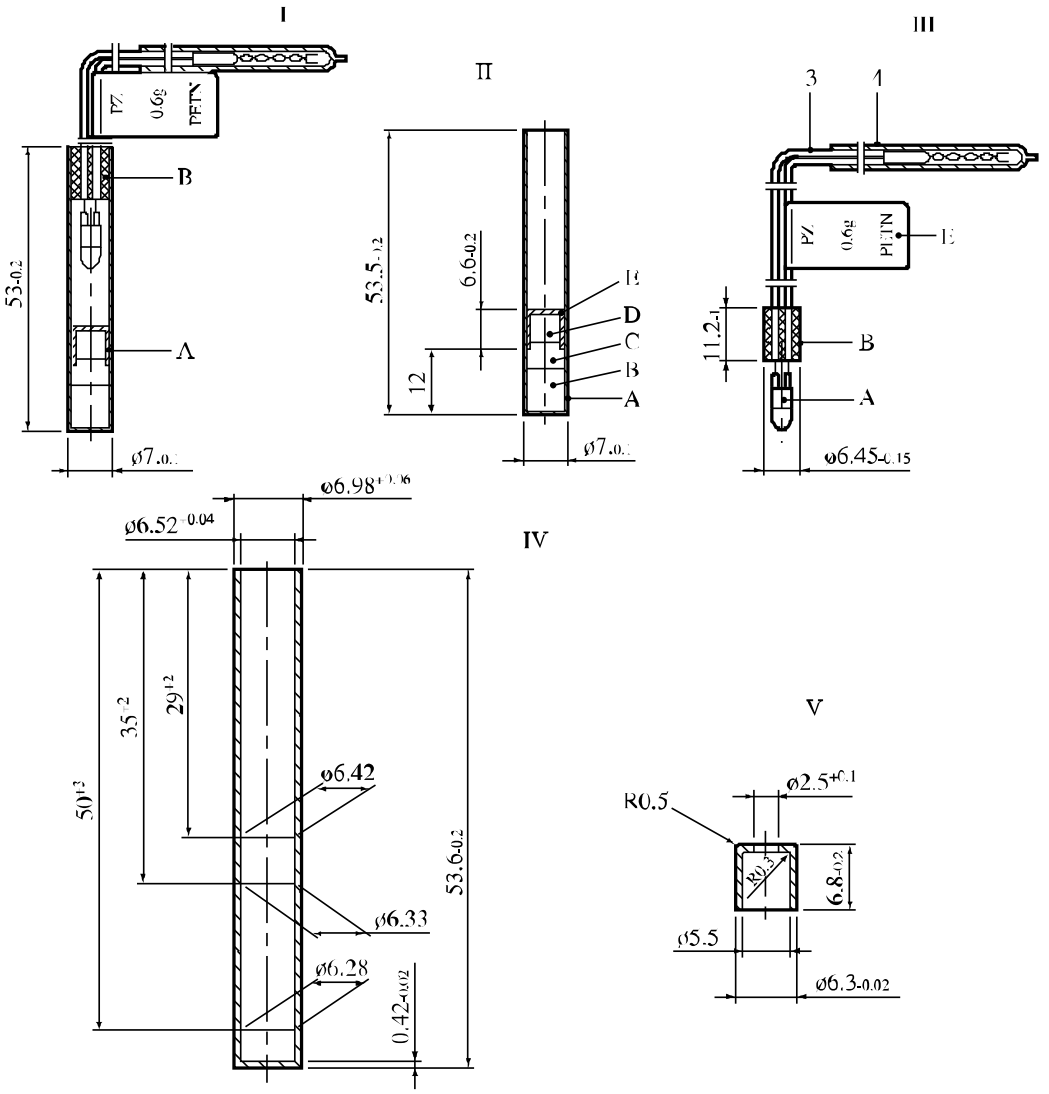
Apéndice 1

CARACTERÍSTICAS DE LOS DETONADORES NORMALIZADOS

1. Descripción del detonador eléctrico normalizado con carga secundaria de 0,6 g de pentrita

Esquema Nº	Pieza Nº	Pieza	Descripción	Observaciones
I	A	Cápsula detonante		
	B	Cabeza de encendido	No debe comprimirse. Cantidad recomendada de sustancias pirotécnicas que entran en la perla de encendido: 20 a 50 mg	Ejemplo: inflamador eléctrico T 10-U con envoltura de aluminio, de Fa. DNAG (Alemania)
II	A	Tubo	Tubo de embutición de cobre puro (5% de cinc) o de otras aleaciones de composición variable entre la citada y el cobre puro. Se indican sus dimensiones en la figura. En caso necesario, los tubos destinados a la fabricación de detonadores normalizados se seleccionarán verificando las dimensiones exactas de cada tubo.	
	B	a) Carga secundaria	Carga inferior: 0,40 g (± 0,01 g) de pentrita; comprimida a 440 bar	La pentrita puede contener hasta 0,5% de una materia carbonada para impedir que se formen cargas electrostáticas durante su manipulación, así como para mejorar las características del flujo
	C		Carga intermedia: 0,20 g (± 0,01 g) de pentrita; comprimida a 20 bar	Altura total de la carga secundaria: 12,3 mm (± 0,6 mm)
	D	Cebo (carga iniciadora	El tipo de sustancia es optativo, como la cantidad, pero conviene que ésta sea, por lo menos, el doble de la mínima necesaria para que produzca la iniciación. En total, la deficiencia de oxígeno entre el cebo y la carga secundaria no ha de ser superior a 9,5% de O_2	Ejemplo: 0,30 ± 0,01 g de azida de plomo dextrinada de una pureza del 88%, comprimida a 440 bar
	E	Opérculo (con orificio)		No se prescribe el empleo de un opérculo con orificio. Está contraindicado apretar el cebo contra una parte muy comprimida de la carga secundaria
III	A	Cabeza de encendido		Ejemplo: inflamador encendido eléctrico T 10 - U con envoltura de aluminio, de Fa. DNAG (Alemania)
	B	Tapón		No hay prescripciones especiales sobre sus características, pero debe ser perfectamente hermético (con lo que se evita la formación de azida de cobre y se obtiene la deseada potencia de iniciación). El modelo comercial ordinario reúne condiciones satisfactorias
	C	Hilo		No se prescribe ningún tipo en particular, a condición de que se tengan en cuenta los riesgos eléctricos (electricidad estática, corrientes parásitas), pero no se admite el empleo de una envoltura aisladora de plástico en el interior del tubo del detonador
	D	Tubo en cortocircuito	Tubo de plástico	
	E	Etiqueta		

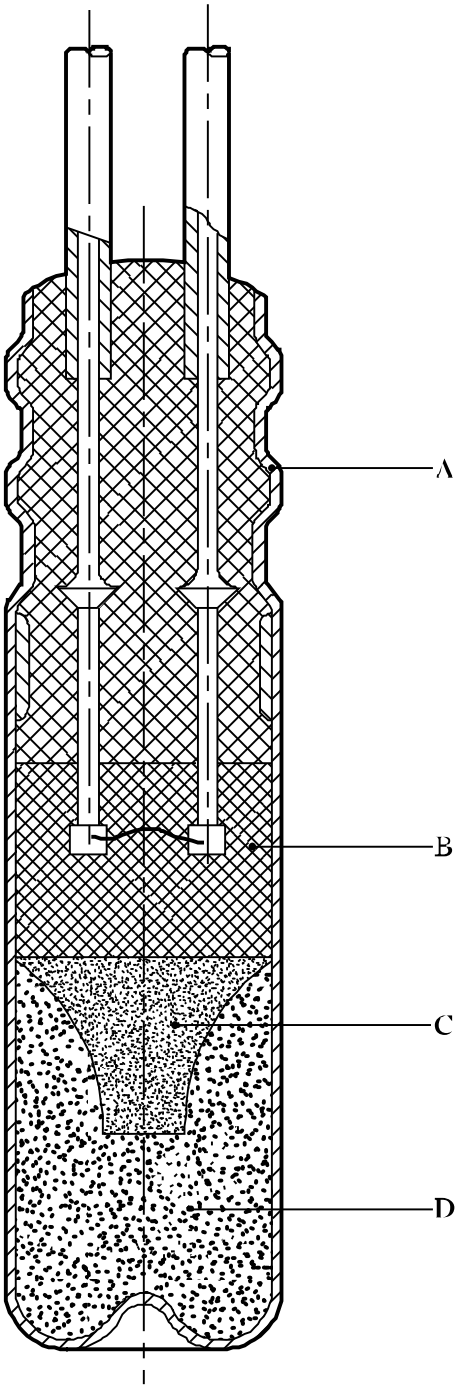
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



I	Cápsula detonante eléctrica (detonador normalizado)	II	Cápsula detonante (detonador normalizado)
III	Cabeza de encendido	IV	Tubo
V	Opérculo		
(A)	Cápsula detonante	(B)	Cabeza de encendido
(C)	Carga intermedia	(D)	Cebo
(E)	Opérculo		

Figura A1.1: DETONADOR NORMALIZADO (EUROPEO)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Tubo de aleación de aluminio 5052 (31, 8 mm de longitud; 7,06 mm de diámetro exterior; 0,19 mm de espesor de pared)
(B)	Hilo de puenteo y carga inflamadora
(C)	Cebo (0,195 g de azida de plomo dextrinada)
(D)	Carga secundaria inferior (0,477 g de pentrita, comprimida a 28 MPa)

Figura A1.2: DETONADOR Nº 8 (ESTADOS UNIDOS)

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Apéndice 2

MÉTODO BRUCETON Y MÉTODO DE COMPARACIÓN DE MUESTRAS

1. Método Bruceton

Introducción: El método Bruceton se utiliza para determinar el nivel de estímulo en el que la probabilidad de obtener un resultado positivo es del 50%.

Procedimiento: El método consiste en aplicar diferentes niveles de estímulo y determinar si se produce o no una reacción positiva. La realización de los ensayos se concentra en torno a la región crítica, reduciendo el estímulo en un nivel en el ensayo siguiente si se ha obtenido un resultado positivo e incrementándolo en un nivel si se ha obtenido un resultado negativo. En general, se efectúan unos 5 ensayos preliminares para determinar el nivel de salida en la región derecha aproximadamente; luego, se realizan, por lo menos, 25 ensayos para proporcionar los datos necesarios para los cálculos.

Cálculo de los resultados: Para determinar el nivel en el que la probabilidad de obtener un resultado positivo es del 50% (H_{50}), se utilizan únicamente los resultados positivos (+) o los negativos (-), según cuál de los dos conjuntos tenga el total más bajo. En caso de igualdad, pueden utilizarse los unos o los otros. Los resultados se consignan en un cuadro (véase, por ejemplo, el cuadro A2.1) y se resumen en otro (cuadro A2.2). En la primera columna del cuadro A2.2 figuran las alturas de caída, en orden creciente, comenzando por el nivel más bajo respecto del cual se ha consignado un resultado. En la segunda, "i" representa el número de incrementos iguales acumulados a la altura inicial. En la tercera figura el número de resultados positivos (n (+)) o negativos (n (-)) correspondientes a cada altura de caída. En la cuarta se recogen los resultados de multiplicar "i" por "n", y en la quinta, los de multiplicar el cuadrado de "i" por "n". Se halla la altura media conforme a la ecuación siguiente:

$$H_{50} = c + d \times \left(\frac{A}{N_s} \pm 0{,}5 \right)$$

siendo $N_s = \sum n_i$; $A = \sum (i \times n_i)$; c = altura inicial; d = intervalo entre caídas.

Si se opera con resultados negativos, el signo de la expresión que va entre paréntesis será positivo; y, si se utilizan los resultados positivos, dicho signo será negativo. La desviación tipo, "s", puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$s = 1{,}62 \times d \times \left(\frac{N_s \times B - A^2}{{N_s}^2} + 0{,}029 \right)$$

siendo $B = \sum (i^2 \times n_i)$.

Ejemplos de resultados: Si se utilizan los datos del cuadro A2.2 (altura de caída más baja, 10 cm; intervalo entre caídas, 5 cm; suma de i.n (-), 16; suma de i^2.n(-), 30; y suma de n(-), 12), la altura media puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$H_{50} = 10 + 5 \times \left(\frac{16}{12} + 0{,}5 \right) = 19{,}2 \text{ cm}$$

y la desviación tipo mediante la ecuación siguiente:

$$s = 1{,}62 \times 5 \times \left(\frac{12 \times 30 - 16^2}{12^2} + 0{,}029 \right) = 6{,}1$$

Referencia: *W.J. Dixon y F.V. Massey, Jr., "Introduction to Statistical Analysis", McGraw-Hill Book Co., Toronto, 1969.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro A2.1: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Altura de caída (cm)	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS																									Frecuencia	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	+	-
30								+																		1	
25							-		+				+				+		+							4	1
20				+		-				+		-		+		-		-		+		+				5	4
15	+		-		-						-				-						-		+		+	3	5
10		-																						-			2
																										13	12

Cuadro A2.2: SINOPSIS DE LOS DATOS

Altura (cm)	Cálculos con los resultados negativos			
	i(-)	n(-)	i(-).n(-)	i^2(-).n(-)
25	3	1	3	9
20	2	4	8	16
15	1	5	5	5
10	0	2	0	0
TOTALES		$N_s = 12$	A = 16	B = 30

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

2. Método de comparación de muestras

Introducción: Esta técnica puede aplicarse a cualquier prueba en la que se utilice el método Bruceton. La prueba de comparación de muestras es una operación no-paramétrica destinada a ofrecer un nivel de confianza elevado en cualquier diferencia de sensibilidad en las situaciones en que los valores medios obtenidos por el método Bruceton estén muy próximos unos de otros.

Procedimiento: Se someten a prueba muestras del explosivo A siguiendo un método Bruceton normal, pero luego se prueban en alternancia con muestras del explosivo B. No obstante, en vez de seguir su propio programa de altibajos, cada muestra del explosivo B se somete al mismo nivel de estímulo que en el ensayo inmediatamente anterior con la muestra A. Así pues, a medida que avanza la prueba, por cada nivel de estímulo se efectúa un ensayo con la muestra A y otro con la muestra B. Si ambas reaccionan o no reaccionan, no se tiene en cuenta el resultado a efectos de evaluación. Sólo se utilizan para ésta los pares de resultados que dan respuestas diferentes.

Cálculo de los resultados: Si hay **n** pares de resultados con respuestas diferentes y si **x** es el número de reacciones positivas de la muestra menos sensible de esos pares, es decir, si $x < (n - x)$, el nivel de confianza, K%, que indica que esta muestra es verdaderamente menos sensible, se calcula mediante la estadística de Bernoulli. K puede estimarse mediante la ecuación siguiente:

$$K = 100 \times \left(1 - 2^{n} \times \left(\sum_{i=0}^{x} \frac{n!}{i! \times (n-i)!} \right) \right)$$

En el cuadro que figura a continuación se dan varios ejemplos de valores de K correspondientes a una serie de valores de x y n.

x \ n	15	20	25	30
2	99			
3	98	99		
4	94	99		
5	85	98	99	
6	70	94	99	
7		87	98	99
8		75	95	99
9		59	89	98
10			79	95

Si no existe ninguna diferencia real entre dos muestras, la proporción de casos en los que los pares de resultados son los mismos aumenta y, al propio tiempo, $(n - 2x)$ no registra una tendencia general a aumentar a medida que avanza la prueba.

Ejemplos de resultados: El octógeno mezclado con 0,01% de partículas en suspensión en el aire de 45 a 63 micrones, comparado con el octógeno no adulterado, dio $x = 3$ para $n = 13$, lo que indica que el primero tiene una sensibilidad superior al nivel de confianza de:

$$K = 100 \times \left(1 - 2^{-13} \times \left(\sum_{i=0}^{3} \frac{13!}{i! \times (13-i)!} \right) \right)$$

$$= 100 \times \left(1 - \frac{1 + 13 + 78 + 286}{8192} \right) = 95{,}4\%$$

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Comparando una muestra sospechosa de octógeno triturado con una muestra normal, se obtuvo x = 6 para n = 11, lo que indica que el primero era más sensible al nivel de confianza de:

$$K = 100 \times \left(1 - 2^{-11} \times \left(\sum_{i=0}^{6} \frac{11!}{i! \times (11 - i)!} \right) \right)$$

$$= 100 \times \left(1 - \frac{1 + 11 + 55 + 165 + 330 + 462 + 462}{2048} \right) = 27{,}4\%$$

no pudiéndose probar que la muestra sospechosa no fuera normal.

***Nota**: Para estimar K la forma más sencilla consiste en utilizar la ecuación K = 100 × {0,5 + G(z)}, siendo G(z) la zona gaussiana entre la ordenada central y la ordenada en la abscisa z, siendo* $z = n^{0,5} - (2x+1)/n^{0,5}$. *Por ejemplo, cuando n = 13 y x = 3, z = 1,6641, G(z) = 0,452 y K = 95,2%.*

***Referencia**: H.J. Scullion, Journal of Applied Chemistry and Biotechnology, 1975, 25*, págs. 503 a 508.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Apéndice 3

CAVITACIÓN DE LAS MUESTRAS

1. Método alemán

Cuando se trate de ensayar una sustancia líquida en estado de cavitación, ésta se efectúa haciendo pasar a través de la sustancia una corriente constante de burbujas de gas. El método de prueba se modifica (véase la figura A3.1) de la manera siguiente:

Por su parte inferior, el tubo (que tiene 100 mm más de longitud que el que se emplea en la prueba original) va cerrado por una tapa roscada y una empaquetadura de politetrafluoroetileno, y no por la normal placa soldada. Dicha tapa tiene en su centro un orificio por el que se hace pasar, inmovilizándolo mediante soldadura, un breve tubo de acero de aproximadamente 5 mm de diámetro interior. Al extremo interior de éste se acopla un filtro de vidrio poroso por medio de un tubo de plástico flexible, de manera que quede centrado y lo más cerca posible de la cara interior de la tapa. El disco del filtro debe tener un diámetro de 35 mm como mínimo, con poro de 10 a 16 μm (porosidad 4). El flujo de aire, oxígeno o nitrógeno ha de tener un régimen de 28 ± 5 litros/hora. Para evitar una acumulación de presión, la tapa del extremo superior debe tener otros cuatro orificios, de 10 mm de diámetro.

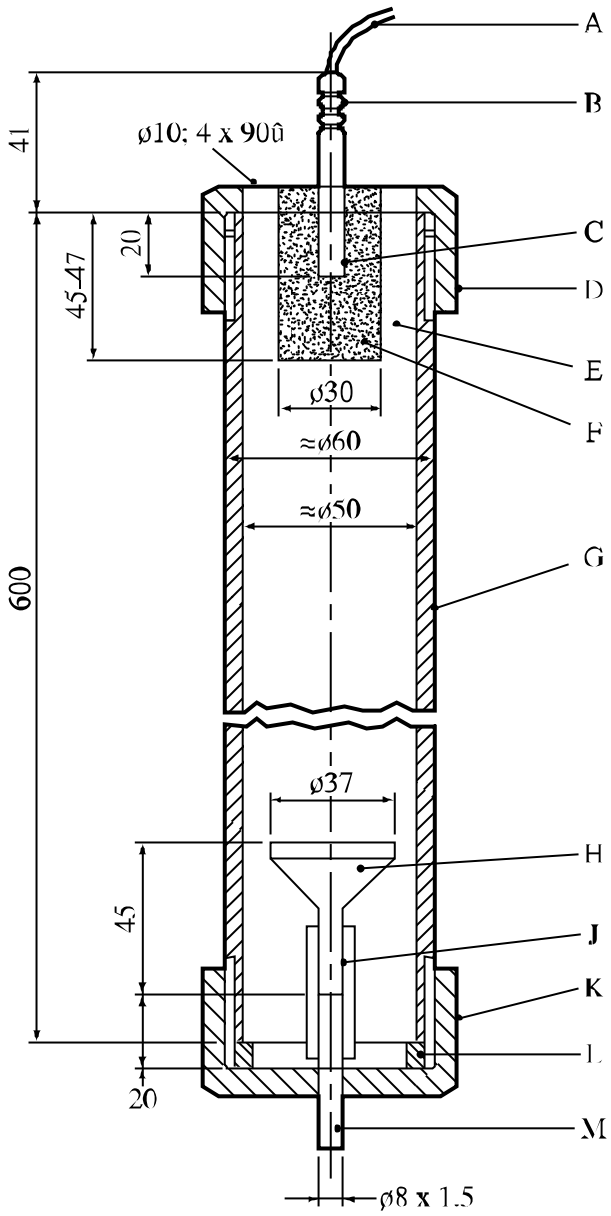
2. Método estadounidense

En las pruebas de detonación de líquidos con cavitación se emplea el mismo aparato que con las sustancias sólidas y los líquidos no cavitados, salvo que está dotado de un medio de inyección de burbujas en la muestra. En la figura A3.2 se reproduce el esquema de conjunto. Las burbujas se inyectan mediante un tubo de plástico vinílico del tipo de los que se utilizan para el cateterismo en medicina, de 1,8 mm de diámetro exterior y de un espesor de pared de 0,4 mm, y que, dispuesto en forma de anillo, se aloja en el fondo de la muestra. Dicho anillo tiene un cierto número de orificios, distribuidos en dos filas diametralmente opuestas, los cuales distan entre sí, en cada una de éstas, 3,2 mm. Se hacen estos orificios atravesando la pared del tubo con una aguja de 1,3 mm de diámetro, si bien, dada la elasticidad del material, se contraen casi por completo al retirar la aguja, por lo que el diámetro real de los orificios es muy inferior a 1 mm. Uno de los extremos del anillo se tapona con cemento epoxídico, y el otro extremo se prolonga hasta la fuente de alimentación de aire, en el exterior, a través de un orificio -para cuya estanqueidad se le aplica cemento epoxídico- existente en el tubo de acero. El aire se inyecta a una presión de 30 a 100 kPa, lo que supone un régimen de 1,2 litros por minuto.

3. Método francés

Este método utiliza microesferas huecas, de vidrio, que se emplean normalmente para sensibilizar los explosivos en emulsión (por ejemplo, burbujas de vidrio borosilicatado con sal sódica, de 0,15 de densidad aparente, 50 micrones de diámetro medio, 200 micrones de diámetro máximo, con el 25% de burbujas de diámetro inferior a 30 micrones). El método es aplicable a las sustancias líquidas y pastosas. Se añaden microesferas de vidrio, utilizando, si es necesario, una pequeña cantidad de dispersante, que sea compatible con la sustancia objeto de la prueba, a razón de 500 mg por litro de muestra. Antes de introducir la mezcla en el tubo de activación, se la agita hasta que forma una dispersión homogénea y estable.

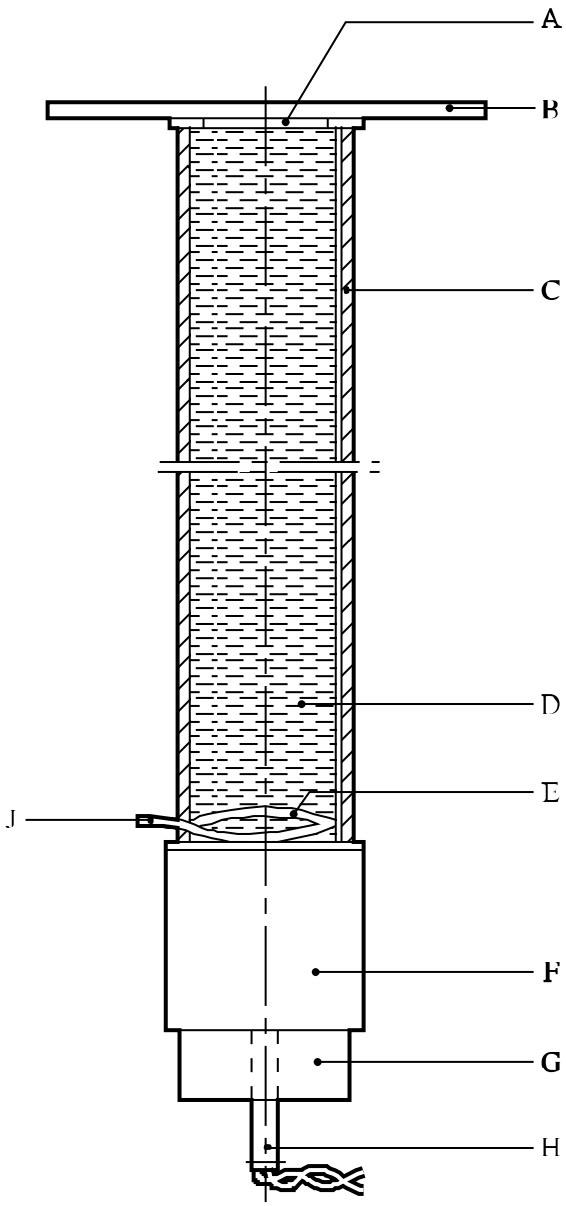
Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Hilos conductores	(B)	Inflamador eléctrico
(C)	Detonador	(D)	Tapa roscada, de fundición maleable
(E)	Sustancia objeto de la prueba	(F)	Carga multiplicadora de ciclonita/cera (95/5)
(G)	Tubo de acero de norma DIN 2441, material St. 37 según norma DIN 1629	(H)	Filtro de vidrio poroso
(J)	Tubo de plástico flexible	(K)	Tapa roscada de acero St. 35
(L)	Junta de politetrafluoroetileno	(M)	Pequeño tubo de acero

Figura A3.1: MÉTODO ALEMÁN DE CAVITACIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A)	Elementos separadores	(B)	Placa testigo
(C)	Tubo de acero	(D)	Sustancia objeto de la prueba
(E)	Inyector de burbujas	(F)	Galleta de pentolita
(G)	Receptáculo del detonador	(H)	Detonador
(J)	Entrada de aire		

Figura A3.2: MÉTODO ESTADOUNIDENSE DE CAVITACIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Apéndice 4

ORGANISMOS NACIONALES QUE FACILITAN INFORMACIÓN SOBRE LAS PRUEBAS

País	Código	Dirección
ALEMANIA	A	Abteilung II Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung Unter den Eichen 87 D - Berlín 12205 Alemania
CANADÁ	C	Canadian Explosives Research Laboratory Department of Natural Resources CANMET Complex, Bells Corners Ontario, Canadá K1A 0G1
ESPAÑA	E	Laboratorio Oficial Madariaga (LOM) Alenza 1 Madrid 28002 España
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	EE.UU.	Associate Director for Hazardous Materials Safety RSPA/DOT Washington D.C. EE.UU. 20590
FEDERACIÓN DE RUSIA	RUS	The State Committee of the Russian Federation on Defensive Branches of Industry Central Scientific and Design Bureau 20 Goncharnaya Street Moscow, 109240 Federación de Rusia
FRANCIA	F	INERIS/LSE Parc Technologique ALATA B.P. 2 60550 Verneuil-en-Halatte Francia
JAPÓN	J	Technology and Safety Division Transport Policy Bureau Ministry of Transport 2-1-3 Kasumigaseki Chiyoda-ku Tokyo 100, Japón
PAÍSES BAJOS	PB	TNO Prins Maurits Laboratory P.O. Box 45 2280 AA Rijswijk Países Bajos
POLAND	PL	Institute of Industrial Organic Chemistry Laboratory of Dangerous Properties of Materials 6, Annopol Street 03-236 Varsovia Polonia
REINO UNIDO	GB	HSE, Health and Safety Laboratory Harpur Hill, Buxton Derbyshire SK 17 9JN Reino Unido

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

País	Código	Dirección
SUECIA	S	Saab Bofors Dynamics AB Research and Development Explosives S-691 80 Karlskoga Suecia
SUIZA	CH	Eidg. Gefahrgutinspektorat Richtistrasse 15 CH-8304 Wallisellen Suiza

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Apéndice 5

EJEMPLO DE MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS SISTEMAS DE DESCOMPRESIÓN

1. Introducción

Este ejemplo de método de dimensionamiento de las aberturas de emergencia se utiliza para determinar la capacidad del sistema de descompresión que debe montarse en determinando RIG o cisterna para determinado peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea del Tipo F, o un preparado de éstos. El método se basa 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 de las cisternas 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 descompresión de emergencia en un RIG o una cisterna 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 o cebado de la fase 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 descompresión del RIG o de la cisterna, o de una verdadera válvula de descompresión con un diámetro reducido a escala con arreglo a la relación entre la superficie de purga y el volumen del recipiente. Hay una segunda abertura, que actúa como abertura de descompresión de emergencia, cerrada por un disco de ruptura. 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 los discos de ruptura que deben montarse en el RIG o la cisterna. 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 un disco de ruptura ajustado para una presión correspondiente al disco o discos montados en la cisterna o el RIG durante el transporte. Por razones de seguridad, se recomienda que el recipiente de prueba esté provisto de un disco de ruptura 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 adicional de purga 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 cartuchos calefactores, conectado a una fuente de energía. El contenido del recipiente 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 recipiente 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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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 recipientes 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 descompresión 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 necesita la información que se indica a continuación sobre el RIG o la cisterna y el peróxido orgánico o sustancia de reacción espontánea:

F_r = fracción 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 del RIG o de la cisterna en contacto con el líquido [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 en el momento de la descompresión [K]
q_i = consumo calorífico a través de la superficie indirectamente expuesta [W]

q_d = consumo calorífico a través de la superficie directamente expuesta [W]

F = factor de aislamiento

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

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

siendo:

F = factor de aislamiento;

F = 1 para los depósitos sin aislamiento, o

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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

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

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

siendo:

F = factor de aislamiento = 1 (sin aislamiento)

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

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

Ejemplo 1*: *cisterna aislada

Para un sistema portátil corriente de 20 m^3, con aislamiento:

F_r	=	fracción de la cisterna calentada directamente	=	0,01
Mt	=	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 de la cisterna portátil en contacto con el líquido	=	40 m^2
Cp	=	calor específico del preparado de peróxido orgánico	=	2.000 $J.kg^{-1}.K^{-1}$
T_{po}	=	temperatura del peróxido orgánico en el momento de la descompresión	=	100ºC

y

$$q_i = 70961 \times 2 \frac{0,4 \times \left(923 - 373\right)}{47032} \times \left[\left(1 - 0,01\right) \times 40\right]^{0,82} = 13.558 \text{ W}$$

$$q_d = 70961 \times 1 \times \left[0,01 \times 40\right]^{0,82} = 33.474 \ W$$

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Ejemplo 2: RIG no aislado

Para un RIG típico de acero inoxidable no aislado de 1,2 m^3 (calor directo únicamente, q_d):

F_r	=	Parte de la cisterna calentada directamente	=	1
M_t	=	Masa total de peróxido orgánico y diluyente	=	1.012 kg
A	=	Superficie del RIG en contacto con el líquido	=	5,04 m^2
C_p	=	Calor específico del preparado de peróxido orgánico	=	2.190 $J.kg^{-1}.K^{-1}$

y

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

$$q_i = 0$$

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

4. Procedimiento

Se llena el depósito del recipiente objeto de 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 prescrita[1] y el disco de ruptura. Normalmente, para una cisterna de 20 toneladas se emplean cuatro discos de ruptura 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 superior a la calculada al serpentín de calentamiento hasta que se alcance una temperatura que esté 5ºC 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 del disco de ruptura, se continúa aplicando calor durante unos 30 minutos más para asegurarse de que se han medido 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 sustancia de reacción espontánea. La prueba debe efectuarse por duplicado al nivel en el cual la superficie total de purga tenga una capacidad suficiente.

[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 (presión superior a 100 bar) a fin de obtener información sobre la presión máxima que puede soportar la sustancia que se somete a prueba y el diámetro de abertura que debe utilizarse en el primer ensayo con dicho recipiente.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

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 purga de un RIG o de una cisterna (A_{RIG} o $A_{cisterna}$, en m^2) 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 las cisternas, inferior o igual a la presión de prueba de la cisterna (de acuerdo con lo dispuesto en 4.2.1.13.4 de la Reglamentación Modelo 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 de acuerdo con lo dispuesto en 6.5.6.8.4 de la Reglamentación Modelo, 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.

La superficie total mínima de las aberturas de descompresión de un RIG o de una cisterna viene dada por las ecuaciones siguientes:

Para RIG:

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

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	=	$[m^3]$

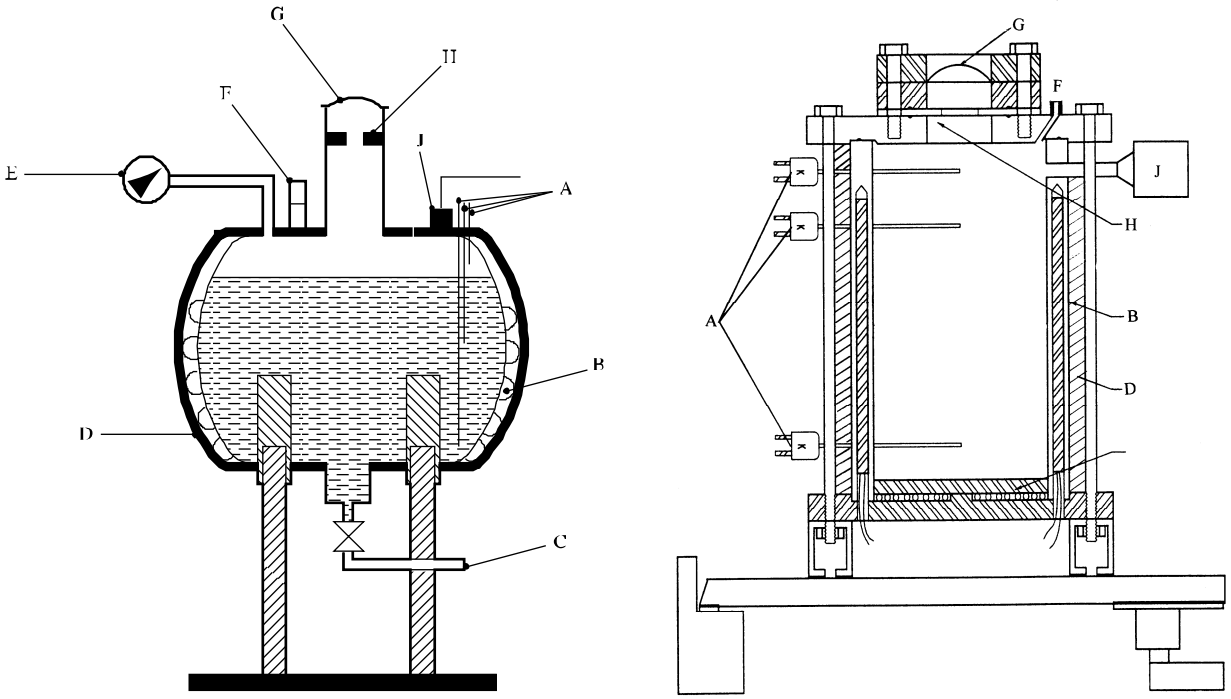
Ejemplo:

Para un peróxido orgánico corriente en una cisterna de 20 m^3, con aislamiento:

$A_{\text{recipiente de prueba}}$	=	superficie mínima suficiente de la abertura de descompresión determinada en la prueba	=	$9{,}5 \times 10^{-5}$ 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

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

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos



(A) Termopares (dos en el líquido y uno en la fase vapor)
(B) Serpentín/cartucho calefactor
(C) Conducto de drenaje (facultativo)
(D) Aislamiento
(E) Manómetro (facultativo)
(F) Válvula de reducción de la presión (facultativo)
(G) Disco de ruptura
(H) Placa perforada
(J) Transductor de presión o válvula de reducción de la presión y transductor montado en T

Figura A5.1:
RECIPIENTE DE 10 LITROS PARA LAS PRUEBAS DE LOS SISTEMAS DE DESCOMPRESIÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Apéndice 6

PROCEDIMIENTOS DE DETECCIÓN

1. Objetivo

1.1 Distintos ramos industriales utilizan procedimientos de detección para determinar qué riesgos pueden presentar ciertas materias primas, mezclas reactivas e intermediarias, productos y productos secundarios. La utilización de estos procedimientos es fundamental para garantizar la seguridad durante la investigación y el desarrollo y asegurarse de que los nuevos productos y procesos ofrecen la máxima seguridad posible. Estos procedimientos suelen combinar una evaluación teórica y pruebas en pequeña escala y, en muchos casos, permiten que se pueda realizar una evaluación adecuada del riesgo sin necesidad de realizar pruebas de clasificación en mayor escala. Esto reduce la cantidad de material necesario, disminuye cualquier efecto negativo sobre el medio ambiente y reduce al mínimo la cantidad de pruebas innecesarias.

1.2 El presente apéndice tiene como objetivo el presentar ejemplos de procedimientos de detección. Deberá utilizarse junto con los procedimientos de selección expuestos en las introducciones a las correspondientes series de pruebas. Con el margen de seguridad que se especifica, los resultados de los procedimientos de detección permiten predecir adecuadamente que no va a ser necesario realizar la prueba de clasificación, ya que se obtendría un resultado negativo. Se presentan a título de orientación y su uso no es obligatorio. Podrán utilizarse otros procedimientos de detección siempre que hayan permitido obtener una correlación adecuada con las pruebas de clasificación sobre una serie representativa de sustancias y que den un margen de seguridad adecuado.

2. Ámbito de aplicación

2.1 Toda nueva sustancia deberá ser sometida a una evaluación de riesgos antes de entregarla para el transporte. Inicialmente esta evaluación puede hacerse mediante los procedimientos de detección que se exponen en este apéndice. Si el procedimiento de detección indica la existencia de un riesgo, deberá aplicarse el procedimiento de clasificación completo.

2.2 Los procedimientos de detección sólo son aplicables a sustancias y a mezclas de sustancias estables y homogéneas. Si una mezcla se puede separar durante el transporte, el procedimiento de detección deberá asimismo aplicarse a cada uno de los componentes reactivos de la mezcla, y no sólo a la mezcla.

2.3 Adquieren especial importancia las observaciones que se formulan en 1.1.2, en la sección 1 de "introducción general", en el sentido de que se da por supuesta la competencia de la autoridad encargada de las pruebas y sobre ella recae la responsabilidad de la clasificación.

3. Procedimientos de detección de sustancias que pueden tener propiedades explosivas

3.1 Este procedimiento de detección se puede aplicar a las sustancias nuevas que podrían tener propiedades explosivas. Tratándose de las propiedades explosivas de sustancias de reacción espontánea de la división 4.1 o de los peróxidos orgánicos de la división 5.2, habrá que referirse a la Parte II del presente Manual y a la sección 5.1 de este apéndice. No se utilizará con sustancias fabricadas con la intención de obtener un explosivo práctico o un efecto pirotécnico.

3.2 Las propiedades explosivas se asocian con la presencia en una molécula de determinados grupos químicos que pueden reaccionar produciendo rapidísimos aumentos de temperatura o de presión. El procedimiento de detección sirve para identificar la presencia de esos grupos reactivos y las posibilidades que ofrecen de una rápida liberación de energía. Si el procedimiento de detección permite averiguar que el material es un posible explosivo, deberá aplicarse el procedimiento de aceptación de la clase 1 (véase 10.3).

NOTA: *Cuando la energía exotérmica de descomposición de materiales orgánicos sea inferior a 800 J/g, no será preciso realizar ni una prueba de serie 1, tipo a), prueba de propagación de la detonación, ni tampoco de la serie 2, tipo a), prueba de sensibilidad al choque de la detonación. En el caso*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

de las sustancias orgánicas y de las mezclas de sustancias orgánicas cuya energía de descomposición sea igual o superior a 800 J/g, no es necesario realizar la prueba de la serie 1, tipo a), ni la prueba de la serie 2, tipo a), si el resultado de la prueba del mortero balístico Mk.IIId (F.1), de la prueba del mortero balístico (F.2) o de la prueba Trauzl BAM (F.3), con iniciación por un detonador normalizado Nº 8 (véase el apéndice 1), es "negativo". En este caso, los resultados de la prueba de la serie 1, tipo a), y de la prueba 2, tipo a), se consideran "-".

3.3 No será preciso aplicar el procedimiento de aceptación a los explosivos de clase 1:

a) Cuando la molécula no contenga ninguno de los grupos químicos asociados a propiedades explosivas. En el cuadro A6.1 se exponen ejemplos de grupos que podrían ser indicio de propiedades explosivas.

Cuadro A6.1: EJEMPLOS DE GRUPOS QUÍMICOS QUE PODRÍAN SER INDICIO DE PROPIEDADES EXPLOSIVAS EN MATERIALES ORGÁNICOS

Característica estructural	Ejemplos
Insaturación C-C	Acetilenos, acetilidos, 1,2-dienos
C-Metal, N-Metal	Reactivos de Grignard, compuestos orgánicos de litio
Atomos de nitrógeno contiguos	Azidas, compuestos azo-alifáticos, sales de diazonio, hidrazinas, sulfonilhidrazidas
Atomos de oxígeno contiguos	Peróxidos, ozónidos
N-O	Hidroxilaminas, nitratos, nitrocompuestos, compuestos nitrosos, N-óxidos, 1,2-oxazoles
N-halógenos	Cloraminas, fluoroaminas
O-halógenos	Cloratos, percloratos, compuestos yodosílicos

ó

b) Cuando la sustancia en cuestión contiene grupos químicos asociados a propiedades explosivas que incluyen oxígeno y el balance calculado de oxígeno es inferior a – 200.

El balance de oxígeno se calcula según la reacción química:

$$C_x H_y O_z + [x + (y/4) - (z/2)]O_2 \Leftrightarrow x\,CO_2 + (y/2)H_2O$$

utilizando la fórmula:

$$\text{balance de oxígeno} = -1.600 \times \left(\frac{2x + \frac{y}{2} - z}{\text{peso molecular}} \right)$$

ó

c) Cuando las sustancias orgánicas o una mezcla homogénea de sustancias orgánicas contienen grupos químicos asociados con propiedades explosivas pero la descomposición exotérmica de energía es inferior a 500 J/g y el comienzo de la descomposición exotérmica se produce a menos de 500°C. (Con el límite de temperatura se evita que el procedimiento se aplique a un gran número de materiales orgánicos que no son explosivos pero que se descompondrían con lentitud por encima de 500°C liberando más de 500 J/g.) La descomposición exotérmica de energía se puede determinar utilizando una técnica calorimétrica adecuada (véase 20.3.3.3); ó

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

d) Para mezclas de sustancias oxidantes inorgánicas de la división 5.1 con materiales orgánicos, la concentración de sustancia oxidante inorgánica es:

- inferior al 15%, por masa, si se ha asignado al grupo de embalaje/envase I (riesgo elevado) o II (riesgo medio);
- inferior al 30%, por masa, si se ha asignado al grupo de embalaje/envase III (escaso riesgo).

3.4 Cuando la sustancia consista en una mezcla que contenga alguno de los explosivos conocidos, deberá aplicarse el procedimiento de aceptación de clase 1.

4. Procedimientos de detección en mezclas que puedan ser líquidos inflamables (clase 3)

4.1 En el caso de las mezclas[1] inflamables que contengan líquidos inflamables conocidos en concentraciones definidas, aunque puedan contener componentes no volátiles tales como polímeros, aditivos, etc., no es necesario determinar experimentalmente el punto de inflamación si el punto de inflamación de la mezcla, calculado según el método indicado en el párrafo 4.2 es superior en al menos 5°C[2] a los criterios de clasificación aplicables (23 y 60°C, respectivamente), siempre que:

a) Se conozca exactamente cuál es la composición de la mezcla (si el material tiene unos límites de composición especificados, para la evaluación se seleccionará la composición que tenga el más bajo punto de inflamación calculado);

b) Se conozca el límite inferior de explosión de cada componente (se debe aplicar un método de correlación apropiado cuando se extrapolan estos datos a temperaturas distintas de las condiciones de prueba), así como un método de cálculo del límite inferior de explosión de la mezcla;

c) Se conozca, para cada componente presente en la mezcla, la medida en que la presión de vapor saturado y el coeficiente de actividad dependen de la temperatura;

d) La fase líquida sea homogénea.

4.2 Gmehling y Rasmussen (Ind. Eng. Chem. Fundament, 21, 186 (1982)) describen un método adecuado. Para una mezcla que contenga componentes no volátiles, por ejemplo polímeros o aditivos, el punto de inflamación se calcula a partir de los componentes volátiles. Se considera que un componente no volátil sólo reduce ligeramente la presión parcial de los solventes y que el punto de inflamación calculado es ligeramente inferior al valor medido.

5. Procedimientos de detección aplicables a sustancias que pueden ser sólidos inflamables (clase 4)

5.1 *Sustancias que pueden ser sustancias de reacción espontánea (división 4.1)*

No será necesario aplicar los procedimientos de clasificación (véase la sección 20.4) de las sustancias de reacción espontánea si:

a) En la molécula no existe ningún grupo químico asociado a propiedades explosivas o de reacción espontánea; en los cuadros A6.1 y A6.2 se dan ejemplos de esos grupos.

---

[1] *Actualmente, el método de cálculo está validado para las mezclas que contengan hasta seis componentes volátiles. Esos componentes pueden ser líquidos inflamables tales como hidrocarburos, éteres, ésteres (excepto los acrilatos) y agua. En cambio, el método no está validado todavía para las mezclas que contengan, por ejemplo, componentes halógenos, sulfurosos y/o fosfóricos, así como acrilatos reactivos.*

[2] *Si el punto de inflamación calculado es superior en menos de 5ºC a los criterios de clasificación aplicables, no se puede utilizar el método de cálculo, y el punto de inflamación deberá determinarse mediante pruebas.*

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Cuadro A6.2: EJEMPLOS DE GRUPOS QUÍMICOS INDICATIVOS DE PROPIEDADES DE REACCIÓN ESPONTÁNEA EN MATERIALES ORGÁNICOS

Característica estructural	Ejemplos
Grupos mutuamente reactivos	Aminolitrilos, haloanilinas, sales orgánicas de ácidos oxidantes
S=O	Sulfonil-haluros, sulfonil-cianuros, hidrazidas de sulfonilo
P-O	Fosfitos
Anillos a presión	Epóxidos, aziridinas
Insaturación	Olefinas, cianatos

ó

b) Para una sola sustancia orgánica o una mezcla homogénea de sustancias orgánicas, la TDAA calculada es inferior a 75°C o la energía de descomposición exotérmica es inferior a 300 J/g. La temperatura de comienzo y la energía de descomposición se pueden calcular mediante una técnica calorimétrica adecuada (véase 20.3.3.3)

5.2 *Sustancias que presentan riesgo de combustión espontánea (división 4.2)*

5.2.1 No será preciso aplicar el procedimiento de clasificación de los *sólidos y líquidos pirofóricos* cuando la experiencia en su producción o manejo muestre que la sustancia en cuestión no entra en combustión espontáneamente al ponerse en contacto con el aire a una temperatura normal (es decir, se sabe que la sustancia es estable a la temperatura ambiente durante períodos de tiempo prolongados (días)).

5.2.2 No será preciso aplicar el procedimiento de clasificación de *sustancias de calentamiento espontáneo* si puede establecerse una relación adecuada entre los resultados de la prueba de detección y la prueba de clasificación, y se aplica el adecuado margen de seguridad. He aquí algunos ejemplos de pruebas de detección:

a) La prueba de Grewer Oven (VDI directriz 2263, parte 1, 1990, *Test Methods for the Determination of the Safety Characteristics of Dusts*) con una temperatura de comienzo de 80 K por encima de la temperatura de referencia para un volumen de 1 *l* (33.3.1.6).

b) La prueba de detección en polvo al granel (Gibson, N. Harper, D.J. Rogers, R. *Evaluation of the fire ad explosion risks in drying powders*, Plant Operation Progress, **4** (3), 181-189, 1985) con una temperatura de comienzo de 60 K por encima de la temperatura de referencia para un volumen de 1 *l* (33.3.1.6).

5.3 *Sustancias que en contacto con el agua pueden reaccionar emitiendo gases inflamables (división 4.3)*

No será preciso aplicar el procedimiento de clasificación de las sustancias que pueden reaccionar con el agua desprendiendo gases inflamables si:

a) La estructura química de la sustancia no contiene ni metales ni metaloides; o

b) La experiencia en su producción o manejo muestra que la sustancia no reacciona con el agua, por ejemplo que se ha fabricado en el agua o que se ha lavado en agua; o

c) Se sabe que la sustancia es soluble en agua y forma una mezcla estable.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

6. Procedimientos de detección para sustancias que pueden ser sustancias oxidantes y para las que pueden ser peróxidos orgánicos (clase 5)

6.1 *Sustancias que pueden ser sustancias oxidantes (división 5.1)*

6.1.1 No será preciso aplicar a los *compuestos orgánicos* el procedimiento de clasificación de sustancias oxidantes de la división 5.1 si:

a) El compuesto no contiene oxígeno, flúor o cloro; o

b) El compuesto contiene oxígeno, flúor o cloro y esos elementos sólo están ligados químicamente al carbono o al hidrógeno.

6.1.2 No será preciso aplicar a *sustancias inorgánicas* el procedimiento de prueba de la sección 34 si la sustancia en cuestión no contiene ningún átomo de oxígeno o de halógeno.

6.2 *Sustancias que pueden ser peróxidos orgánicos (división 5.2)*

6.2.1 Por definición, los peróxidos orgánicos se clasifican sobre la base de su estructura química, así como sobre el contenido de oxígeno disponible y de peróxido de hidrógeno de las formulaciones (véase 20.2.2).

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Apéndice 7

PRUEBA HSL DE COMPOSICIONES DETONANTES

1. Introducción

Esta prueba se utiliza para determinar si las sustancias pirotécnicas en forma de polvo o como unidades pirotécnicas, tal como se presentan en los fuegos artificiales, que se utilizan para producir un efecto sonoro o como carga explosiva o carga propulsora, se consideran como composiciones detonantes a los efectos de determinar la clasificación de los fuegos artificiales utilizando el cuadro de clasificación por defecto que figura en el párrafo 2.1.3.5.5 de la Reglamentación Modelo.

2. Aparatos y materiales

2.1 El aparato que se utiliza en esta prueba (figura A7.2) consiste en un recipiente cilíndrico a presión, de acero, de 89 mm de longitud y 60 mm de diámetro exterior. Diametralmente opuestos, tiene dos rebajos maquinados (que reducen a 50 mm su sección transversal), por donde se sujeta el aparato para ajustarle el cono del tapón de activación y el de salida de gases. El recipiente, cuyo diámetro interior es de 20 mm, tiene en ambos extremos sendas muescas de 19 mm de profundidad, con rosca de una pulgada conforme a las normas británicas de fileteado para tubos de gas (BSP). En la superficie curva del aparato, y a manera de espita, va enroscada una toma de presión, a 35 mm de uno de los extremos y en ángulos de 90 con los rebajos maquinados. El taladro en que se aloja, de 12 mm de profundidad, tiene una rosca que se adapta al fileteado de ½ pulgada (conforme a las normas antes citadas) existente en el extremo de la espita. Se intercala una arandela con junta de estanqueidad a los gases. La toma de presión sobresale 55 mm del cuerpo del recipiente y tiene un diámetro interior de 6 mm. En el otro extremo tiene un rebajo roscado al que se acopla un transductor de presión de diafragma. Puede utilizarse cualquier dispositivo de medida de presión, a condición de que resista a los gases calientes y a los productos de descomposición y pueda responder a un aumento de presión de 690 a 2.070 kPa en menos de 1 ms.

2.2 El extremo del recipiente más alejado de la toma de presión está cerrado con un tapón de activación que tiene una cavidad cónica y dos electrodos, uno de los cuales va aislado del tapón y el otro está puesto a tierra en este último. El otro extremo del recipiente va cerrado por una cápsula de seguridad, de aluminio, de 0,2 mm de espesor (con presión de rotura de, aproximadamente, 2.200 kPa), y que se mantiene fija mediante un tapón que tiene un orificio de 20 mm de diámetro. Con cada tapón se utilizarán juntas de plomo blando para asegurar una buena estanqueidad.

2.3 Durante la prueba, el aparato se mantiene en la posición correcta mediante un soporte (figura A7.8). Dicho soporte está compuesto por una placa de apoyo de acero dulce, de 235 mm × 184 mm × 6 mm, y de un tubo hueco de sección cuadrada de 70 × 70 × 4 mm y de 185 mm de longitud. En uno de los extremos de éste, se cortan hasta cierta altura dos de las caras paralelas, con lo que el resultado es una pieza constituida por un tubo de sección cuadrada de 86 mm de longitud que tiene por base dos patas planas. Se cortan éstas de manera que su arista inferior forme un ángulo de 60° con el plano horizontal, y se sueldan a la placa de apoyo.

2.4 En uno de los lados del extremo superior del tubo se maquina una muesca de 22 mm de ancho y de 46 mm de fondo, en la que se introducirá la toma de presión en el momento de unir el aparato de ensayo -con el tapón de activación hacia abajo- al soporte de sección cuadrada. En la cara inferior interna de éste se suelda, a modo de elemento separador, una cuña de acero de 30 mm de ancho y 6 mm de espesor. La cara opuesta lleva dos tornillos de orejetas de 7 mm, que sujetan firmemente el recipiente. Al mismo tiempo, éste va apoyado, por su parte inferior, en dos tiras de acero de 12 mm de ancho y 6 mm de espesor, soldadas a las patas del tubo de sección cuadrada.

2.5 El dispositivo de inflamación consiste en una cabeza de encendido eléctrico Vulcan, con cables conductores, del tipo corrientemente utilizado para encender las sustancias pirotécnicas. Pueden utilizarse cabezas de encendido con características equivalentes.

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

2.6 Los cables de la cabeza de encendido se seccionan a una longitud tal que la cabeza de encendido se encuentre situada 10 mm por encima de la parte superior del cono del tapón de activación (véase la figura A7.1). Los cables de la cabeza de encendido se mantienen en posición utilizando tornillos sin cabeza (véase la figura A7.3).

3. Procedimiento

3.1 El aparato montado, con su transductor de presión pero sin cerrar por el disco de ruptura de aluminio, se coloca en su soporte con el tapón de activación hacia abajo. Se introducen 0,5 g de la sustancia en el cono del tapón de activación. Cuando la masa de la sustancia pirotécnica, en su forma compacta, es superior a 0,5 g, se arranca un fragmento de ella para que la masa se aproxime lo más posible a 0,5 g. Cuando la masa de la sustancia pirotécnica, en su forma compacta, es inferior a 0,5 g, se añaden trozos enteros y fragmentos para obtener 0,5 g de sustancia pirotécnica. Se colocan en posición la arandela de plomo y el disco de ruptura de latón o aluminio, y después se atornilla fuertemente el tapón. El aparato cargado se introduce en su soporte, con el disco de ruptura hacia arriba, y el conjunto se coloca en una cámara blindada adecuada con salida de humos o en una cámara de tiro. Se conecta una dínamo a los terminales externos del tapón de activación, y se prende fuego a la carga. La señal emitida por el transductor de presión se registra con un sistema apropiado que permita tanto analizar los fenómenos rápidos como obtener un registro permanente de la curva presión/tiempo (grabadora de señales transitorias acoplada a una grabadora en banda de papel).

3.2 La prueba se realiza tres veces. Se observa el tiempo necesario para que la presión aumente de 690 kPa a 2.070 kPa por encima de la presión atmosférica. El intervalo más corto de las tres igniciones se utiliza para la clasificación.

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

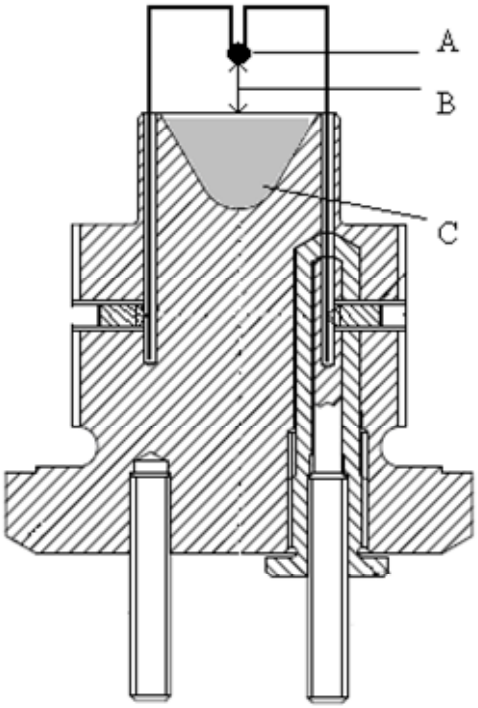
Para evaluar los resultados de la prueba, se determina si se ha alcanzado la presión manométrica de 2.070 kPa y, en caso afirmativo, el tiempo que se necesitó para que la presión aumentase de 690 kPa a 2.070 kPa. Las sustancias pirotécnicas en forma de polvo o como unidades pirotécnicas, tal como se presentan en los fuegos artificiales, que se utilizan para producir un efecto sonoro o como carga explosiva o carga propulsora, se consideran como composiciones detonantes si el tiempo mínimo necesario para que aumente la presión es inferior o igual a 8 ms para 0,5 g de materia pirotécnica.

Ejemplos de resultados

Sustancia	Presión máxima (kPa)	Tiempo medio de la subida de presión de 690 a 2.070 kPa (ms)	Resultados
1	> 2.070	0,70	Composición detonante
2	> 2.070	4,98	Composición detonante
4	> 2.070	1,51	Composición detonante
5	> 2.070	0,84	Composición detonante
6	> 2.070	11,98	No es composición detonante

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura A7.1



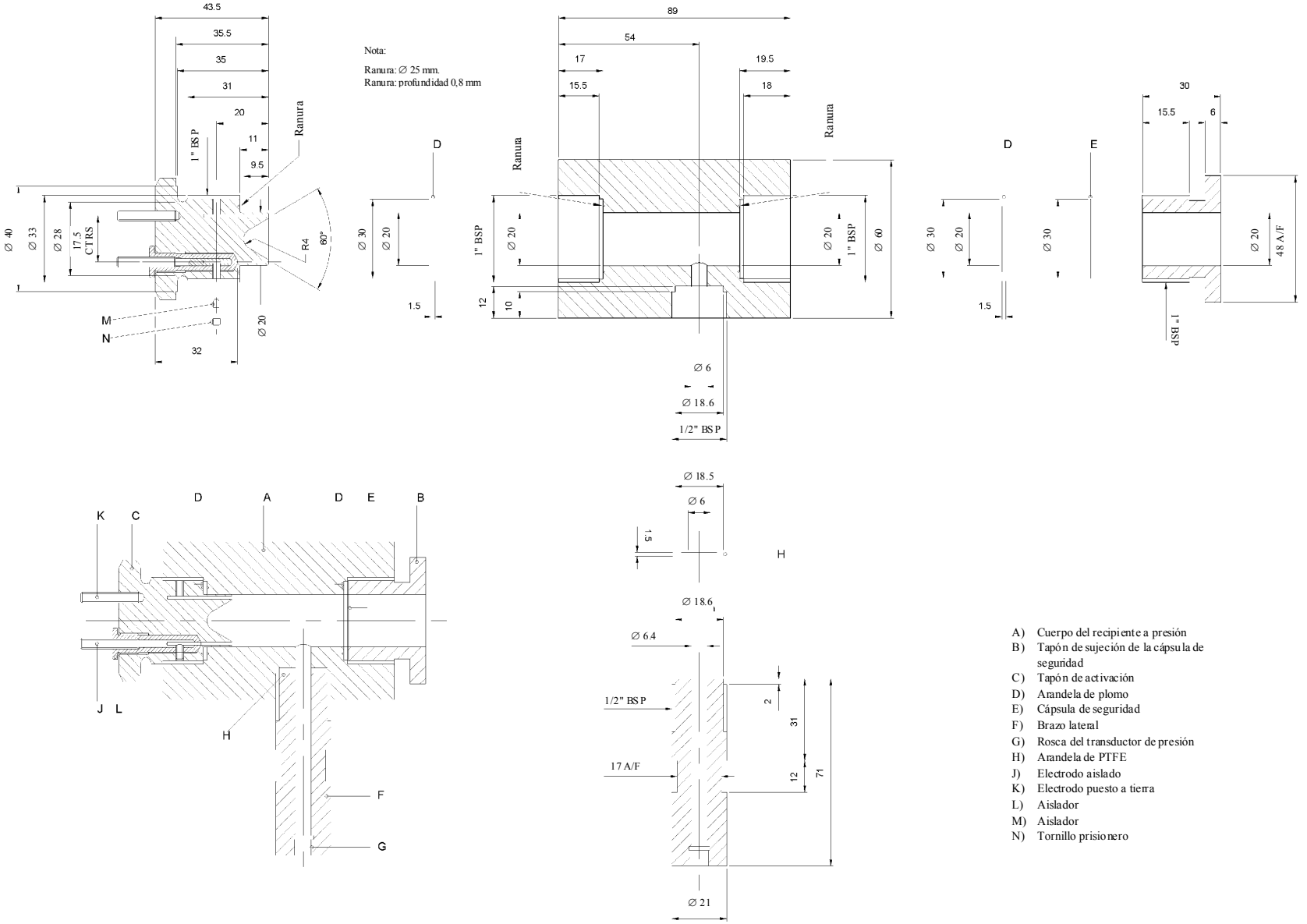
A) Cabeza de encendido

B) Distancia de 10 mm

C) Sustancia sometida a prueba

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

Figura A7.2: APARATO



A) Cuerpo del recipiente a presión
B) Tapón de sujeción de la cápsula de seguridad
C) Tapón de activación
D) Arandela de plomo
E) Cápsula de seguridad
F) Brazo lateral
G) Rosca del transductor de presión
H) Arandela de PTFE
J) Electrodo aislado
K) Electrodo puesto a tierra
L) Aislador
M) Aislador
N) Tornillo prisionero

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

ETAPA DE MAQUINADO Y DE MONTAJE

1. Atornillar JN0003490:B2 en el cuerpo del tapón de activación
2. Atornillar JN0003490:A2 en JN0003490:B2
3. Perforar y aterrajar un orificio M3 * 0,5 P * 7
4. Fileteear el tapón de activación (fileteado cilíndrico) a 1 pulgada BSP (Tubería Británica Estándar)

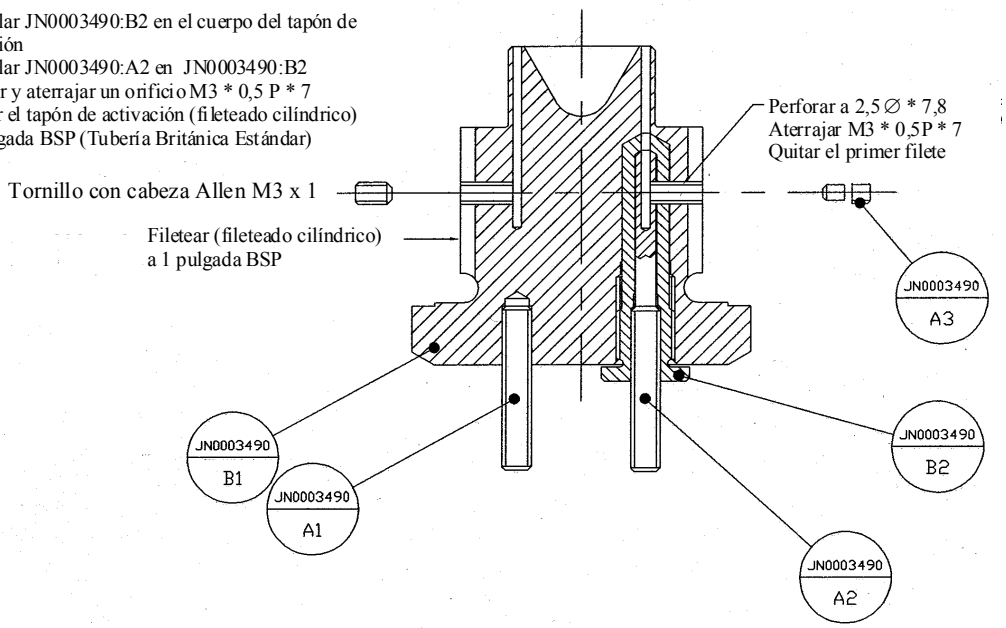


Figura A7.3: MONTAJE

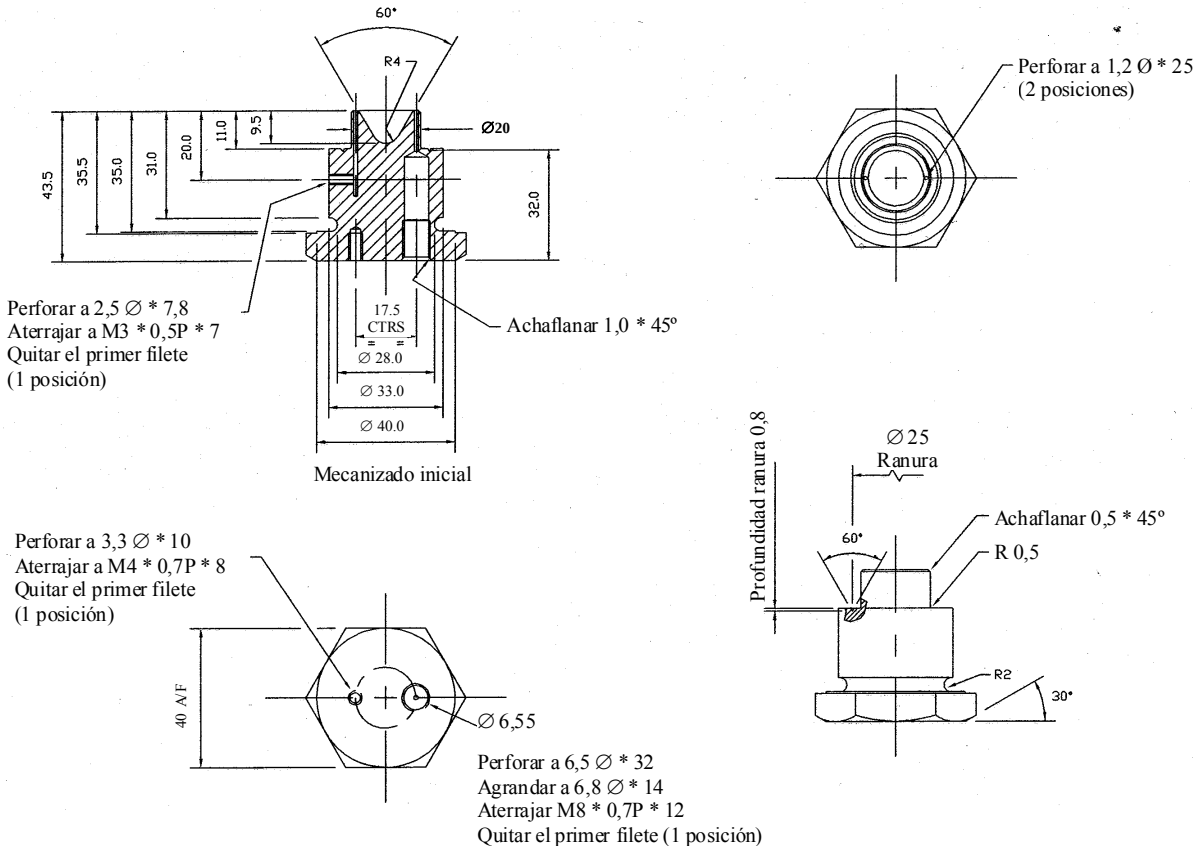


Figura A7.4: PARTE B1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

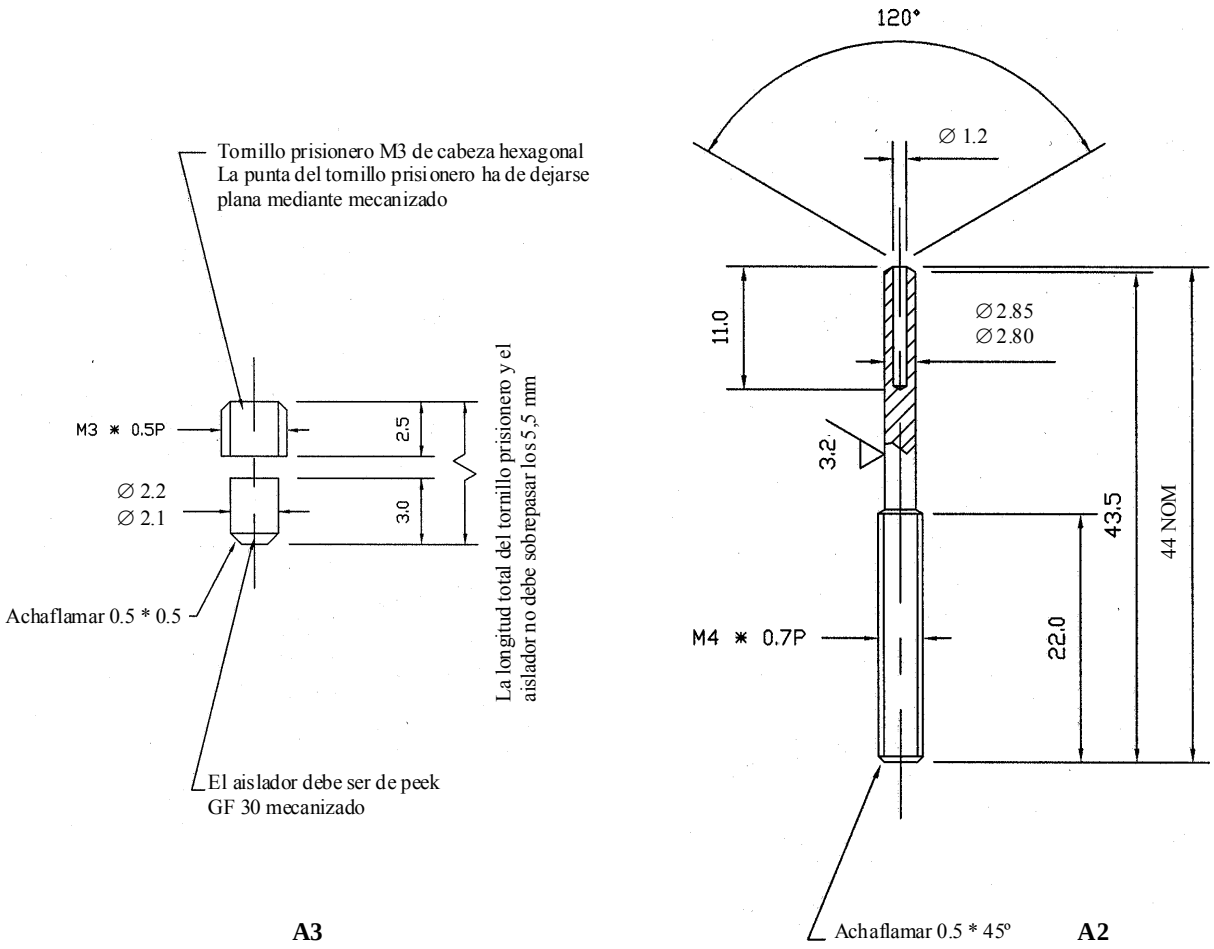


Figura A7.5: PARTES A3 Y A2

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

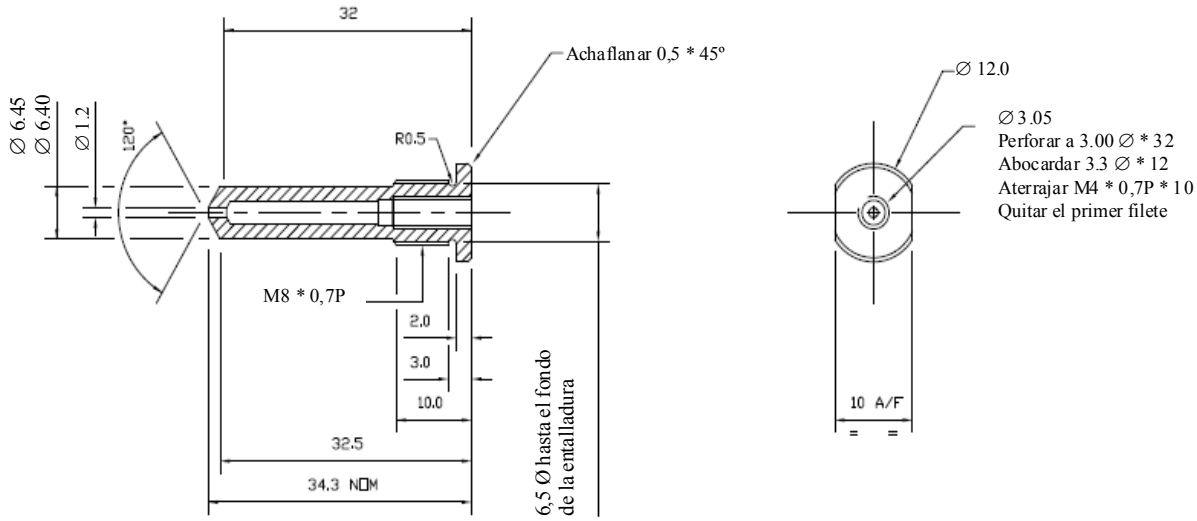


Figura A7.6: PARTE B2

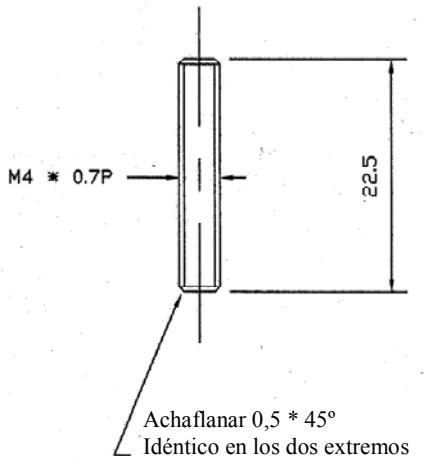


Figura A7.7: PARTE A1

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

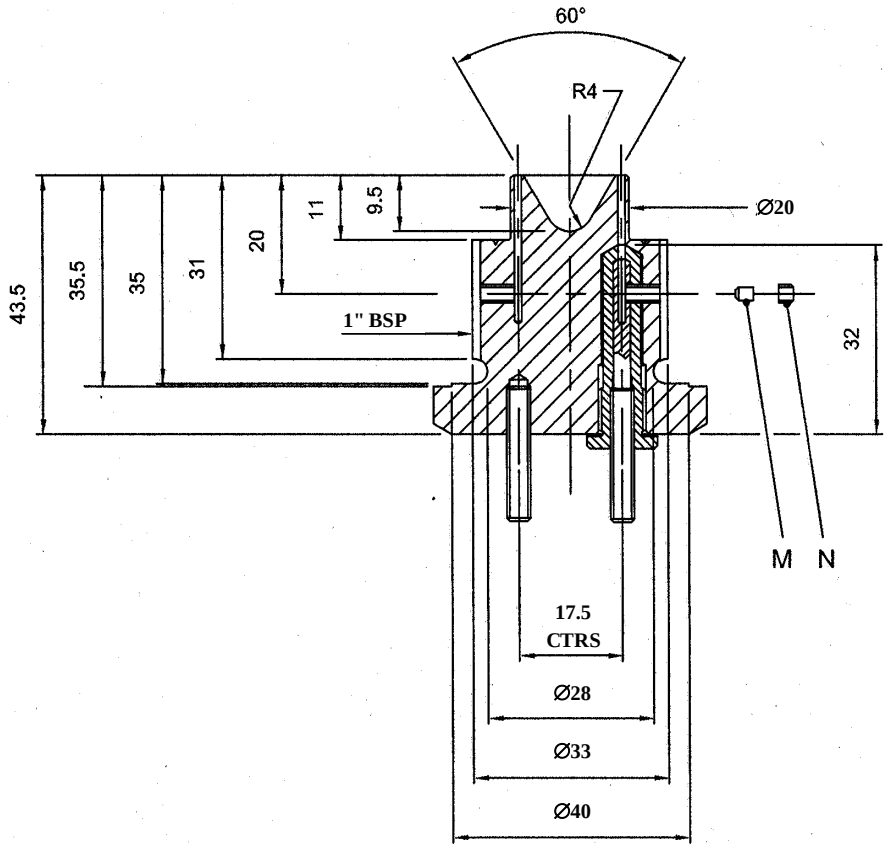


Figura A7.8: CONO COLOCADO EN EL TAPÓN

Copyright © Naciones Unidas, 2009. Quedan reservados todos los derechos

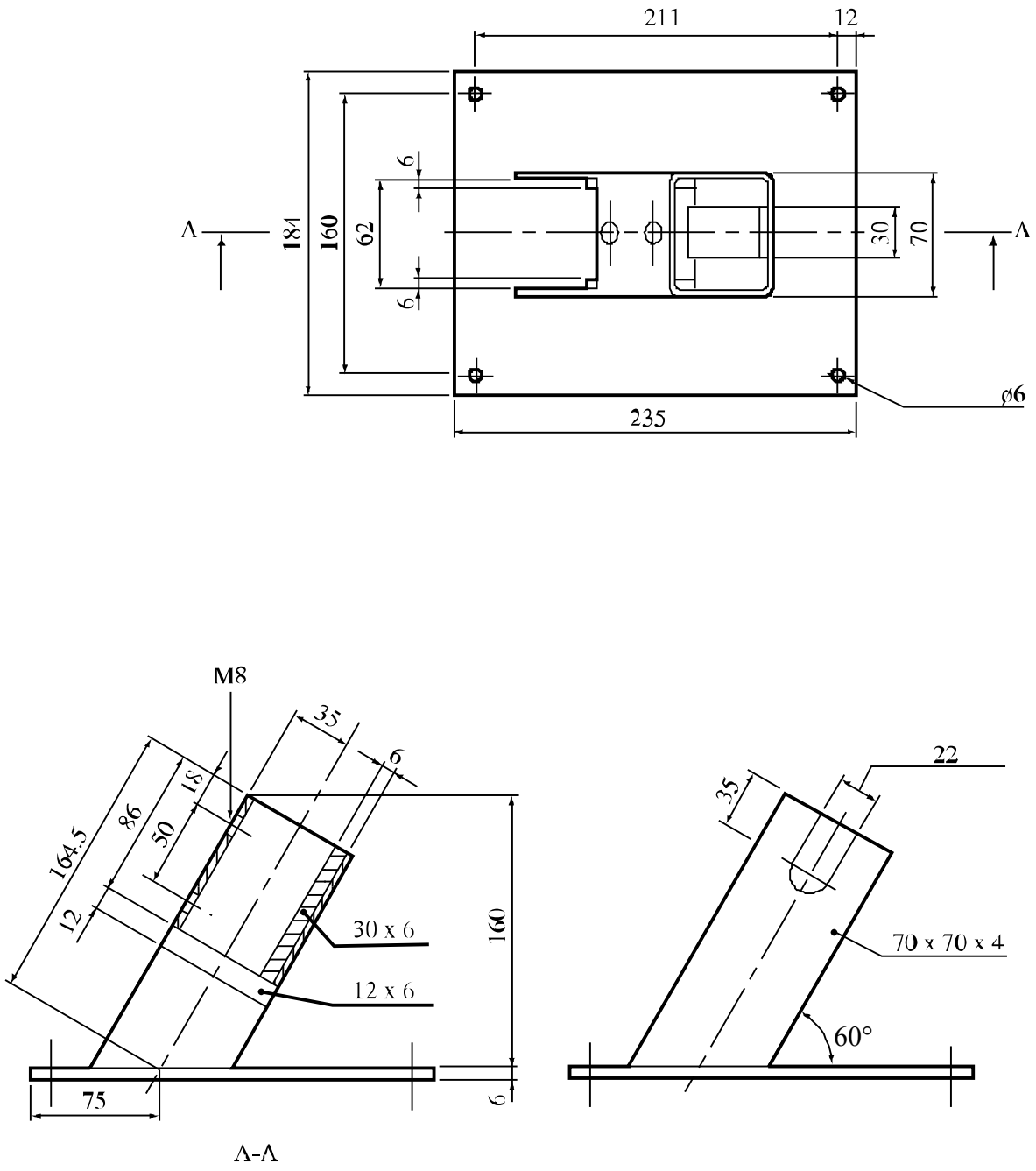


Figura A7.9: SOPORTE