



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



# **TRABAJO FIN DE GRADO**

## **ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES EXPLOSIVOS**

Normative study and design of a Laboratory of Tests of Explosive Materials

**REALIZADO POR:** JOSE LUIS HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ  
**DIRIGIDO POR:** ANDRÉS PERALES AGÜERA

Universidad Politécnica de Cartagena  
Escuela de Ingeniería Civil y Minas  
Grado en Ingeniería de Recursos Minerales y Energía

Última revisión: **29 de Noviembre de 2017**

---

## ÍNDICE GENERAL

---

### DOCUMENTO N°1: ESTUDIO NORMATIVO

#### 1. FINALIDAD DEL TRABAJO

- 1.1. RESUMEN..... pg. 6
- 1.2. ALCANCE..... pg. 6

#### 2. ESTUDIO NORMATIVO

- 2.1. LISTADO GENERAL DE LAS DIFERENTES NORMATIVAS..... pg. 7
- 2.2. NORMATIVA PARA LOS ENSAYOS NORMALIZADOS..... pg. 8
- 2.3. NORMATIVA PARA LA MANIPULACIÓN DE MATERIALES  
EXPLOSIVOS ..... pg. 68
- 2.4. NORMATIVA PARA EL TRANSPORTE POR CARRETERA DE  
MATERIALES EXPLOSIVOS..... pg. 71

#### 3. PROGRAMA DE ACTIVIDADES

- 3.1. DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD TÉRMICA..... pg. 78
  - 3.2. DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD AL ROZAMIENTO..... pg. 80
  - 3.3. DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD AL IMPACTO..... pg. 83
  - 3.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AGUA..... pg. 85
  - 3.5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA PRESIÓN  
HIDROSTÁTICA..... pg. 89
  - 3.6. DETERMINACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE LA DETONACIÓN. pg. 91
  - 3.7. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD..... pg. 95
  - 3.8. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DETONACIÓN..... pg. 97
  - 3.9. DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE GASES TÓXICOS..... pg. 101
  - 3.10. VERIFICACIÓN DE LOS MEDIOS DE INICIACIÓN..... pg. 103
  - 3.11. PRUEBA DE TRAUZL..... pg. 105
  - 3.12. PRUEBA ABEL A 80°C..... pg. 109
  - 3.13. TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN EN NITROCELULOSAS,  
PÓLVORAS Y EXPLOSIVOS..... pg. 111
  - 3.14. MÉTODO LUNGE..... pg. 113
  - 3.15. ENSAYO PARA LA MEDIDA DE LA ESTABILIDAD A LA LLAMA..pg. 117
  - 3.16. MÉTODO DE HESS.....pg. 118
  - 3.17. ENSAYOS DE EXPLOSIVOS EN EL PÉNDULO BALÍSTICO..... pg. 120
  - 3.18. ENSAYO DE EXUDACIÓN PARA LAS DINAMITAS..... pg. 122
-

---

## ÍNDICE GENERAL

### DOCUMENTO Nº2: DISEÑO DEL LABORATORIO

<b>4. ESTRUCTURA DEL LABORATORIO.....</b>	<b>pg. 125</b>
4.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO.....	pg. 125
PLANO 1: UBICACIÓN DEL LABORATORIO.....	pg.127
PLANO 2: SITUACIÓN ADMINISTRATIVA.....	pg. 129
PLANO 3: SITUACIÓN OROGRÁFICA.....	pg. 131
PLANO 4: DISTRIBUCIÓN GENERAL.....	pg. 133
PLANO 5: DISTRIBUCIÓN DE LOS POLVORINES.....	pg. 135
PLANO 6: DISEÑO DE LA CASETA DE VIGILANCIA.....	pg. 137
PLANO 7: DISTRIBUCIÓN DE LOS LABORATORIOS....	pg. 139
4.2. LISTADO DEL MOBILIARIO BÁSICO Y EQUIPOS DEL LABORATORIO.....	pg. 141
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>pg. 143</b>

---

# DOCUMENTO N°1 ESTUDIO NORMATIVO

## 1. FINALIDAD DEL TRABAJO

El presente documento tiene como objeto el estudio normativo y el diseño de un laboratorio de ensayos de materiales explosivos de uso civil, con la finalidad de ser presentado y expuesto como Trabajo Fin de Grado (TFG) del alumno José Luis Hernández Rodríguez, estudiante de la Universidad Politécnica de Cartagena en el Grado de Ingeniería de Recursos Minerales y Energía.

### 1.1. RESUMEN

Estudio de la normativa a considerar para la realización de ensayos normalizados con materiales explosivos rompedores de uso civil, así como las limitaciones en su almacenamiento y transporte. En el TFG se expone, además, una propuesta de diseño para el laboratorio que albergaría los ensayos estudiados.

La ubicación utilizada como referencia para dicho diseño tiene su ubicación catastral en el Polígono 52, Parcela 45, de la Sierra G. de Cartagena (Murcia). Las instalaciones se encontrarían encofradas en una zona geodinámica estable; el laboratorio de materiales explosivos ocuparía el lugar en el que se encontraba la antigua fábrica de explosivos *Río Tinto*, terrenos aún sin recalificar y que no han sido aprovechados para ninguna otra clase de actividad industrial en la actualidad.

Las coordenadas exactas de la ubicación utilizada expresadas en el sistema geodésico mundial de 1984 (WGS 84) son:

- Latitud: 37° 35' 34,937"
- Longitud: 0° 55' 20.542"

El acceso al laboratorio utiliza los mismos accesos por carretera que el complejo industrial de Escombreras, dado que garantizan un transporte seguro de la mercancía.

### 1.2. ALCANCE

#### 1.2.1. ESTUDIO NORMATIVO

Estudio de los equipos y procedimientos para la realización de ensayos normalizados con materiales explosivos rompedores de uso civil, incluyendo el estudio de la normativa aplicable durante su almacenamiento, transporte interno y por carretera.

#### 1.2.2. OPERATORIA

Descripción de la operatoria ligada a la realización de los ensayos normalizados especificados.

#### 1.2.3. INSTALACIONES

Diseño y distribución de las instalaciones necesarias para desarrollar las actividades objeto de este proyecto.

---

## 2. ESTUDIO NORMATIVO

### 2.1. LISTADO GENERAL DE LAS DIFERENTES NORMATIVAS

#### 2.1.1. NORMATIVA NECESARIA PARA LLEVAR A CABO LOS ENSAYOS NORMALIZADOS:

- **UNE-EN 13631-1.** “Requisitos”.
- **UNE-EN 13631-2.** “Determinación de la estabilidad térmica”.
- **UNE-EN 13631-3.** “Determinación de la sensibilidad al rozamiento”.
- **UNE-EN 13631-4.** “Determinación de la sensibilidad al impacto”.
- **UNE-EN 13631-5.** “Determinación de la resistencia al agua”.
- **UNE-EN 13631-6.** “Determinación de la resistencia a la presión hidrostática”.
- **UNE-EN 13631-7.** “Determinación de la fiabilidad a temperaturas extremas”.
- **UNE-EN 13631-10.** “Verificación de los medios de iniciación”.
- **UNE-EN 13631-11.** “Determinación de la transmisión de la detonación”.
- **UNE-EN 13631-12.** “Especificaciones de los multiplicadores”.
- **UNE-EN 13631-13.** “Determinación de la densidad”.
- **UNE-EN 13631-14.** “Determinación de la velocidad de detonación”.
- **UNE-EN 13631-15.** “Cálculo de las propiedades termodinámicas”.
- **UNE-EN 13631-16.** “Detección y medición de gases tóxicos”.
  
- **UNE 31-001.** “Ensayo de explosivos en bloque de plomo: Prueba de Trauzl”.
- **UNE 31-002.** “Cálculo de las características teóricas de los explosivos”.
- **UNE 31-003.** “Ensayo de la estabilidad de los explosivos: Prueba Abel a 80°C”.
- **UNE 31-011.** “T<sup>a</sup> de inflamación de nitrocelulosas, pólvoras y explosivos”.
- **UNE 31-015.** “Determinación del nitrógeno de los explosivos: Método Lunge”.
- **UNE 31-019.** “Ensayo para la medida de la estabilidad a la llama”.
- **UNE 31-023.** “Determinación del poder rompedor: Método de Hess”.
- **UNE 31-302.** “Ensayo de explosivos en el péndulo balístico”.
- **UNE 31-303.** “Ensayo de exudación de las dinamitas”.

#### 2.1.2. NORMATIVA A TENER EN CUENTA PARA LA MANIPULACIÓN DE MATERIALES EXPLOSIVOS:

- **RGNBSM: ITC 10-0-01.** “Normas generales”.
- **RGNBSM: ITC 10-1-01.** “Almacenamiento”.
- **RGNBSM: ITC 10-0-02.** “Transportes interiores”.

#### 2.1.3. NORMATIVA PARA EL TRANSPORTE POR CARRETERA DE LOS MATERIALES EXPLOSIVOS:

- **R.D. 230/1998.** “Reglamento de Explosivos”.

#### 2.1.4. OTRAS NORMATIVAS A TENER EN CUENTA:

- **UNE-EN 13857-1.** “Terminología”.
  - **UNE-EN ISO/IEC 17025.** “Requisitos que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración”.
-

## 2.2. NORMATIVA PARA LOS ENSAYOS NORMALIZADOS

En todo el complejo se aplicará la normativa europea de ensayos normalizados con materiales explosivos rompedores de uso civil de acuerdo al Reglamento Interior de CEN/CENELEC, exponiendo en el presente documento un estudio normativo previo referente a la norma vigente durante el año de la elaboración del proyecto, la normativa podemos encontrarla listada en el punto anterior.

Para el propósito del estudio normativo son aplicables los términos y definiciones incluidos en la norma EN 13857-1:2003, los procedimientos y condiciones especiales que permiten ampliar los intervalos de temperatura fiables para cada ensayo incluidos en la norma EN 13631-7, las especificaciones de los multiplicadores que sean necesarios incluidas en la norma EN 13631-12, los cálculos de las propiedades termodinámicas necesarias en los ensayos incluidos en la norma EN 13631-15, los cálculos de las principales características teóricas de los explosivos incluidos en la norma EN 31-002.

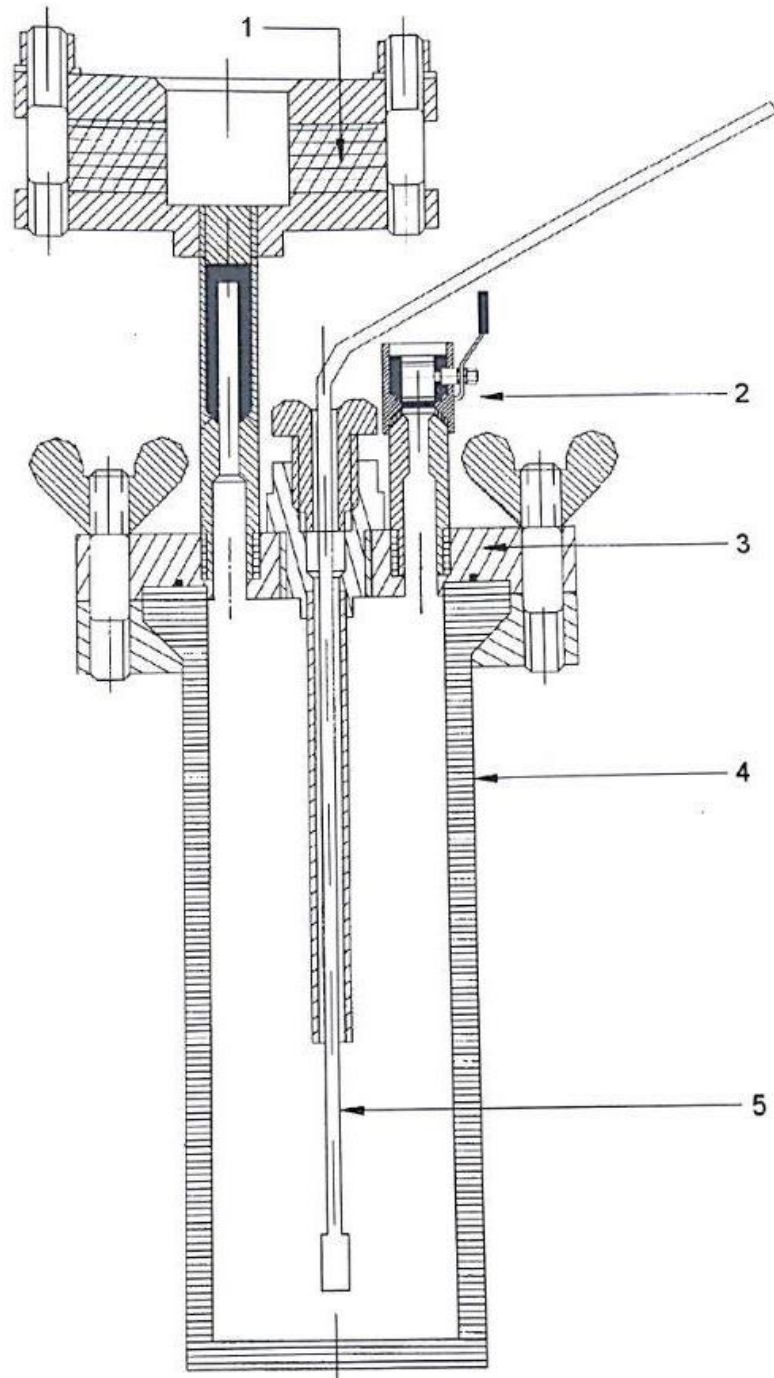
### 2.2.1. UNE-EN 13631-2

Esta norma europea especifica un método para evaluar la estabilidad de los explosivos rompedores de uso civil sometidos a unas condiciones térmicas elevadas.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Estufa: Capaz de ser mantenida a 75°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) por control remoto, equipada con un sistema de ventilación apropiado y termostatos duales para prevenir accidentes en caso de avería.
  - Balanza: Precisión mínima de  $\pm 0,1$  g.
  - Termopares: Serán necesarios tres, inertes a las sustancias sometidas a ensayo.
  - Sistema de registro de temperatura: Precisión mínima de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
  - Tubos de ensayo: Dos de base plana, con un diámetro interno de 50,5 mm ( $\pm 0,5$  mm), una longitud de 150 mm aproximadamente y un espesor de 3 mm aproximadamente. El tubo que contiene la sustancia sometida a ensayo tendrá un cierre estanco para los gases, con un punto débil constituido por un disco de rotura calibrado a 60 kPa o bien un dispositivo de medición de presión continua con los medios de ventilación adecuados.
  - Material de referencia: Muestra de 300g en el mismo estado físico que el de la sustancia a ensayar, estable a la temperatura de ensayo.
-





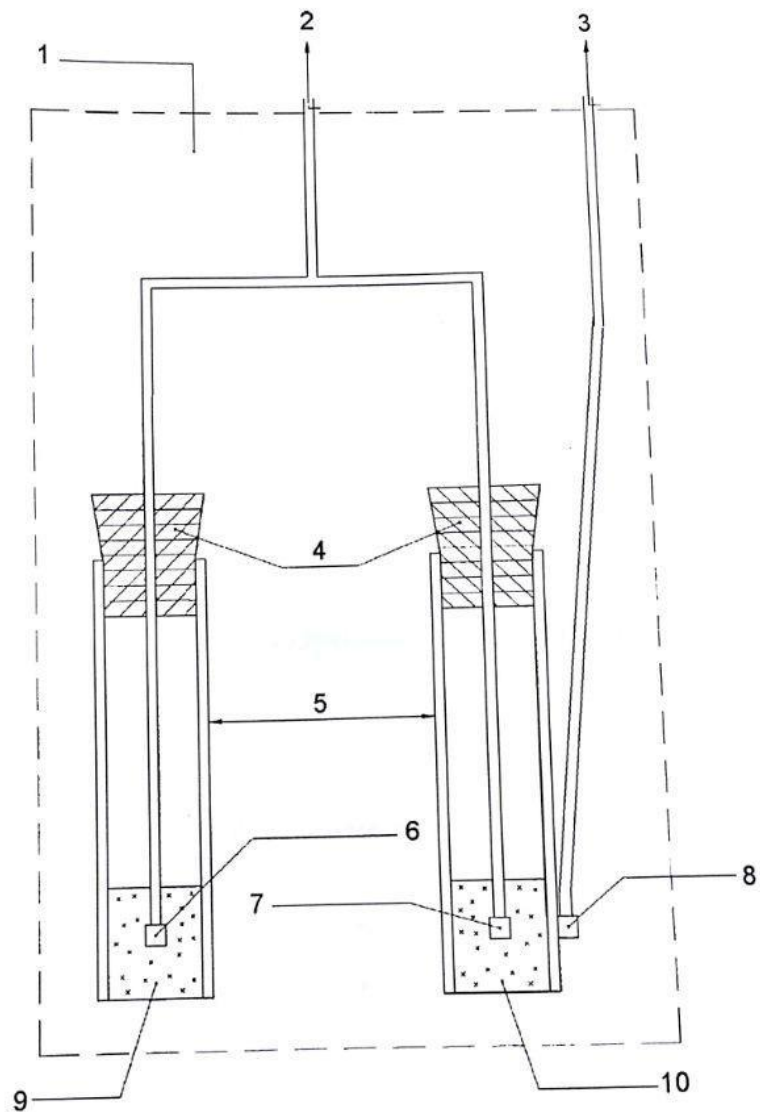
**Leyenda**

- 1 Disco de rotura
- 2 Válvula de salida
- 3 Dispositivo de cierre
- 4 Tubo de ensayo
- 5 Termopar

Fig. 1: Ejemplo de tubo de cristal, equipado con un dispositivo de cierre con un disco de rotura.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se prepara la muestra, que en caso de ser líquida tendrá un volumen de 100 ml ( $\pm 4$  ml), cuyas partículas superiores a 4 mm (si las hubiera) se desmenuzará antes de ser ensayadas. Los sólidos compactos deben ensayarse en forma de bloques cilíndricos con un diámetro de 49 mm y una longitud de 50 mm ( $\pm 1$  mm); dicha muestra tendrá un taladro para albergar el termopar, cuyo diámetro no excederá los 0,3 mm y su profundidad lo situará a 2 mm del centro del bloque. Los sólidos granulares se ensayan sin compactar.
  2. Se ajusta la temperatura del horno a 75°C ( $\pm 2$ °C) y se pesa uno de los tubos de ensayo vacíos.
  3. Si no se dispone de información sobre el comportamiento teórico térmico de la sustancia, este ensayo se ejecutará previamente con una muestra de 5 g para determinar si explota a 75°C, en caso contrario, se coloca la muestra a ensayar en un tubo de ensayo que hemos pesado.
  4. Pesamos de nuevo el tubo de ensayo, esta vez conteniendo la muestra para determinar su masa y obtener su densidad de carga.
  5. Se pasan los cables del termopar 1 a través del dispositivo de cierre, de manera que la unión del termopar quede a unos 2 mm del centro de la muestra de ensayo.
  6. Se colocan 100 ml ( $\pm 2$  ml) de la sustancia de referencia en el otro tubo de ensayo, utilizando el procedimiento descrito anteriormente, pero esta vez no es necesario pesarlo.
  7. Se inserta el termopar 2 en su interior de la misma manera que se colocó el termopar 1 y se cierra el tubo.
  8. Se coloca el termopar 3 en el segundo tubo por fuera, a la misma altura que los otros termopares.
  9. Los dos tubos se colocan en el interior de la estufa, separados unos 10 cm como mínimo. Los termopares se conectan al sistema de registro de temperaturas, que se pondrá en funcionamiento. Los termopares 1 y 2 registrarán las temperaturas de la muestra y el termopar 3 la temperatura ambiente en el interior del horno.
  10. Al alcanzar la temperatura de 75°C, se libera la presión y se continúa el ensayo durante 48 horas, a menos que exista alguna anomalía, en cuyo caso se dará el ensayo por finalizado.
  11. Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025, constando como resultado "Ninguna reacción" cuando el ensayo sea positivo o "Reacción" cuando haya presentado algún tipo de inestabilidad durante el mismo.
  12. Se apaga el horno y se examina la muestra después de que se haya enfriado, se pesa para determinar si hay pérdida de masa.
-



**Leyenda**

- 1 Estufa
- 2 Hacia (T1-T2)
- 3 Hacia (T3)
- 4 Dispositivo de cierre
- 5 Tubo de ensayo
- 6 Termopar 1 (T1)
- 7 Termopar 2 (T2)
- 8 Termopar 3 (T3)
- 9 Sustancia sometida a ensayo (100 ml)
- 10 Sustancia de referencia (100 ml)

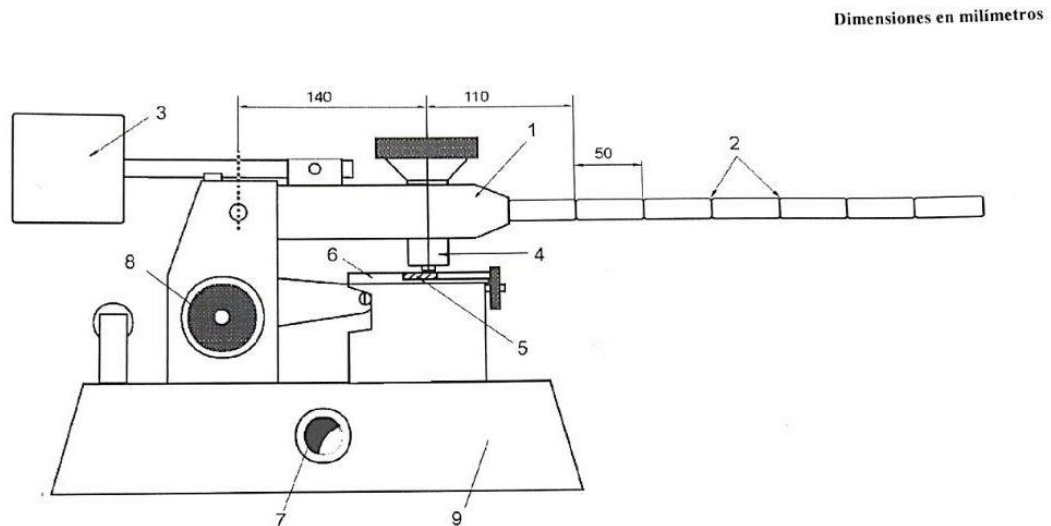
Fig. 2: Montaje del equipo.

### 2.2.2. UNE-EN-13631-3

Esta norma europea especifica un método para evaluar la sensibilidad al rozamiento de los materiales explosivos rompedores de uso civil.

En el ensayo se utilizará la presión de un punzón de cerámica que se situará sobre una carga específica, mientras, la placa en la que se asienta dicha carga produce un movimiento y como consecuencia, se genera un rozamiento entre el punzón y el material a ensayar. Es importante tener en cuenta que este método no es aplicable a productos líquidos.

El equipo especificado para la ejecución del ensayo es un dispositivo completamente normalizado cuyas especificaciones vienen indicadas en la norma. Consiste en una base de acero fundido sobre la que se monta de forma segura el dispositivo de rozamiento, como se muestra en la Fig. 1.



#### Leyenda

- 1 Brazo pivotante
- 2 Muecas
- 3 Contrapeso
- 4 Carro para el punzón de porcelana
- 5 Placa de porcelana
- 6 Carro móvil para la placa de porcelana
- 7 Interruptor
- 8 Volante de ajuste manual
- 9 Base de acero fundido

Fig. 1 – Equipo de ensayo de rozamiento

- Dispositivo de carga: Consiste en un brazo pivotante con seis muescas en uno de los lados, un contrapeso en el otro lado y un carro para el punzón de porcelana, ajustando el contrapeso se hace el reglaje para la condición de carga cero. El punzón cilíndrico de porcelana se fabrica con porcelana técnica blanca y sus extremos rugosos son redondeados, tal y como se indica en la Fig. 2.

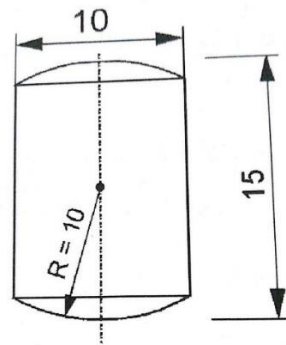


Fig. 2 – Punzón de porcelana

- **Carro móvil:** Se desliza sobre dos raíles y sostiene una placa de porcelana sobre la que se coloca la sustancia a ensayar.
- **Placas de porcelana:** Se fabrica con porcelana técnica blanca de acuerdo a la norma EN 60672-3:1997, subgrupo C 111 y, antes de su cocción en el horno, las dos superficies se frota minuciosamente en una única dirección con una esponja para hacerlas rugosas. Sus dimensiones son 5 mm de alto, 25 mm de ancho y 25 mm de largo.
- **Motor y transmisión:** El motor se conecta a través de una leva excéntrica y una transmisión adecuada al carro móvil. Se pone en funcionamiento con un interruptor localizado en la parte frontal del equipo. La transmisión permite al carro desplazarse hacia delante y hacia detrás una distancia de 10 mm ( $\pm 2$  mm) en cada dirección. Un ensayo consiste en un movimiento en cada dirección, y tanto el motor como la transmisión tienen que estar ajustados para que el carro se mueva hacia delante y hacia detrás 140 veces por minuto ( $\pm 3$ ) cuando el interruptor se pone en modo de funcionamiento.

El procedimiento operativo puede ser peligroso debido a que el roce del punzón y la porcelana puede producir chispas cuando no hay sustancias entre estos dos elementos, así que los ensayos deberían ser vigilados con muchas precauciones.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se prepara la muestra según su estado físico como bien indica la UNE-EN 13631-4.
2. La placa de porcelana se debe fijar sobre el carro, de manera que los surcos dejados por las marcas de la esponja sean transversales a la dirección del movimiento.
3. Se fija el punzón de porcelana al carro en el dispositivo de carga.
4. Se coloca la sustancia a ensayar sobre la placa y se coloca el punzón sobre la muestra de manera que cuando la placa se mueva, la muestra se desplace bajo el punzón.

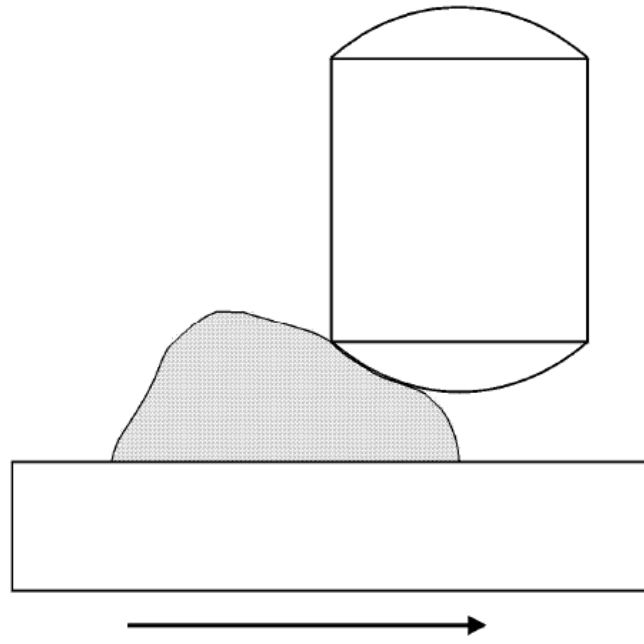
5. Se ajustan los pesos sobre el dispositivo de carga. El primer ensayo se hará a 360 N, siguiendo la relación de pesos especificados en la tabla 1.

**Tabla 1**  
**Cargas posibles para el dispositivo de carga (en N)**

Peso n°	Muesca n°					
	1	2	3	4	5	6
1	5	6	7	8	9	10
2	10	12	14	16	18	20
3	20	24	28	32	36	40
4	30	36	42	48	54	60
5	40	48	56	64	72	80
6	60	72	84	96	108	120
7	80	96	112	128	144	160
8	120	144	168	192	216	240
9	180	216	252	288	324	360

6. Se acciona el interruptor una vez y se observa el comportamiento de la sustancia bajo el ensayo, tras lo que se clasificará como “Reacción” o “Sin reacción”.
  - 6.1. En caso de observar alguna reacción, se continúa el ensayo con cargas más bajas de forma escalonada hasta que no se observe ninguna reacción, siguiendo la relación de pesos citados en la tabla 1. Una vez alcanzada la carga aparentemente no reactiva, se repetirá cinco veces más el ensayo para asegurarse de que no se produce reacción alguna.
  - 6.2. Sí en la primera prueba con 360 N no se observa ninguna reacción, se repetirá el ensayo cinco veces más y de mantenerse sin reacción, se considerará a la sustancia como insensible al rozamiento.
7. Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-3.

La norma también indica la importancia de utilizar únicamente una vez cada parte de la superficie de la placa y el punzón. Los dos extremos del punzón se pueden utilizar para una prueba cada uno y las dos superficies de rozamiento de la placa se puede utilizar para tres pruebas cada una. Se muestra un esquema en la Fig. 4.



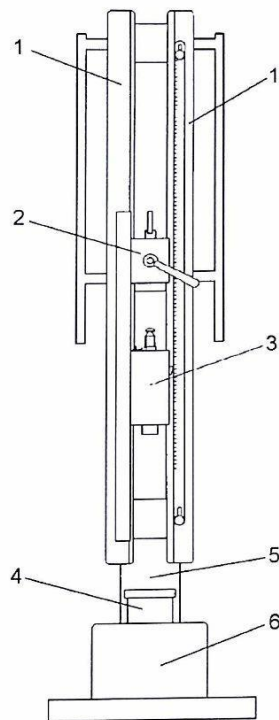
**Fig. 4 – Dirección del punzón de porcelana antes de la puesta en marcha del motor**

### 2.2.3. UNE-EN-13631-4

Esta norma europea especifica un método para determinar la sensibilidad al impacto de los explosivos rompedores de uso civil.

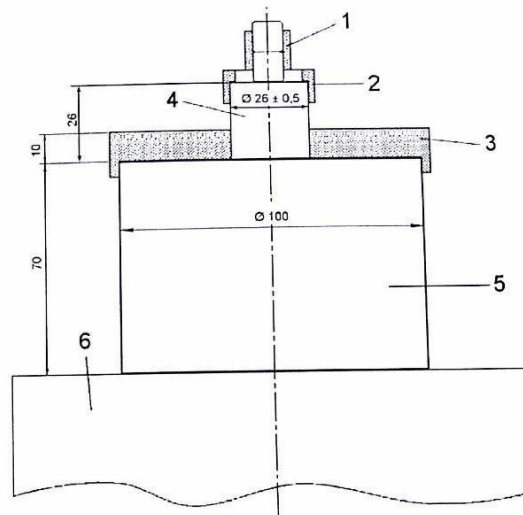
Un peso de masa conocida se deja caer sobre una muestra de explosivo que está confinada de manera que, durante el impacto, no se aplica ninguna fricción significativa sobre el explosivo.

El equipo especificado para la ejecución del ensayo es un dispositivo completamente normalizado cuyas especificaciones vienen indicadas en la norma.



**Leyenda**

- 1 Guías
- 2 Dispositivo de escape
- 3 Martillo
- 4 Yunque
- 5 Columna
- 6 Bloque de acero



**Leyenda**

- 1 Dispositivo de impacto
- 2 Anillo de centrado
- 3 Placa de centrado
- 4 Yunque intermedio
- 5 Yunque
- 6 Bloque de acero

Fig. 1: Esquema del equipo BAM

Fig. 2: Parte inferior del equipo BAM

- **Equipo de ensayo:** Consiste en un bloque de acero fundido con una base, un yunque, una columna, unas guías, un martillo con un dispositivo de escape y un dispositivo de impacto. El equipo deberá estar firmemente asegurado a un bloque de cemento con unas dimensiones mínimas de 0,6 m x 0,6 m x 0,6 m, por medio de cuatro anclajes, siendo las guías verticales. Habrá una caja de protección de madera, con un revestimiento interno de protección y una mirilla de observación rodeando al equipo hasta el nivel de la traviesa inferior de las guías.

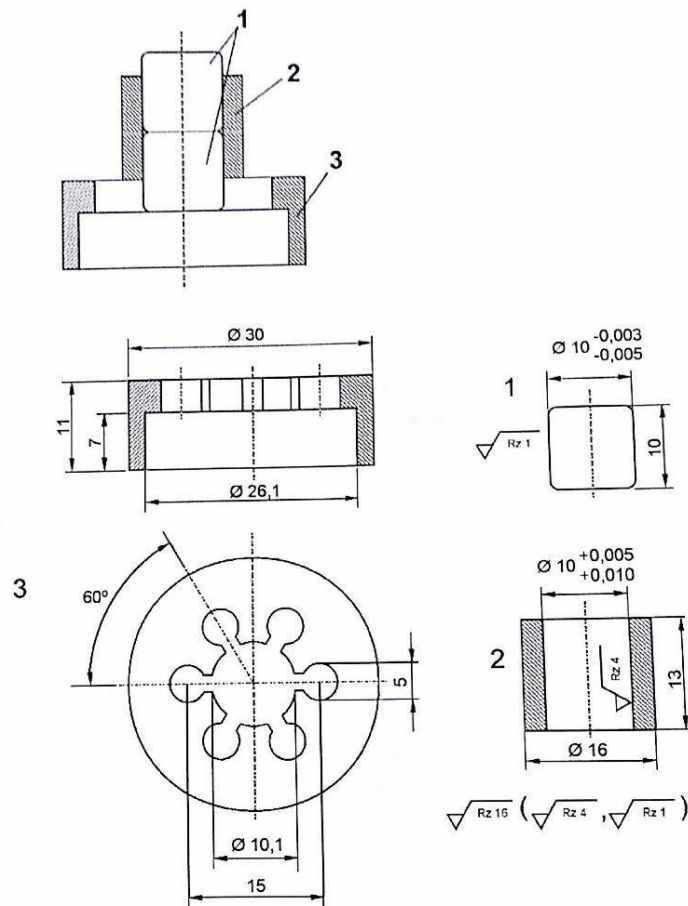


- **La columna:** Está fabricada con un tubo de acero estirado sin costuras, se encuentra atornillada al soporte por la parte trasera.
- **Guías:** Las dos guías se encuentran fijadas a la columna por medio de tres traviesas que disponen de un bastidor engranado para limitar el rebote del martillo, además de una escala graduada móvil dispuesta para ajustar la altura de la caída. La altura de caída debe tener una exactitud de  $\pm 5$  mm. El mecanismo de escape del martillo es ajustable entre las guías y debe estar sujeta a ellas mediante una tuerca de mariposa con dos mordazas.
- **Yunque de acero:** Atornillado al bloque de acero y a la base. El acero utilizado para el yunque es del tipo 90 MnCrV 8 (EN ISO 4957, dureza HRC de 60).
- **Martillos:** Serán tres, de 1 kg, 5 kg y 10 kg de masa. Cada martillo dispondrá de dos ramas de centrado para mantenerlo entre las guías a medida que cae. Se atornillarán a cada martillo una espiga de suspensión, una cabeza percutora cilíndrica retirable y un dispositivo contra rebotes. La cabeza percutora debe estar fabricada en acero endurecido del mismo tipo que el acero del yunque, con un diámetro mínimo de 25 mm. Tendrá un reborde para evitar que sea forzado al interior del martillo por el impacto. La altura en relación con el peso del martillo tienen como resultado una energía de impacto tal como muestra la tabla expuesta a continuación:

**Tabla 1**  
Combinación de la altura de caída, masa del martillo y las energías de impacto resultantes

Altura de caída cm	Masa del martillo kg	Energía de impacto J
10	1	1
20	1	2
30	1	3
40	1	4
50	1	5
15	5	7,5
20	5	10
30	5	15
40	5	20
50	5	25
60	5	30
35	10	35
40	10	40
50	10	50

- **Dispositivo de impacto:** Consiste en dos cilindros de acero coaxiales, uno encima del otro, en un anillo guía cilíndrico y hueco de acero. Los cilindros son huecos de acero para rodamientos, con superficies pulidas y bordes redondeados.



**Legenda:**

- 1 Cilindros de acero
- 2 Collar guía
- 3 Anillo de centrado

Fig. 3: Partes del dispositivo de impacto y sus dimensiones.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se preparará la muestra dependiendo su estado físico como bien indica la norma UNE-EN 13631-4.
2. Se coloca el martillo apropiado y el dispositivo de escape a la altura de caída requerida y se fija el dispositivo de escape a las guías.
3. Se coloca el dispositivo de impacto en el anillo de centrado sobre el yunque intermedio sin el cilindro de acero superior.
  - 3.1. Se colocan las muestras sólidas directamente sobre el dispositivo de impacto. Se coloca el cilindro de acero superior en el dispositivo de impacto y se presiona suavemente hasta que toque la muestra, lo que se conoce por una resistencia perceptible, para anotar la altura entre el cilindro superior y el collar. Se evitará el aplastamiento de la muestra en la medida de lo posible. En los siguientes ensayos se tomará la misma altura que en el inicial.

- 3.2. Se colocan las muestras líquidas en el dispositivo de manera que la ranura entre el cilindro de acero inferior y el anillo guía quede llena. Se baja cuidadosamente el cilindro de Acero superior hasta que su cara inferior esté 2 mm por encima del cilindro inferior. Se mantiene en esa posición con un anillo toroidal de goma. Si el efecto de la capilaridad ocasiona que la muestra exude alrededor de la parte superior del collar, se limpia el montaje y se introduce otra muestra.
  4. Se coloca centrado el dispositivo de ensayo lleno sobre el yunque intermedio y se cierra la caja de madera de protección.
  5. Se comienza el ensayo con una energía de impacto de 0,1 J, esto es con un peso de 5 kg y una altura de 20 cm, se deja caer el martillo y se observa el comportamiento de la muestra.
  6. Según el resultado del ensayo se determinará como “Reacción” o “Ninguna reacción” el resultado del ensayo.
    - 6.1. Si se observa alguna reacción se repetirá el ensayo escalonadamente con la siguiente energía de impacto más baja hasta que no se observe ninguna reacción. Con este nivel de energía repetiremos cinco veces más el ensayo.
    - 6.2. Si no se observa ninguna reacción se repetirá el ensayo escalonadamente con la siguiente energía de impacto mayor hasta que se observe alguna reacción, repitiendo cinco veces el ensayo con el peso del último ensayo que no reaccionó. Si se llega a 50 J en el ascenso escalonado de ensayos, se repetirá cinco veces más dicho ensayo a esta energía de impacto.
  7. Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-4.
-

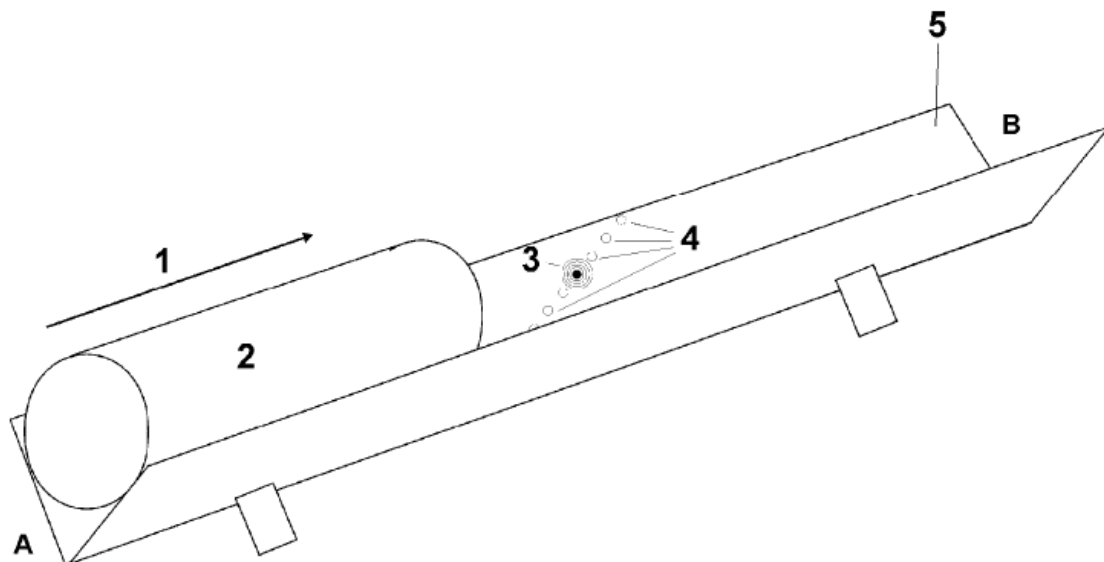
### 2.2.4. UNE-EN-13631-5

Esta norma europea especifica un método para determinar la resistencia al agua de los explosivos rompedores de uso civil a granel o encartuchados, diseñados para ser utilizados en voladuras bajo condiciones húmedas.

A no ser que el fabricante declare que la composición del explosivo es intrínsecamente resistente al agua, el material de recubrimiento debe someterse a un ensayo preliminar.

Ensayos preliminares para explosivos encartuchados:

- **Equipo:** Compuesto por una guía en forma de V fabricada en aluminio u otro material similar, de al menos 500 mm más larga que el cartucho y con agujeros de 2 mm de separación entre sí para la colocación de una clavija que quedará perpendicular al eje de la guía. La clavija está fabricada en acero inoxidable, con un ángulo de cono de 45° y una altura de 5 mm.



#### Leyenda

- 1 Dirección de empuje
- 2 Cartucho de explosivo
- 3 Clavija en posición
- 4 Agujeros para la clavija
- 5 Guía

Fig. 1 – Guía en forma de V y cartucho

Los agujeros están localizados a unos 500 mm aproximadamente del extremo B de la guía, y al menos a una distancia igual a la de la longitud del cartucho respecto al extremo A. La parte superior de la clavija tendrá 5 mm de longitud. Podemos ver un esquema de la clavija en la Fig. 2, que aparece en la siguiente página.

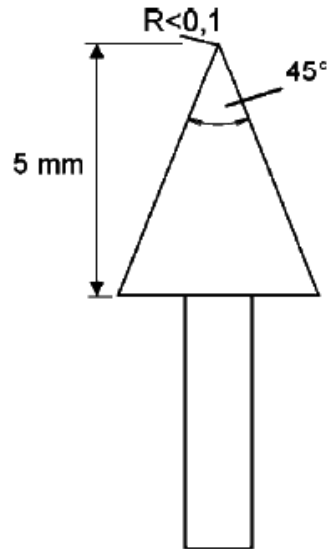


Fig. 2 – Clavija de acero

Ensayo preliminar para explosivos encartuchados:

1. La guía se coloca horizontalmente sobre una mesa.
2. Se coloca un cartucho en la guía de manera que uno de sus extremos esté en línea con el extremo A de la guía.
3. En función del diámetro del cartucho, se coloca la clavija en uno de los agujeros, de manera que esté en línea con el área del cartucho que toca la guía.
4. Se empuja el cartucho a lo largo de la guía hacia el extremo B. No se aplica ninguna fuerza vertical.
5. Se rota 90° el cartucho y se repite el ensayo hasta que se obtengan cuatro marcas de la clavija.
6. Se repite este procedimiento con un total de tres cartuchos.
  - 6.1. Se inspeccionan las marcas muy cuidadosamente y se determina si hay alguna perforación visible. Si no hay ninguna perforación del recubrimiento, se asume que es una parte integral de la resistencia al agua del producto. En ese caso, la resistencia al agua del explosivo se debe determinar utilizando el cartucho tal y como se suministra en el mercado.
  - 6.2. Si hay alguna perforación del recubrimiento, no se asume que es una parte integrante de la resistencia al agua del explosivo. En este caso, la resistencia del explosivo se debe determinar utilizando muestras de ensayo que consistirán en cartuchos modificados mediante el corte de perforaciones.

Los cartuchos utilizados en los ensayos preliminares no se utilizarán en ensayos posteriores.

Una vez terminados los ensayos preliminares (en caso de que hubieran sido necesarios) se pasará al ensayo de resistencia al agua.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Tanque de agua: Debe permitir una inmersión en el agua fácil y completa de las muestras de ensayo. La altura del tanque debe ser suficiente como para contener agua con una profundidad de, al menos, 200 mm más que el diámetro de la muestra de ensayo. En el caso de un tanque de agua tubular, su diámetro debe ser de, al menos, el doble de diámetro de la muestra de ensayo.
- Medios de evaluación de la detonación completa, tal y como se especifica en la norma europea EN-13631-14.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

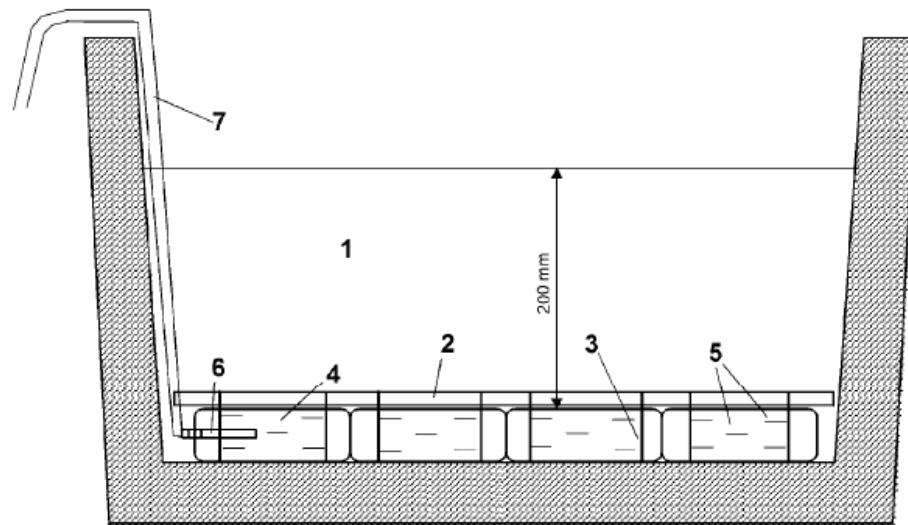
1. Se preparará la muestra dependiendo de si el explosivo se encuentra encartuchado o a granel. Para el primer caso, sí el fabricante declara que la composición del explosivo es intrínsecamente resistente al agua, entonces se deben perforar todos los cartuchos de la muestra de ensayo, que deberán tener una longitud total de, al menos, 0,5 m; cada perforación deberá tener aproximadamente 20 mm de longitud, 0,5 mm de anchura y 5 mm de profundidad. El número de perforaciones tiene que ser tal que haya una perforación por cada 30  $cm^2$  de superficie y estar uniformemente distribuidas por toda la circunferencia. Para el caso del explosivo a granel se preparará una muestra de explosivo representativa, que se introduce en bolsas de plástico con perforaciones. Las bolsas deberán tener el diámetro más pequeño para el que está previsto el uso del explosivo, tal y como declare el fabricante, siendo su longitud, al menos, diez veces su diámetro. Las características de las perforaciones son las mismas que para los explosivos encartuchados.

Según el estado de confinamiento del explosivo, se seguirá un procedimiento diferente para el ensayo de resistencia al agua.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo con explosivos encartuchados tras la preparación de la muestra (o punto 1):

2. Se fija longitudinalmente la muestra de ensayo con una varilla de madera o metálica. Si la muestra de ensayo está formada por dos o más cartuchos, no debe haber huecos visibles entre ellos.
  3. Se prepara para la iniciación la muestra de ensayo según especifique el fabricante de los explosivos en términos de capacidad de iniciación, según la norma EN-13631-10.
  4. Se sumerge la muestra de ensayo en agua entre 20°C y 30°C, con una profundidad de 200 mm. Se inicia la muestra de ensayo al cabo de cinco horas.
  5. Si los cartuchos son demasiado grandes para el método de ensayo descrito, se puede utilizar un tanque tubular de plástico de la longitud adecuada como contenedor. En ese caso, la muestra de ensayo debe tener una longitud igual a diez veces su diámetro. Se inserta la muestra de ensayo en el tubo orientado verticalmente, se prepara la iniciación con los medios descritos en el punto 2 de este procedimiento y se llena el tubo con agua entre 20°C y 30°C, hasta que la parte superior del tubo quede cubierta como mínimo por 200 mm de agua, iniciando la muestra al cabo de cinco horas.
-

6. Finalmente, para ambos casos se evalúa si ha tenido lugar una detonación completa.



Leyenda:

- 1 Agua
- 2 Varilla de madera
- 3 Cable
- 4 Cartucho
- 5 Perforaciones
- 6 Detonador
- 7 Hilo conductor

Fig. 3 – Montaje para el ensayo de explosivos encartuchados

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo con explosivos a granel tras la preparación de la muestra (o punto 1):

2. Se coloca la muestra de ensayo en una tubería de plástico, con un diámetro interno que sea el doble del diámetro de la bolsa.
3. Se prepara para la iniciación la muestra de ensayo según especifique el fabricante de los explosivos en términos de capacidad de iniciación, según la norma EN-13631-10.
4. Se inicia la muestra de ensayo al cabo de cinco horas.
5. Con precaución se recupera la muestra.
6. Se evalúa si ha tenido lugar una detonación completa.

Una vez completado el ensayo, haya sido con un explosivo encartuchado o a granel, se tendrá en cuenta el siguiente caso:

7. Si los métodos descritos anteriormente no son adecuados, el explosivo se debe ensayar utilizando un barreno en una cantera o mina. El diámetro del barreno debe ser el que utiliza normalmente para acomodar el diámetro de la muestra de ensayo o, para el caso de explosivos a granel, el diámetro mínimo recomendado

por el fabricante del producto. El barreno debe estar al menos 3 m por debajo del nivel freático del agua. Tras eliminar el agua, el barreno se rellenará en un plazo de 60 minutos como máximo. Se carga el barreno con el explosivo sometido a ensayo y se prepara para el disparo de forma normal. Se esperará cinco horas más el tiempo necesario para el llenado del barreno y se iniciará la carga.

8. Finalmente se evaluará si ha tenido lugar una detonación completa y se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-5.

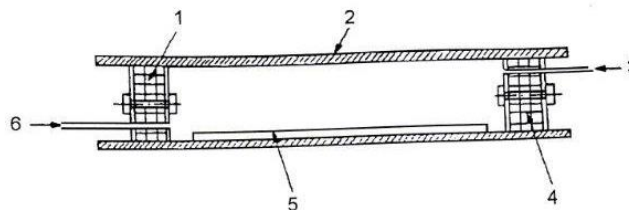


### 2.2.5. UNE-EN-13631-6

Esta norma europea especifica un método para determinar la capacidad para detonar de los explosivos de uso civil mientras están sometidos a presión hidrostática.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

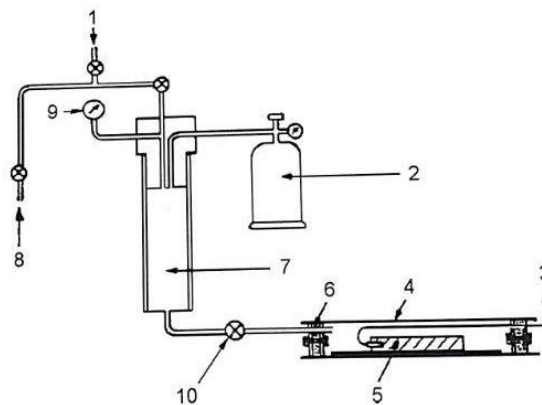
- Tubo de disparo: Fabricado con un material que sea capaz de resistir la presión hidrostática máxima aplicada durante el ensayo. La longitud y anchura del tubo debe ser tal que el cartucho y el sistema testigo se puedan cargar fácilmente, además debe disponer un sistema para purgar aire.
- Sistema de presión: Produce la presión hidrostática necesaria para el ensayo.



Leyenda

- 1 Sello
- 2 Tubo de disparo
- 3 Cables eléctricos
- 4 Sello
- 5 Testigo
- 6 Tubería de entrada de agua

Fig. 1 – Tubo de disparo



Leyenda

- 1 Válvula de escape
- 2 Aire comprimido
- 3 Cables eléctricos
- 4 Tubo de disparo
- 5 Cartucho de explosivo
- 6 Sello
- 7 Agua bajo presión
- 8 Entrada de agua
- 9 Manómetro
- 10 Válvula A

Fig. 2 – Ejemplo de un sistema de presión

- Sello estanco al agua: Dispuesto en cada extremo del tubo de disparo, incorpora aperturas estancas para la tubería de entrada de agua y los cables eléctricos para el sistema de iniciación. Cuando se monten, el tubo de disparo y los sellos deben ser capaces de aguantar la presión hidrostática máxima aplicada durante el ensayo.
- Sistema testigo
- Medios de iniciación: Según especifique el fabricante del explosivo de acuerdo a la norma UNE-EN 13631-10 y siempre que sean capaces de funcionar a la presión hidrostática que se vaya a aplicar.
- Medios de medición de temperaturas: Exactitud de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se prepara la muestra, que en caso de explosivos encartuchados se ensayarán tres unidades que tengan el diámetro mínimo puesto en el mercado para su uso. Para los explosivos a granel se ensayarán tres cartuchos con un diámetro igual al diámetro mínimo del barreno especificado por el fabricante del producto, y con una longitud de cinco veces su diámetro.
  2. Se fija el cartucho al sistema testigo y se inserta el conjunto, junto con el iniciador, en el interior del tubo de disparo.
  3. Se cierra el tubo de disparo por ambos extremos, con la tubería de entrada de agua y los cables eléctricos en posición.
  4. Se llena completamente el tubo de disparo con agua.
  5. Se mide la temperatura del agua.
  6. Se aplica, como mínimo, la presión máxima especificada por el fabricante del explosivo, no superando el 5% del valor del mismo.
  7. Se mantiene la presión durante dos horas.
  8. Una vez transcurrido este tiempo, se desconecta o aísla el sistema de presión, manteniendo la presión hidrostática en el tubo de disparo.
  9. Se conectan los cables eléctricos y se inicia el iniciador.
  10. El ensayo se repite tres veces a menos que se produzca un fallo, en tal caso, se anota como resultado del ensayo "Fallo" y se da por terminado. Se elaborará un informe con los resultados que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.
-

### 2.2.6. UNE-EN-13631-11

Esta norma europea especifica un método para la determinación de la capacidad para transmitir la detonación de un explosivo rompedor de uso civil encartuchado.

La transmisión de la detonación se determina con la capacidad de transmitir la detonación entre dos o más cartuchos sin confinar y suspendidos axialmente, que tengan el mismo diámetro y estén separados por un espacio.

Cuando el fabricante declara que el explosivo necesita confinamiento para funcionar adecuadamente, la transmisión de la detonación se determina con la capacidad de transmitir la detonación entre dos cartuchos que tengan el mismo diámetro y estén separados por un espacio, confinados en un tubo de acero.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Soporte: Se utiliza para mantener los cartuchos, e incluirá una varilla de madera o metal u otro dispositivo que no afecte a la velocidad de detonación. Cuando sea necesario confinar el explosivo, el soporte debe mantener los cartuchos en el interior de un tubo de acero.
- Tubo de acero: La calidad del acero debe ser S 235, según la norma EN 10025. El diámetro interno del tubo debe ser tal que se pueda insertar en su interior el cartucho sin dejar un espacio anular innecesariamente grande entre el cartucho y el tubo, para evitar el efecto túnel. La relación entre el diámetro interno y el espesor de la pared es el siguiente.

**Tabla 1**  
**Dimensiones de los tubos de acero**

<b>Diámetro interno (mm)</b>	<b>Espesor de la pared (mm)</b>
17,3	2,0
22,9	2,0
29,1	2,3
37,2	2,6
43,1	2,6
54,5	2,9
70,3	2,9
82,5	3,2
107,1	3,6
131,7	4,0
159,3	4,5
206,5	6,3
260,4	6,3
309,7	7,1

- **Medios de iniciación:** Los especificados por el fabricante de los explosivos en términos de capacidad de iniciación de acuerdo con la norma 13631-10, apartado 5.1.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Preparación de las muestras, iniciadora y receptora, que deben ser cartuchos comerciales de igual diámetro y que se correspondan con el menor diámetro que se comercialice. Para asegurar una detonación estable, la longitud del cartucho será, al menos, de cinco veces el diámetro, pudiendo incrementarse según se necesite, tal y como se describe en la norma 13631-14.
2. Se separan los cartuchos una distancia determinada, medida entre los extremos de los cartuchos de extremo plano tal y como se muestra en Fig. 1. Para los cartuchos de extremos redondeados se colocan en contacto dichos extremos sin presionarlos, y se mueve el cartucho la distancia requerida, tal y como muestra la Fig. 2.

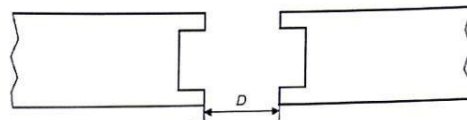


Fig. 1 – Medición de la separación para cartuchos de extremos planos

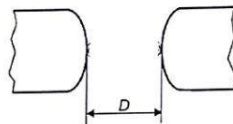
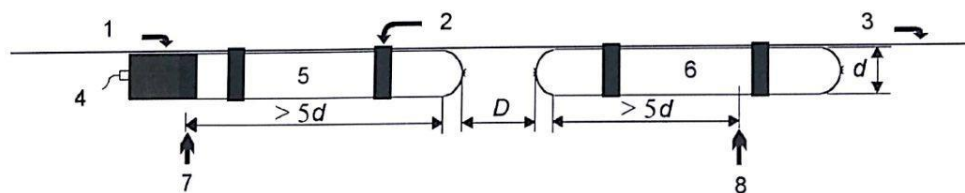


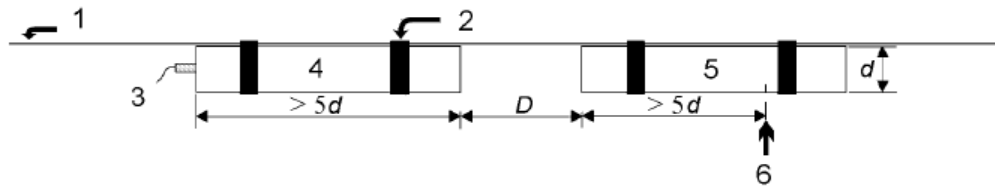
Fig. 2 – Medición de la separación para cartuchos de extremos redondeados



**Leyenda**

- 1 Multiplicador
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Soporte
- 4 Detonador
- 5 Cartucho iniciador
- 6 Cartucho receptor
- 7 Contacto entre el multiplicador y un cartucho con el extremo plano cortado
- 8 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación

Fig. 3 – Montaje del ensayo con explosivos no sensibles al cebo en cartuchos de extremos redondeados sin confinamiento

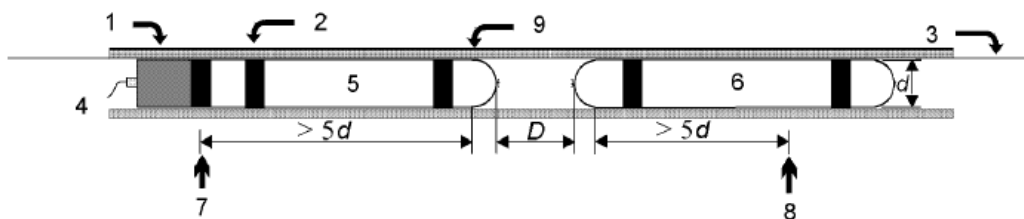


Leyenda

- 1 Soporte
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Detonador
- 4 Cartucho iniciador
- 5 Cartucho receptor
- 6 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación

Fig. 4 – Montaje del ensayo con explosivos sensibles al cebo en cartuchos de extremo plano y sin confinamiento

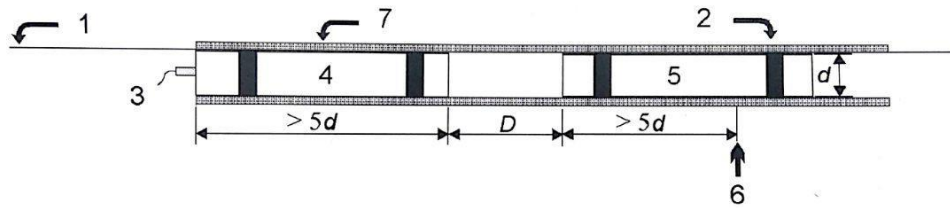
3. Los explosivos encartuchados para los que el fabricante declara que es necesario el confinamiento, se deben montar tal y como se muestra en la Fig. 5 para los explosivos no sensibles al cebo en cartuchos de extremos redondeados, y se deben mostrar tal y como se muestra en la Fig. 6 para explosivos sensibles al cebo en cartuchos de extremos planos.



Leyenda

- 1 Multiplicador
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Soporte
- 4 Detonador
- 5 Cartucho iniciador
- 6 Cartucho receptor
- 7 Contacto entre el multiplicador y un cartucho con el extremo plano cortado
- 8 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación
- 9 Tubo de acero

Fig. 5 – Montaje del ensayo con explosivos no sensibles al cebo en cartuchos de extremos redondeados y con confinamiento

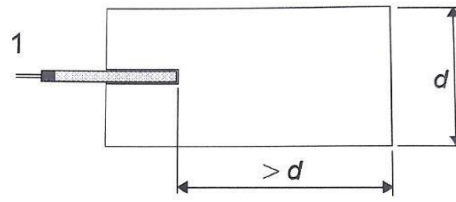


**Leyenda**

- 1 Soporte
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Detonador
- 4 Cartucho iniciador
- 5 Cartucho receptor
- 6 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación
- 7 Tubo de acero

**Fig. 6 – Montaje del ensayo con explosivos sensibles al cebo en cartuchos de extremos planos y con confinamiento**

4. Se mide la temperatura de la muestra.
5. Se atan coaxialmente los cartuchos al soporte con cinta adhesiva o cuerda.
6. Cuando el ensayo se lleva a cabo sin confinamiento, se suspende libremente el conjunto por encima del suelo tal y como se muestra en las figuras 3 y 4.
7. Se ceba el explosivo con un detonador o con un multiplicador de la potencia especificada por el fabricante en términos de capacidad de iniciación, de acuerdo con el apartado 5.1 de la norma EN 13631-10.
8. Se inserta el detonador en el primer cartucho o, si se utiliza un multiplicador, se inserta el detonador en el multiplicador como se muestra en la Fig. 7, y se ata dicho multiplicador al extremo plano del primer cartucho, que se debe cortar si es necesario. El diámetro del multiplicador debe ser inferior o igual al diámetro del cartucho.
9. Se dispara el cartucho iniciador y se detecta la detonación en el cartucho receptor mediante los medios adecuados.
10. Se incrementa o disminuye la separación entre los cartuchos a intervalos, según corresponda. El intervalo puede ser mayor al inicio y de 1 cm al final del proceso. No es necesario empezar con los cartuchos en contacto.
11. El resultado del ensayo es el valor máximo del diámetro a la que se transmite la detonación tres veces de tres intentos.
12. Se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.



Leyenda

- 1 Detonador insertado en una cavidad del multiplicador

**Fig. 7 – Ilustración del multiplicador con un detonador en su sitio**

### 2.2.7. UNE-EN-13631-13

Esta norma europea especifica métodos para determinar la densidad de los explosivos rompedores de uso civil, encartuchados o a granel.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Depósito: Contendrá un líquido inerte adecuado como el agua o la parafina en el que se podrá sumergir el cartucho.
- Termómetro: Exactitud de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- Balanza: Exactitud de  $\pm 0,5$  g. Para explosivos encartuchados deberá disponer de un gancho para poder colgar el cartucho.
- Tubo graduado: Capacidad de 250 ml o superior, capaz de medir con una exactitud de  $\pm 1$  ml.

Procedimiento especificado para la obtención de la densidad aparente del explosivo:

- Explosivos encartuchados: Se pesa el cartucho en el aire (masa  $M_1$ ). Se cuelga el cartucho del gancho y se suspende bajo la balanza, de forma que el cartucho quede totalmente sumergido en el depósito, sin que toque el fondo o las paredes laterales, y se vuelve a anotar su peso (masa  $M_2$ ). Se mide la temperatura del líquido y se calcula la densidad.
- Explosivos de fluencia suave: Se coloca un tubo graduado vacío en la balanza y se anota su masa (masa  $M_3$ ). Se introduce un mínimo de 50 g de la sustancia explosiva, se apelmaza ligeramente (para el caso de explosivos sólidos), se anota el volumen del tubo ( $V_1$ ), se vuelve a pesar el tubo y su contenido (masa  $M_4$ ).
- Explosivos sin fluencia suave: Como densidad aparente de los explosivos sin fluencia suave debe aceptarse la densidad real.

Cálculos necesarios para la obtención de la densidad aparente del explosivo cuando este se encuentra encartuchado:

Se calcula la densidad aparente del explosivo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M_1}{(M_1 - M_2)} \rho_L$$

donde

$\rho$  es la densidad aparente del explosivo, expresada en gramos por mililitro (g/ml);

$M_1$  es la masa del cartucho medida en el aire, expresada en gramos (g);

$M_2$  es la masa del cartucho medida cuando está sumergido en el líquido, expresada en gramos (g);

$\rho_L$  es la densidad del líquido utilizado a la temperatura medida, expresada en gramos por mililitro (g/ml).

---



Cálculos necesarios para la obtención de la densidad aparente del explosivo cuando este tiene fluencia suave:

Se calcula la densidad aparente del explosivo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M_4 - M_3}{V_1}$$

donde

$\rho$  es la densidad aparente del explosivo, expresada en gramos por mililitro (g/ml);

$M_3$  es la masa del tubo vacío, expresada en gramos (g);

$M_4$  es la masa del tubo y el explosivo, expresada en gramos (g);

$V_1$  es el volumen del explosivo, expresado en mililitros (ml).

Cálculos necesarios para la obtención de la densidad real del explosivo tanto en el caso de explosivos encartuchados, como aquellos sin fluencia suave:

Se calcula la densidad del explosivo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M_6 - M_5}{(V_3 - V_2)}$$

donde

$\rho$  es la densidad del explosivo, expresada en gramos por mililitro (g/ml);

$M_5$  es la masa del tubo con el líquido, expresada en gramos (g);

$M_6$  es la masa del tubo con el líquido y el explosivo, expresada en gramos (g);

$V_2$  es el volumen del líquido, expresado en mililitros (ml);

$V_3$  es el volumen del líquido con el explosivo, expresado en mililitros (ml).

### 2.2.8. UNE-EN-13631-14

Esta norma europea especifica un método para determinar la velocidad de detonación de explosivos rompedores de uso civil. El método es aplicable a explosivos rompedores para uso civil encartuchados o a granel.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Medios de iniciación: Los especificados por el fabricante del explosivo, de acuerdo con la norma europea 13631-10.
- Tubos de acero: Las dimensiones de los tubos de acero deben cumplir con la normal internacional ISO 4200:1991, tabla 1, intervalo de espesor escogido E. La tabla 1 de esta norma europea incluye un extracto de la susodicha.

**Tabla 1**  
**Dimensiones de los tubos de acero**

<b>Diámetro interno (mm)</b>	<b>Espesor de la pared (mm)</b>
17,3	2,0
22,9	2,0
29,1	2,3
37,2	2,6
43,1	2,6
54,5	2,9
70,3	2,9
82,5	3,2
107,1	3,6
131,7	4,0
159,3	4,5
206,5	6,3
260,4	6,3
309,7	7,1

- Termómetro: Para medir la temperatura ambiente y del explosivo, con una exactitud de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .
  - Equipo de medición: Con dos sensores y capaz de medir la velocidad del frente de detonación con una exactitud de 100 m/s.
-

**Procedimiento para preparar las probetas de los ensayos:**

Consiste en un cartucho o en una columna de cartuchos de longitud  $L$ , que tenga al menos la longitud necesaria para que pueda medir la velocidad de detonación más cinco veces el diámetro del cartucho.

Cuando la longitud de un cartucho individual sea menor a la especificada anteriormente, se preparará la probeta utilizando dos cartuchos. En caso de cartuchos recortados, el extremo de los dos cartuchos debería cortarse para formar una especie plana que no sea inferior al diámetro de la carga y los cartuchos deberían unirse juntándolos y asegurándolos con cinta adhesiva.

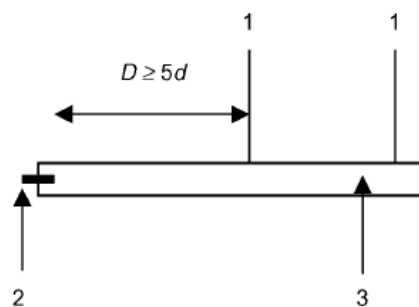
**Procedimiento para preparar la iniciación:**

Si la probeta consiste en más de un cartucho, se colocan los sensores en el lado opuesto desde el que se inicia la detonación. Se debe utilizar un confinamiento con tubos de acero cuando el explosivo (sin confinar) no proporcione una detonación estable para el diámetro de ensayo.

El diámetro interno del tubo de acero debería ser tal que el cartucho se pueda insertar sin que se deje un gran espacio anular innecesario entre el cartucho y el tubo para evitar el efecto túnel.

La distancia mínima entre los sensores debe ser de 100 mm y la distancia entre el primer sensor y el dispositivo de iniciación debe ser, al menos, cinco veces el diámetro de la carga.

Para iniciar con un detonador, se monta la probeta con el detonador insertado en uno de los extremos y los sensores en el otro, como se muestra en la siguiente figura.

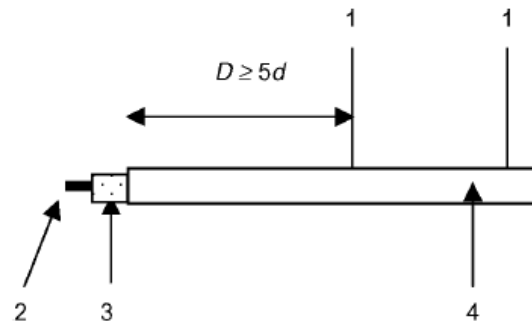


**Leyenda**

- $D$  Distancia entre el extremo del detonador y el primer sensor
- $d$  diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Sensores
- 2 Detonador
- 3 Explosivo a ensayar

Para iniciar con una carga iniciadora, se monta la probeta con el detonador y la carga de iniciación colocados en uno de los extremos y los sensores en el otro.

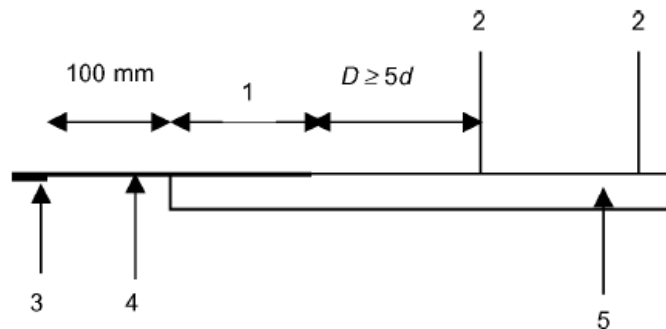
Para cartuchos recortados se debe cortar el extremo del cartucho para formar una superficie plana y se debe fijar la carga iniciadora. La siguiente figura muestra el montaje del iniciador y el explosivo:



**Leyenda**

- D* Distancia entre el extremo de la carga iniciadora y el primer sensor
- d* Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Sensores
- 2 Detonador
- 3 Carga iniciadora
- 4 Explosivo a ensayar

Para el montaje de la probeta con cordón detonante, seguiremos el siguiente esquema:



**Leyenda**

- D* Distancia entre el extremo del cordón detonante y el primer sensor
- d* Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Solapamiento
- 2 Sensores
- 3 Detonador
- 4 Cordón detonante
- 5 Explosivo a ensayar

El solapamiento entre el cordón detonante y el cartucho debe ser el especificado por el fabricante o el superior a 50 mm y dos veces el diámetro del cartucho. El cordón detonante debe mantenerse en contacto con el explosivo mediante cinta adhesiva.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se mide la temperatura del explosivo.
  2. Se inicia el explosivo.
  3. Se anota el tiempo que ha necesitado el frente de detonación para pasar entre los dos sensores.
  4. Se calcula la velocidad de detonación.
-

### 2.2.9. UNE-EN-13631-16

Esta norma europea especifica un método para la determinación de la cantidad de óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono producidos por la detonación de explosivos rompedores de uso civil en trabajos subterráneos.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Cámara de explosión: La cámara de explosión se debe diseñar para resistir las fuerzas que se generan durante la detonación de los explosivos rompedores, con un volumen mínimo de cámara de  $15 m^3$ . Se deben conocer las dimensiones reales de la cámara con una exactitud de  $\pm 2\%$ . La cámara debe estar equipada con un sistema de mezclado efectivo, para asegurar una atmósfera homogénea en la cámara pocos minutos después de la explosión. La cámara debe estar equipada con dispositivos para medir la temperatura ambiente y la presión en el interior de la cámara y debe tener aberturas de salida para el muestreo de gases. Cuando se utilice una cámara de flujo abierto, el volumen y la velocidad de flujo deben ser tales que se evite una pérdida significativa de humos.
- Equipo de análisis: Se debe utilizar un equipo de análisis adecuado para medir de forma continua la cantidad de CO, CO<sub>2</sub>, NO y NO<sub>2</sub> durante un periodo de 20 minutos.
- Equipo de extracción de gases: Se debe utilizar una bomba de aire y un dispositivo de medición de flujo de aire para extraer una muestra de gas de la cámara de explosión.
- Tubo: Un tubo de acero de gran espesor de pared (lo suficientemente resistente como para soportar un gran número de explosiones) con un diámetro interno de 150 mm y una longitud interna de 1400 mm.
- Medios de iniciación: Deben ser los especificados por el fabricante de acuerdo con la norma EN 13631-10.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se prepara la muestra, que será la de menor diámetro comercializado para el caso de los explosivos encartuchados, y que se entubará en tubos de vidrio para los explosivos a granel, con el diámetro mínimo de barreno especificado por el fabricante. La longitud mínima de la columna de explosivo debe ser de 700 mm o, como mínimo, siete veces el diámetro de la carga. La proporción mínima entre volumen de la cámara y masa del explosivo debe ser de 30 g/m<sup>3</sup> y no debe superar los 50 g/m<sup>3</sup>.
  2. Se debe anotar la cantidad de explosivo utilizado en cada disparo.
  3. Los cartuchos se deben fijar coaxialmente de manera que se asegure la transmisión de la detonación. No se debe utilizar ningún material combustible para centrar longitudinalmente y coaxialmente la carga.
  4. Se coloca la carga centralmente en el interior del tubo de acero y se dispara la carga.
  5. Se permite que los gases se mezclen durante 5 minutos.
-

6. Se inicia el muestreo de gas en la cámara de explosión. Se medirá la concentración de gas durante un periodo de 20 minutos.
7. El ensayo se debe repetir tres veces.
8. Finalmente, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.

La concentración de CO, CO<sub>2</sub> debe ser constante después de un periodo de mezclado inicial, siempre que la cámara de explosión sea lo suficientemente estanca para los gases. Puesto que los gases de NO y NO<sub>2</sub> tienen reacciones secundarias posteriores, la concentración medida se debe extrapolar para obtener la concentración inicial. La concentración inicial de cada componente que tiene nitrógeno se puede obtener haciendo un seguimiento de la correspondiente concentración en función del tiempo transcurrido desde la explosión y extrapolando la curva de resultados hasta el tiempo cero.

A partir de las concentraciones iniciales así determinadas, el volumen de la cámara y la cantidad de explosivo disparado, se debe calcular la cantidad de cada gas tóxico en litros por kilogramo de explosivo (a temperaturas y presiones normales).

### 2.2.10. UNE-EN-13631-10

Esta norma europea especifica un método para la verificación de la iniciación de un explosivo rompedor de uso civil mediante un sistema de iniciación especificado.

El explosivo se inicia mediante los medios especificados por el fabricante, es decir, detonador, multiplicador o cordón detonante. Entonces se evalúa la detonación midiendo la velocidad de la misma y comparándola con el valor declarado por el fabricante.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Medios de iniciación: Los especificados por el fabricante en términos de capacidad de iniciación de acuerdo con la norma EN 13631-12 y EN 13631-15.
- Tubos de acero: Se deben hacer taladros adecuados en el tubo para permitir la inserción de los sensores del equipo de medición utilizado para la determinación de la velocidad de detonación.

**Tabla 1**  
**Dimensiones de los tubos de acero**

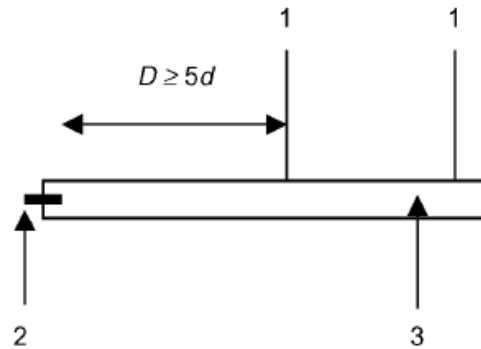
<b>Diámetro interno (mm)</b>	<b>Espesor de la pared (mm)</b>
17,3	2,0
22,9	2,0
29,1	2,3
37,2	2,6
43,1	2,6
54,5	2,9
70,3	2,9
82,5	3,2
107,1	3,6
131,7	4,0
159,3	4,5
206,5	6,3
260,4	6,3
309,7	7,1

- Equipo de medición de la velocidad de detonación: Según especifica la norma EN 13631-14.



Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo con detonadores:

1. La muestra debe consistir en cartuchos del diámetro más pequeño que se comercialice en caso de explosivos encartuchados, o confinado en un tubo del diámetro mínimo del barreno especificado por el fabricante del explosivo en caso de materiales a granel. La longitud, como mínimo, debe ser igual a la longitud necesaria para medir la velocidad de detonación, más cinco veces el diámetro del cartucho.
  - 1.1. Cuando la longitud de un cartucho individual sea inferior a la longitud necesaria, se preparará cada muestra juntando los cartuchos necesarios para cumplir este requisito.
2. Se colocan sensores al final de cada cartucho.
3. Para la iniciación con detonador se monta la muestra con el detonador colocado en el extremo contrario a los sensores, tal y como se muestra en la siguiente figura.



**Leyenda**

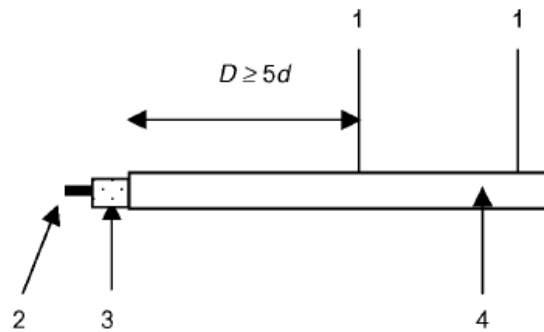
- $D$  Distancia entre el extremo del detonador y el primer sensor
- $d$  diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Sensores
- 2 Detonador
- 3 Explosivo a ensayar

Se utiliza confinamiento con tubos de acero cuando el explosivo no produce detonación en el ensayo sin confinamiento.

El diámetro interno del tubo de acero debe ser tal que el cartucho se pueda insertar sin dejar un espacio anular innecesariamente grande entre el cartucho y el tubo, para evitar el efecto túnel.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo con una carga iniciadora como medio de iniciación:

- Para iniciar con una carga iniciadora, se monta la probeta con el detonador y la carga de iniciación colocados en uno de los extremos y los sensores en el otro. Para cartuchos recortados se debe cortar el extremo del cartucho para formar una superficie plana y se debe fijar la carga iniciadora. La siguiente figura muestra el montaje del iniciador y el explosivo:

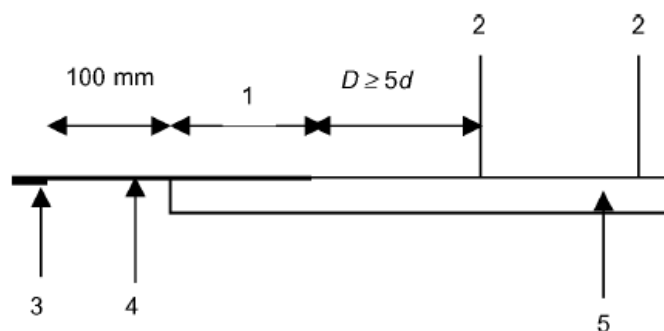


**Leyenda**

- D* Distancia entre el extremo de la carga iniciadora y el primer sensor
- d* Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Sensores
- 2 Detonador
- 3 Carga iniciadora
- 4 Explosivo a ensayar

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo con cordón detonante como medio de iniciación:

- Para el montaje de la probeta con cordón detonante, seguiremos el siguiente esquema:



**Leyenda**

- D* Distancia entre el extremo del cordón detonante y el primer sensor
- d* Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Solapamiento
- 2 Sensores
- 3 Detonador
- 4 Cordón detonante
- 5 Explosivo a ensayar

El solapamiento entre el cordón detonante y el cartucho debe ser el especificado por el fabricante o el superior a 50 mm y dos veces el diámetro del cartucho. El cordón detonante debe mantenerse en contacto con el explosivo mediante cinta adhesiva.

Se llevan a cabo tres ensayos sobre muestras por separado para cada tipo de iniciación especificada por el fabricante. Se inicia el explosivo y se mide la velocidad de detonación de acuerdo con la norma EN 13631-14.

### 2.2.11. UNE 31-001

Esta norma tiene por objeto la valoración relativa del efecto útil de las sustancias explosivas mediante la medida de las variaciones de volumen de una cavidad practicada en un bloque de plomo.

Este ensayo es aplicable, en su versión de prueba ordinaria, a las sustancias explosivas sensibles al detonador y, en la versión de prueba reducida, a los cebos y detonadores.

El ensayo consiste en provocar la detonación de la muestra de ensayo dentro de una cavidad practicada en un bloque de plomo. El efecto útil desarrollado en la explosión se determina midiendo el aumento experimentado en la cavidad del bloque de plomo.

En primer lugar, se expone el ensayo en su versión de prueba ordinaria, es decir, para las sustancias explosivas sensibles al detonador.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo ordinario:

- Bloques de plomo: El plomo empleado como primera materia en la elaboración del bloque será de calidad igual o superior al definido en la norma UNE 37-201 como Pb-5 o plomo refinado de segunda fusión del 99,93% de riqueza mínima.

El mismo material refundido se podrá volver a utilizar sucesivamente mientras que, como mínimo, un tercio del peso total fundido sea plomo Pb-5.

La colada se efectuará a una temperatura de 666 K (390°C ± 10°C) y se fabricarán los bloques necesarios para la realización del ensayo, procedentes de la misma colada, al objeto de que sean lo más homogéneos entre sí, y se emplearán después de transcurrido, como mínimo, un día de su fusión, con la finalidad de facilitar su enfriamiento.

Los bloques y sus cavidades serán cilíndricos; sus dimensiones exteriores serán de 200 mm de altura y 200 mm de diámetro, como se muestra en la Fig. 1. Las de la cavidad serán de 125 mm de profundidad y 25 mm de diámetro. El volumen teórico de la cavidad (61,3 cm<sup>3</sup>) se medirá con agua, admitiéndose una tolerancia de ± 2%.

- Arena: Se prepara arena seca que pase por un tamiz de luz de malla de 800 µm según la norma UNE 7-050.
  - Detonadores: Se utiliza el detonador de ensayos especificado en la norma UNE 31-360, de detonadores eléctricos y características.
  - Explosivos a ensayar: Se pesan 10 g de explosivo a ensayar (± 0,1 g). Si la muestra tiene una humedad mayor que la especificada por el fabricante, se dejará secar hasta su nivel de humedad óptimo.
  - Ácido pícrico: Como explosivo de referencia se utiliza ácido pícrico puro, que pase por un tamiz de 800 µm, secado en estufa a 373 K.
  - Papel de estaño: Se emplea papel de estaño de peso comprendido entre 170 g y 190 g por metro cuadrado.
-

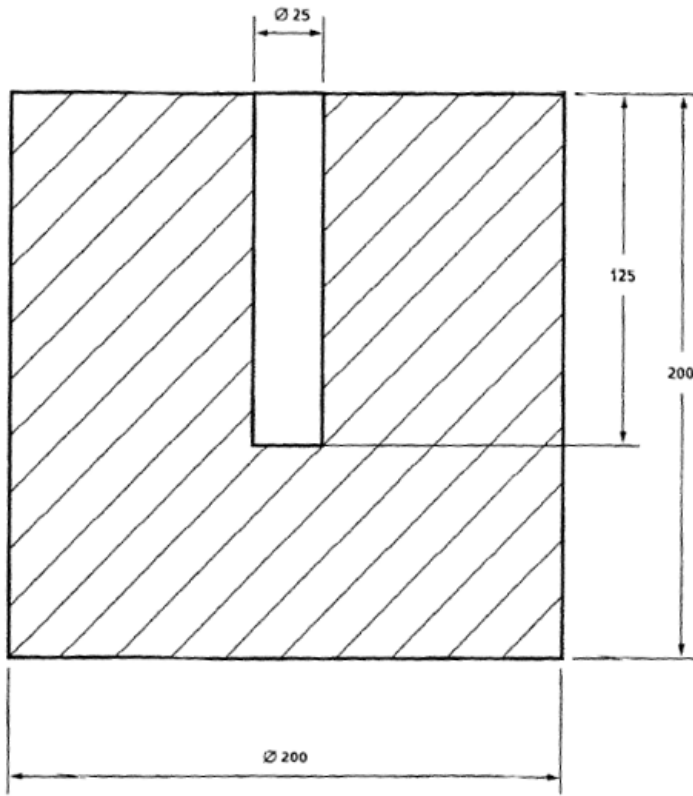
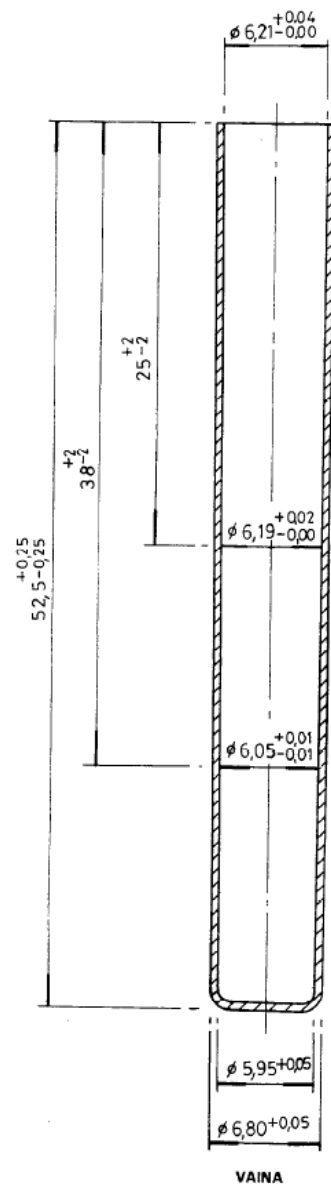
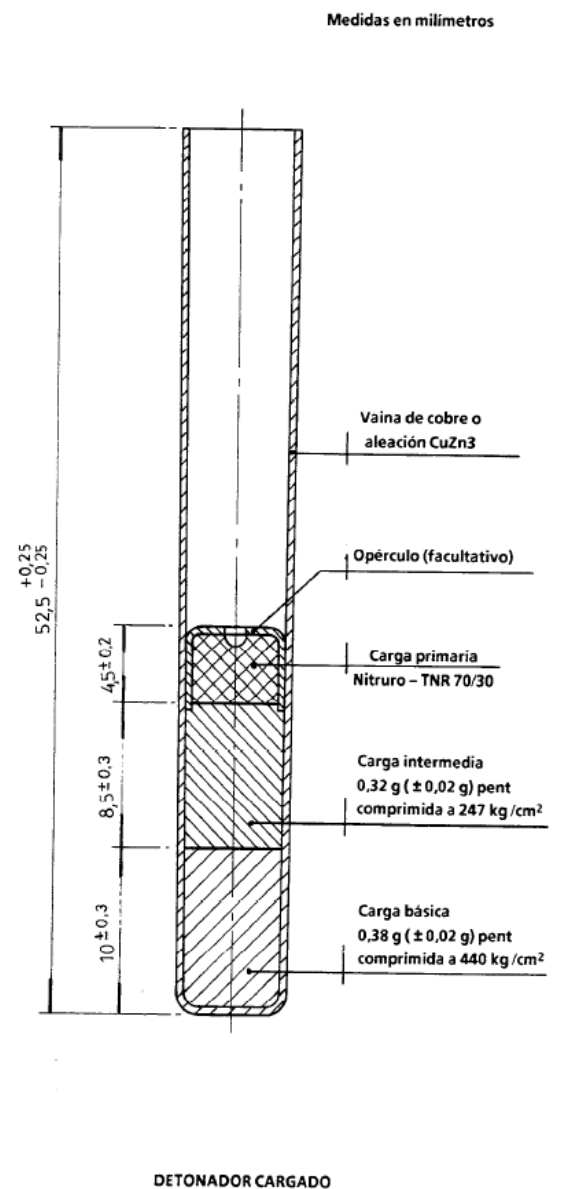


Fig. 1. Bloque de plomo

Fig. 2. Detonador de pentrita



VAINA



DETONADOR CARGADO

Medidas en milímetros

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo ordinario:

1. Se prepara un cartucho cilíndrico de 25 mm de diámetro, tal y como aparece en la Fig. 3, con papel de estaño recortado en forma de trapecio rectangular de 70 mm de altura, 150 mm de base mayor y 130 mm de base menor, en el que se introducen los 10 g del explosivo.

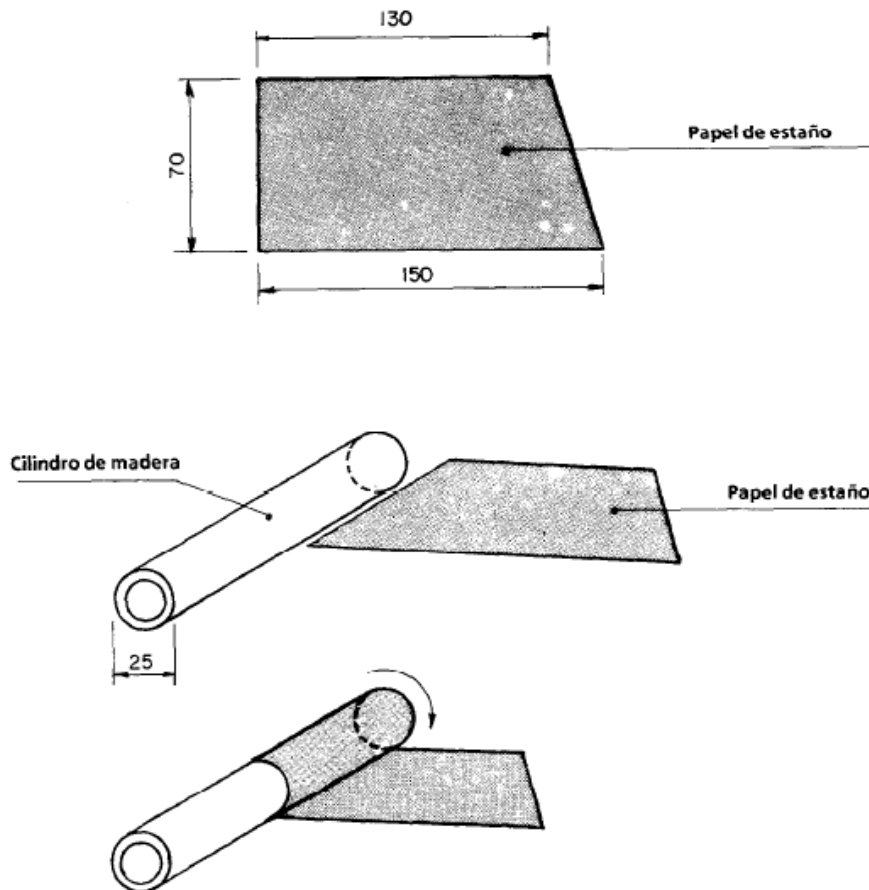


Fig. 3 – Preparación del cartucho

2. Se coloca un detonador, del tipo definido anteriormente en el centro del cartucho sin llegar a tocar el fondo. El detonador se conecta con un sistema de encendido, bien eléctrico o de mecha.
3. La temperatura del bloque de plomo medida en la base de la cavidad deberá ser de 288 K. De no ser así, se aplicará una corrección del +0,25% del volumen inicial por cada grado de temperatura menos, y -0,25% del volumen inicial por cada grado de temperatura más.
4. Previa comprobación que la cavidad del bloque de plomo está vacía y limpia, una vez determinado el volumen, se asienta esta sobre una base de acero con una base aproximada de 1 m x 1 m y de un espesor mínimo de 5 mm. Esta base estará apoyada directamente sobre el suelo.

5. Se introduce cuidadosamente el cartucho, previamente preparado, hasta el fondo de la cavidad del bloque, con la precaución de que la mecha o los hilos conductores del sistema de encendido se mantengan en el eje de la cavidad.
6. Se rellena el resto de la cavidad con arena hasta el borde, de forma suave y continua, sin choques, sacudidas ni atacado. Se enrasa la arena con la cara superior del bloque, retirando el exceso de arena que haya quedado sobre el borde de la cavidad, tal y como puede verse en la Fig. 4.

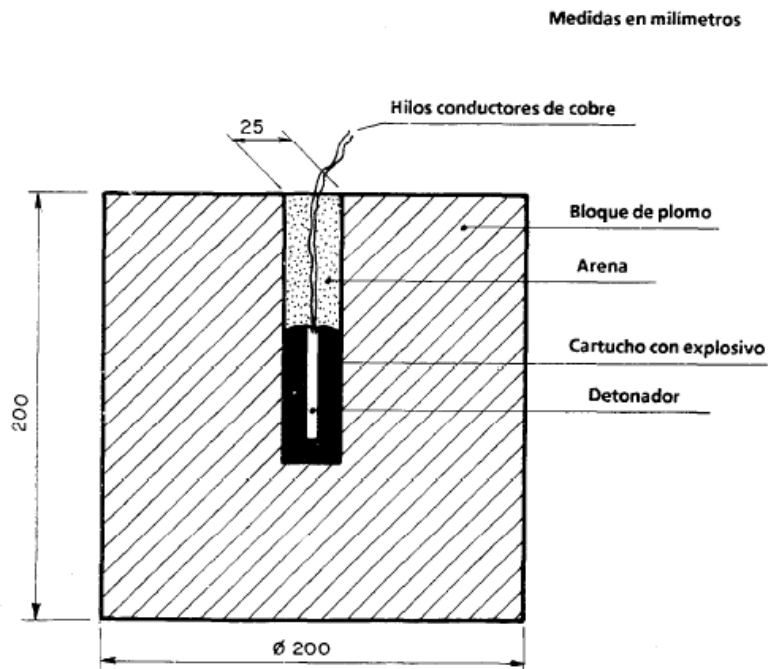


Fig. 4 – Situación del cartucho y detonador en el interior del bloque de plomo

7. Se inicia el explosivo mediante el encendido de la mecha o pulsando el disparador eléctrico y, una vez disipados los gases de la explosión, se invierte el bloque y se limpia cuidadosamente la cavidad, extrayendo los posibles residuos adheridos a las paredes sin dañarlas ni erosionarlas.
8. Se mide con agua el volumen final de la cavidad. El aumento de volumen correspondiente al efecto del explosivo se obtiene restando de dicho volumen final la suma de los volúmenes correspondientes a la cavidad inicial y al efecto del detonador.
9. En los resultados del ensayo se pueden utilizar estas expresiones: Volumen Trauzl, que corresponde a la media aritmética de los volúmenes medidos después de la explosión y expresados en  $cm^3$ . Ensanchamiento Trauzl, que corresponde con el volumen Trauzl menos el volumen inicial y el producido por el detonador. Índice Trauzl, que corresponde al cociente entre el ensanchamiento Trauzl del explosivo ensayado y el del ácido pícrico.

El volumen correspondiente al efecto del detonador se habrá determinado previamente en un único ensayo, con plomo de la misma colada, introduciendo el detonador hasta el fondo de la cavidad y rellenándola con arena.

Para cada explosivo se realizan, por lo menos, tres ensayos con bloques procedentes de la misma colada. El bloque no debe presentar grietas por la parte de la cavidad. Si hay dudas, se corta según un plano que pase por el eje. En caso de grietas se desestimará el valor obtenido en el ensayo.

Ahora, se expone el ensayo en su versión de prueba reducida, es decir, para los cebos y detonadores.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo reducido:

- Bloque de plomo: Las especificaciones coinciden con las detalladas en la prueba ordinaria; sus dimensiones serán de 100 mm de altura, 100 mm de diámetro y 60 mm de profundidad para la cavidad axial, con diámetro interior que permita la introducción del cebo o detonador. El volumen se medirá con agua.
- Muestra de ensayo

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo reducido:

1. Se introduce el cebo o detonador a ensayar hasta el fondo de la cavidad axial del bloque de plomo sin ningún relleno. Es importante el cuidado de la cavidad durante la colocación de la mecha o los hilos de conducción, así como su asentamiento sobre la placa de acero, siguiendo las pautas del procedimiento ordinario.
  2. En relación a la temperatura e inspección del bloque de plomo se actuará conforme a lo citado en el ensayo ordinario, procediéndose seguidamente a su detonación.
  3. Se determina el volumen de la cavidad midiéndolo con agua.
  4. Se elabora un informe en el que pueden ser utilizados los términos expuestos en el informe de la prueba ordinaria.
-



### 2.2.12. UNE 31-003

Esta norma tiene por objeto definir un procedimiento para determinar la estabilidad química de los explosivos. Es aplicable a toda materia explosiva susceptible de desprender vapores nitrosos en su descomposición.

El ensayo consiste en observar la coloración de un papel reactivo, a consecuencia de los vapores nitrosos que pueden ser desprendidos por la muestra ensayada a partir de 80°C.

El ensayo se realizará con tres muestras del producto y una en blanco, es decir, con papel indicador-reactivo, pero sin muestra en el tubo. El tamaño de la muestra será de 2 g ( $\pm 0,1$  g). En el caso de los líquidos, se pasarán antes por dos papeles de filtro previamente desecados en la estufa.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Baño termostático: La temperatura medida debe tener una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . El baño dispondrá de unos alojamientos para la introducción de tubos, de forma que la profundidad de inmersión sea de 75 mm.
- Tubos de ensayo de vidrio neutro y sin plomo: Diámetro interior de 13,5 mm ( $\pm 0,5$  mm), altura entre 140 mm y 180 mm y espesor máximo de la pared de 1,5 mm.
- Tapones de caucho o corcho: En el segundo caso no serán reutilizables. Deben tener un orificio central para ser atravesados por una varilla.
- Varilla maciza de vidrio neutro y sin plomo: Con un diámetro de 4 mm ( $\pm 1$  mm), terminada en un gancho de platino, acero inoxidable o vidrio.
- Embudo de vidrio neutro y sin plomo: La parte cilíndrica debe llegar a la zona inferior de los tubos de ensayo.
- Papel reactivo-indicador de yoduro potásico-almidón o de cinc-almidón: Tiras de 11 mm ( $\pm 1$  mm) de ancho y 20 mm ( $\pm 2$  mm) de longitud.
- Disolución 50/50 en volumen de glicerina pura y agua destilada
- Balanza: Precisión de 0,05 g.
- Termómetro: Precisión de 0,5°C.
- Cronómetro
- Pinzas y espátulas: Para el manejo de los papeles indicadores y las muestras.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se introduce la muestra en el tubo de ensayo hasta el fondo, teniendo cuidado de que no haya contacto con las paredes del tubo.
-

2. Se fija el papel reactivo al gancho de la varilla por uno de sus extremos, en posición vertical.
3. Se impregna una parte del papel con la disolución glicerina. El contacto con la zona húmeda y seca será lo más regular posible.
4. Se introducen los tapones con las varillas y el papel indicador en los tubos de ensayo, procurando que los papeles no rocen las paredes de los tubos.
5. Deslizando las varillas a través de los tapones, se sitúan los papeles indicadores, de forma que su borde inferior esté a 76 mm de distancia del borde de la muestra.
6. Se introducen los tubos de ensayo en el baño, previamente calentado a 80°C, y se pone en marcha el cronómetro indicando el comienzo de la prueba.
7. El resultado de dicha prueba se expresa en minutos, indicando el tiempo transcurrido hasta que aparece la primera coloración en la línea de separación entre la zona húmeda y la zona seca del papel indicador de cualquiera de las muestras ensayadas. Igualmente podrá expresarse el resultado indicando que el tiempo transcurrido es superior a un determinado valor.
8. Se especificará el tipo de papel reactivo-indicador utilizado y se elaborará el informe.

Los materiales (tubos, varillas, pinzas...) se lavarán con agua destilada antes del ensayo y una vez limpios, no se tocarán con los dedos. Además, la luz solar no debe incidir directamente sobre los papeles indicadores.

---

### 2.2.13. UNE 31-011

Esta norma tiene por objeto establecer y fijar las condiciones para realizar la determinación de la temperatura a la que se inicia por calentamiento la descomposición explosiva de las nitrocelulosas, pólvoras y explosivos.

El ensayo consiste en calentar la muestra de la sustancia explosiva sometida a la prueba para elevar su temperatura. La temperatura a la que se produzca la inflamación de la muestra será el resultado de este ensayo.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Sistemas de calentamiento: El calentamiento podrá hacerse bien a través de un mechero de gas o mediante una resistencia eléctrica, incorporada en el aparato adecuado (baño de aceite, parafina...). El reparto del calor deberá ser uniforme.
- Tubos: Serán de vidrio neutro Pyrex o análogos y con fondo redondo. Su longitud estará adaptado al aparato de calentamiento empleado. El diámetro debe oscilar entre 14 y 17 mm, con un espesor de 0,5 y 2 mm.
- Termómetro: Contrastado y con una amplitud de escala apropiada a la temperatura de inflamación de la sustancia de ensayo. Precisión de 0,5°C.
- Cronómetro
- Medidas de seguridad: Pantalla protectora y demás elementos protectores usuales en laboratorios.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se prepara la muestra. Las pólvoras de grano grueso que no pasen por el tamiz 2 especificado por la norma UNE 7.050, se partirán en trozos y se triturarán en un molino especial para pólvoras, recogiendo la porción que quede retenida entre dicho tamiz y el 1,6 de la misma norma. Para el resto de sustancias la muestra se tomará directamente.
  2. La muestra se deseca en un desecador de ácido sulfúrico.
  3. Los tubos de ensayo se limpiarán cuidadosamente antes de cada determinación, lavándose con una disolución muy diluida de hidróxido de sodio en agua destilada; después se lavarán varias veces con agua destilada comprobando previamente la pureza de esta con un papel indicador.
  4. Se introducirá en cada tubo 0,1 g de muestra, excepto en el caso de la trilita (TNT), que la cantidad a introducir será de 0,2 g. No deben quedarse partículas de la muestra adheridas a las paredes del tubo.
  5. En el interior de otro tubo igualmente preparado se colocará el termómetro, sujetándolo a aquél por medio de un tapón horadado. El depósito del termómetro no deberá estar en contacto con el vidrio del tubo, y el extremo del tubo deberá quedar respecto de la parte más baja del fondo del tubo a la misma altura que alcance la superficie libre de la muestra en el tubo correspondiente.
-

6. Se dispone el aparato que se vaya utilizar incorporando el tubo que contiene el termómetro. La parte más baja del fondo de dicho tubo deberá quedar, si el aparato de calentamiento es de baño de aceite, parafina o silicona, a una distancia de 30 mm del fondo del baño, y sumergido al menos 20 mm; en los aparatos del bloque termostático, se introducirá hasta el fondo del alojamiento.
7. Se calentará el aparato comprobando el ascenso de la temperatura por medio del termómetro y regulando que dicho ascenso sea de 5°C por minuto en el caso de nitrocelulosas o pólvoras, y 20°C por minuto cuando la muestra es de explosivo.
8. Cuando la muestra alcance los 100°C se colocará el tubo con la muestra pesada, de tal modo que quede su fondo a la misma altura relativa que la indicada para el tubo que contiene el termómetro.
9. Se continua con el calentamiento de la muestra hasta que se produzca la inflamación de la misma, en ese momento se dará por terminado el ensayo.
10. Se anotará la temperatura a la que se produzca la inflamación de la muestra en cada tubo. Cuando el aparato solo utilice un tubo para la muestra, el ensayo debe repetirse tres veces, anotando cada vez la temperatura a la que se produce la inflamación, y se tomará como temperatura de inflamación la promedia de las citadas. Se anotarán también las características de los equipos en el informe, y en caso de tener alguna lectura anómala, se repetirá la prueba.

Las variaciones en las condiciones del ensayo tienen influencia en los resultados y, por tanto, cuando se observe alguna irregularidad en el ascenso de la temperatura o no se hace a la velocidad indicada, se repetirá el ensayo para eliminar las irregularidades citadas.

Se tendrá en uso el aparato de calentamiento durante toda la operación, con el objetivo de que el calentamiento sea uniforme y esté uniformemente repartido.

---

### 2.2.14. UNE 31-015

Esta norma tiene por objeto deducir el tanto por ciento en volumen que se genera de compuestos nitrogenados al hacer reaccionar la sustancia con mercurio y ácido sulfúrico.

Materiales especificados para la ejecución del ensayo:

- Mercurio puro: Deberá estar perfectamente seco y exento de hierro.
- Ácido sulfúrico reactivo del 92% al 96% de riqueza: Exento de hierro y de óxidos de nitrógeno.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

El equipo utilizado para hacer las pruebas está completamente normalizado según los parámetros que se describen a continuación.

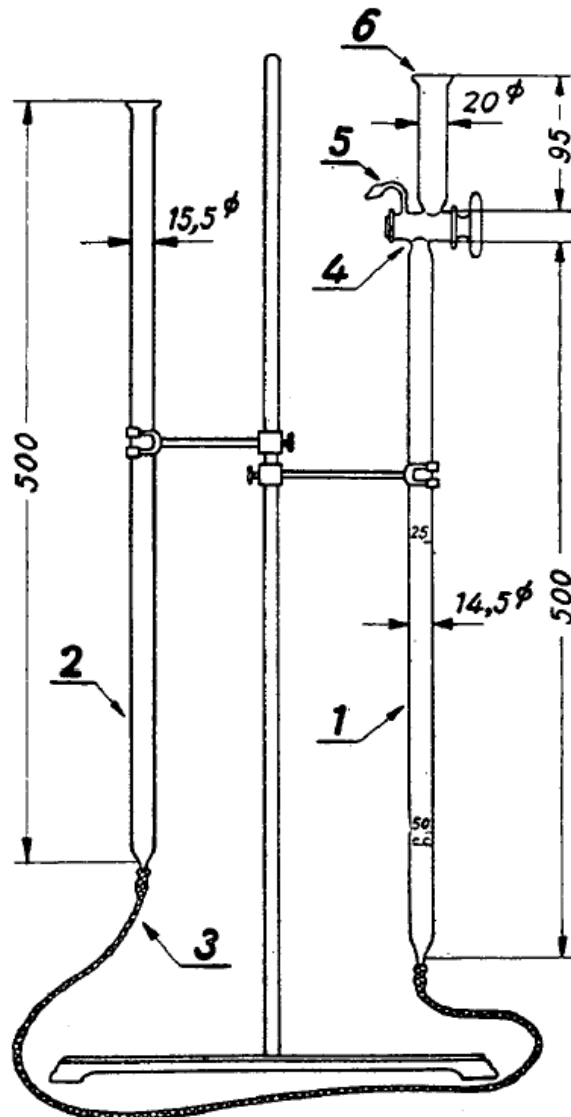


Fig. 1.

El equipo de la Fig. 1 consiste en dos tubos (1) y (2) de paredes gruesas, llamadas propiamente nitrómetro y compensador. Están unidos entre sí por medio de otro tubo de goma (3). El tubo nitrómetro tiene  $50 \text{ cm}^3$  de volumen y está graduado, con precisión, en décimas de centímetro cúbico. En su parte superior lleva la llave (4), a la que se unen el tubo (5) y la copa (6). El tubo (2) o compensador tiene una capacidad análoga al nitrómetro.

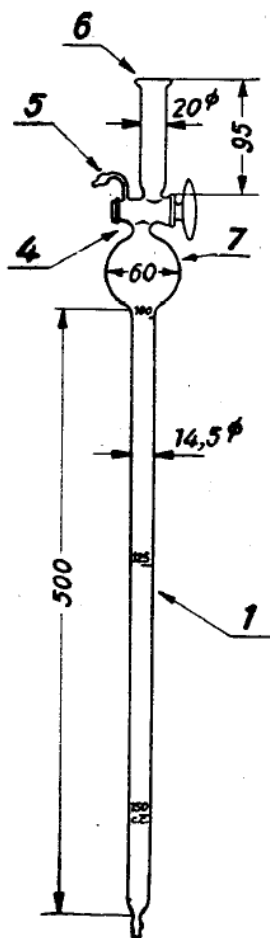


Fig. 2.

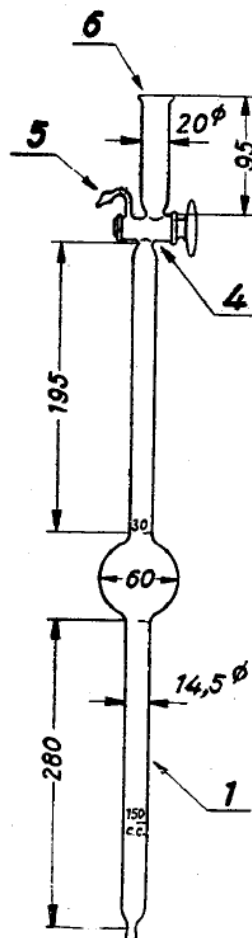


Fig. 3.

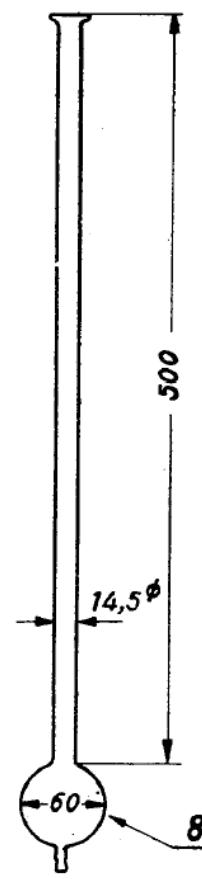


Fig. 4.

Para grandes volúmenes se emplea el tubo nitrómetro de la Fig. 2, en el cual existe un ensanchamiento (7) de forma esférica, situado inmediatamente debajo de la llave, y de  $100 \text{ cm}^3$  de volumen. La graduación descende a lo largo del tubo, desde los  $100 \text{ cm}^3$  hasta los  $150 \text{ cm}^3$ , volumen total de nitrómetro.

Si se trata de medir grandes o pequeños volúmenes indistintamente, se utiliza el nitrómetro de la Fig. 3, que tiene la primera parte graduada de  $1 \text{ cm}^3$  a  $30 \text{ cm}^3$ , a continuación, un ensanchamiento esférico de  $100 \text{ cm}^3$  y, por último, otra parte graduada desde los  $130 \text{ cm}^3$  a  $150 \text{ cm}^3$ , capacidad total del nitrómetro.

Cuando se emplean los tubos nitrómetros de las figuras 2 o 3, se ha de acoplar como compensador el de la Fig. 4, que tiene un ensanchamiento (8) en la parte inferior, con capacidad suficiente para completar el total de mercurio que cabe en aquellos.

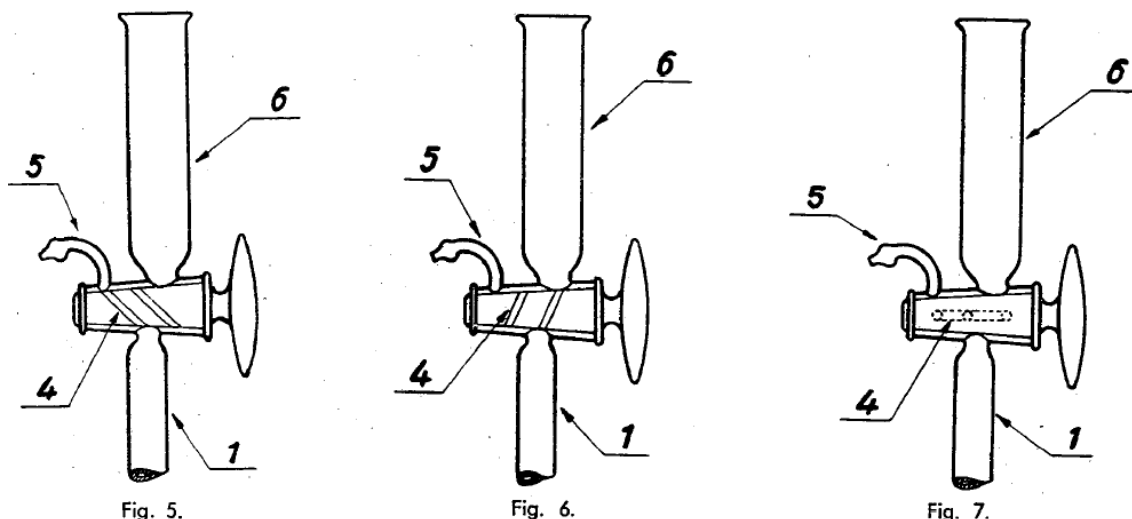


Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Las superficies de la llave, además de estar perfectamente esmeriladas, serán lubricadas adecuadamente para asegurar un cierre perfecto y suave.

El equipo, antes de su empleo, ha de estar limpio y perfectamente seco. El mercurio empleado, en un ensayo en blanco, no debe dar volumen gaseoso y debe estar totalmente exento de hierro, como se ha dicho anteriormente.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

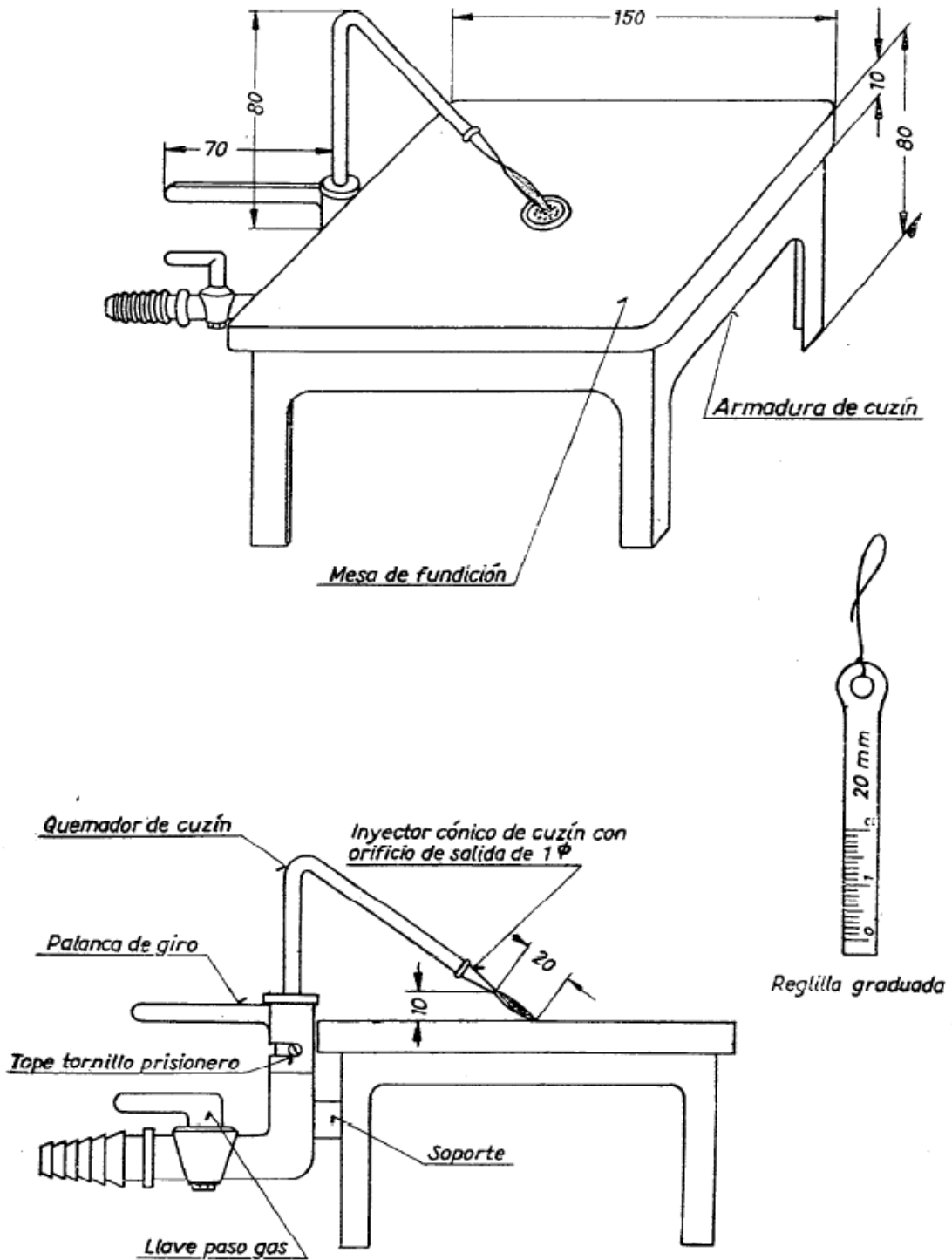
1. Se prepara el equipo: Se coloca el tubo (2) con su extremo superior por encima de la llave (4) del nitrómetro, de forma que el volumen de dicho tubo, que sobrepasa a la llave, sea algo superior al del gas NO. A continuación, se vierte el mercurio por el tubo compensador, manteniendo la llave del nitrómetro en la posición de la Fig. 6, hasta que el mercurio penetre en la copa (6). Entonces se cambia la llave a la posición de la Fig. 5, o sea, en comunicación del tubo lateral (5), hasta que salga un poco de mercurio por este último. Se pasa entonces la llave a la posición de cierre, Fig. 7, y se baja el tubo compensador, de forma que el nivel de mercurio en él quede un poco más bajo que la llave, fijándolo en su soporte. Si durante 2 horas no ha experimentado variación de nivel el mercurio en el nitrómetro, ello demuestra que el cierre es perfecto y que ha quedado hecho el vacío en el interior del nitrómetro. El aparato está en condiciones de operar.
2. Depende del estado físico y de la naturaleza del compuesto nitrogenado que se analice. En general, consiste en disolver completamente la sustancia en ácido sulfúrico, de concentración determinada, en frío o caliente. Si la muestra es sólida, esta operación se facilita pulverizando la sustancia finamente. Las cantidades de muestra, su preparación, como asimismo las cantidades de ácido sulfúrico que se han de emplear, se especifican en la norma correspondiente a cada producto que se desee ensayar.
3. Una vez introducida la muestra en el equipo, la operación debe hacerse con toda escrupulosidad, así como el volumen correspondiente de ácido sulfúrico, y con la llave en la posición de cierre, se levanta el tubo (2), y sacando el tubo nitrómetro de su soporte, se inclina varias veces hasta ponerlo casi horizontal, evitando que el ácido se ponga en contacto con el tubo de goma de unión.
4. Se agita el tubo (1) durante unos 10 minutos, cambiándolo de posición durante este tiempo, y a continuación, se deja en reposo 15 minutos.

5. Para comprobar si la reacción está terminada, se vuelve a agitar durante 3 minutos y se deja nuevamente en reposo, de forma que el nivel de la llave quede en la misma posición en las dos operaciones, y si no hay variación de volumen, se deja enfriar durante media hora, hasta temperatura ambiente.
  6. Para lavar las paredes de la porción del tubo nitrómetro que contiene el gas producido, se vierten en la copa unos centímetros cúbicos de ácido sulfúrico y se baja el tubo compensador, de forma que el nivel del mercurio en él sea un poco inferior al que tiene en el tubo nitrómetro.
  7. Se coloca la llave en la posición de la Fig. 6, con lo cual entrará ácido, consiguiéndose el lavado pretendido. Sin embargo, no debe dejarse entrar todo el ácido que hay en la copa, para lo cual cuando solo queden unas gotas se llevará a la posición de la Fig. 7.
  8. Para llevar el gas a la presión atmosférica actual, se manobra con el tubo compensador y la llave hasta el momento en que dejada ésta en la posición de la Fig. 6, ni las gotas de ácido sulfúrico que quedan en la copa penetren en el tubo, ni el gas salga al exterior.
  9. Se lee entonces el volumen gaseoso. Se anota la temperatura ambiente mediante un termómetro contrastado, colocado de forma que el bulbo quede a la mitad de la altura de la columna gaseosa.
  10. Se determina la presión atmosférica en el momento de la experiencia, introduciendo la corrección necesaria.
  11. Se aplica la fórmula para la determinación porcentual del nitrógeno.
  12. Al volumen de gas leído se le añade  $0,035 \text{ cm}^3$  por cada centímetro cúbico del volumen del líquido ácido, para tener en cuenta el gas disuelto por el ácido sulfúrico. En caso de necesitar mayor precisión, se puede medir la presión del vapor del líquido y restarla de la presión atmosférica.
-



### 2.2.15. UNE 31-019

Esta norma se refiere a la estimación comparativa de la medida de la sensibilidad a la llama de los explosivos mediante la acción directa sobre una pequeña muestra de explosivo, en el estado físico más conveniente, de un dardo de fuego producido por un quemador de gasolina midiendo el tiempo que tarda y la forma de producirse la descomposición de la muestra.



Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Mesa: Con placa portamuestras y quemador de gas. Es cuadrada y está constituida por una placa de fundición de hierro pulido, sujeta a un soporte consistente en un marco y cuatro pies de chapa cuzin.
- Quemador: De gas, sujeto a uno de los lados de la mesa, con una llave para regular la longitud del dardo de la llama y un dispositivo que permite el giro de dicho dardo desde el centro de la mesa a una posición de 45° en giro hacia la izquierda. Un tubo en forma de cuello de cisne, termina en un pequeño inyector cónico, con un orificio de salida de gas de 1 mm de diámetro. La salida del gas forma un dardo de 2 cm y la punta toca precisamente en la superficie de la mesa.
- Cronómetro: Hasta la décima de segundo.
- Regla: Con medida simple de 20 mm.
- Pantalla: De vidrio, como protección.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se toma una muestra, previamente desecada, del explosivo a ensayar, que ha de ser de 0,1 g de peso en el estado físico en el que se encuentre organizada, aunque se preferirán muestras pulverizadas tomando las precauciones necesarias según el explosivo del que se trate.
  2. El quemador se enciende en su posición fuera de la mesa, y se regula la longitud del dardo de llama, de forma que sea exactamente de 2 cm medidos con una regla de contraste.
  3. El operador prepara el cronómetro en una mano y con la otra, gira la palanca de mando del quemador hasta su tope, de forma que en el preciso momento de incidir el dardo sobre la muestra, se pulse el mecanismo que ponga en marcha el cronómetro, y se mide el tiempo que tarda el explosivo en fundir, carbonizarse, quemar o hacer explosión.
-

### 2.2.16. UNE 31-023

Esta norma tiene por objeto describir el método de ensayo para la determinación del poder rompedor de los explosivos por el método de Hess. Es aplicable a los explosivos sensibles al detonador de ensayos.

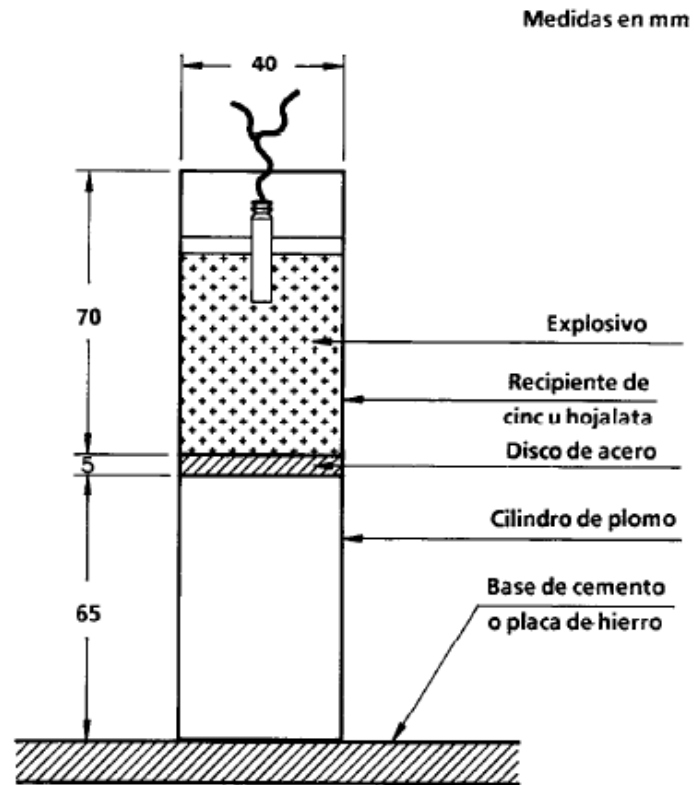
La medida del poder rompedor de los explosivos por el método de Hess está basada en el aplastamiento producido en un cilindro de plomo, por la detonación de una carga explosiva colocada sobre el mismo.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Cilindro de plomo: Con un diámetro de 40 mm y una altura de 65 mm. Calidad igual o superior al definido según la norma UNE 37-201 como Pb-5 o plomo refinado de segunda fusión, del 99,5% de riqueza mínima. El mismo material refundido se podrá volver a utilizar sucesivamente siempre que, como mínimo, un tercio del peso total fundido sea plomo Pb-5. Los cilindros necesarios para la realización del ensayo procederán de la misma colada, al objeto de que sean lo más homogéneos posible entre sí.
- Disco de acero: Con un diámetro de 40 mm y 5 mm de espesor.
- Recipiente: Será de cinc u hojalata de 40 mm de diámetro interior, por 70 mm de altura y espesor de 0,5 mm ( $\pm 0,15$  mm).
- Disco de cartón: Con un diámetro de 40 mm y un espesor mínimo de 2 mm.
- Detonadores de ensayos.
- Pie de rey: Precisión mínima de 0,1 mm.
- Balanza: Precisión mínima de 0,5 g.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se preparan tres muestras de 40 g ( $\pm 1$  g) del explosivo para el ensayo.
  2. Se carga el recipiente de explosivo.
  3. Se coloca el recipiente cargado sobre el cilindro de plomo interponiendo el disco de acero y sujetando el recipiente, se sujetan el cilindro y el disco con cinta adhesiva.
  4. Se perfora el disco de cartón en el centro y se coloca sobre la superficie de la carga explosiva, introduciendo por este orificio un detonador de ensayo en la carga del explosivo, de tal forma que quede vertical, como en la Fig. 1.
-



**Figura 1**

5. Se sitúa el conjunto descrito sobre una base horizontal de cemento o sobre una placa de hierro y se inicia el detonador.
6. Se mide, en milímetros, la altura del cilindro de plomo en su eje después del disparo.

El aplastamiento es la diferencia entre la altura inicial del cilindro y su altura después del disparo. El poder rompedor del explosivo ensayado es la media de los aplastamientos medidos en los tres ensayos realizados. El resultado se expresa en milímetros con una cifra decimal.

### 2.2.17. UNE 31-302

Esta norma tiene por objeto definir un método para determinar la energía relativa de los explosivos rompedores mediante el péndulo balístico para una evaluación comparativa de la eficacia de los mismos. Este ensayo es aplicable a los explosivos rompedores sensibles al detonador.

El método se basa en la utilización de un mortero de acero cerrado por un proyectil, que se encuentra suspendido mediante un largo brazo de péndulo, montado sobre una estructura metálica.

Los gases de detonación expulsan el proyectil del mortero, y el valor del retroceso se compara con unos valores de referencia.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Péndulo balístico: Para el ensayo se utiliza un péndulo balístico como el indicado en la Fig. 1, que consiste en un brazo largo de péndulo, que reposa sobre cuchillas y del que está suspendido un mortero cerrado mediante un proyectil, como puede apreciarse en la Fig. 2.

La masa completa del péndulo es de aproximadamente unos 470 kg, correspondiendo al peso del mortero exclusivamente 370 kg. El mortero está dotado de cavidades cilíndricas; la cámara anterior, destinada a alojar el proyectil, y la cámara posterior (o cámara de combustión), que es donde se sitúa la carga del explosivo. Las dimensiones exactas dependen del diseño, pero se aproximan en 3,5 metros de ancho, 3,5 metros de largo y 8 metros de largo, contando ancho y largo desde su base.

La cámara anterior (cámara del proyectil) tiene las siguientes medidas: 123 mm ( $\pm 2$  mm) de diámetro, por 120 mm ( $\pm 2$  mm) de profundidad. La cámara posterior que se encuentra seguida de la cámara anterior, sobre el mismo eje, tiene 51 mm ( $\pm 1$  mm) de diámetro y 136 mm ( $\pm 2$  mm) de longitud.

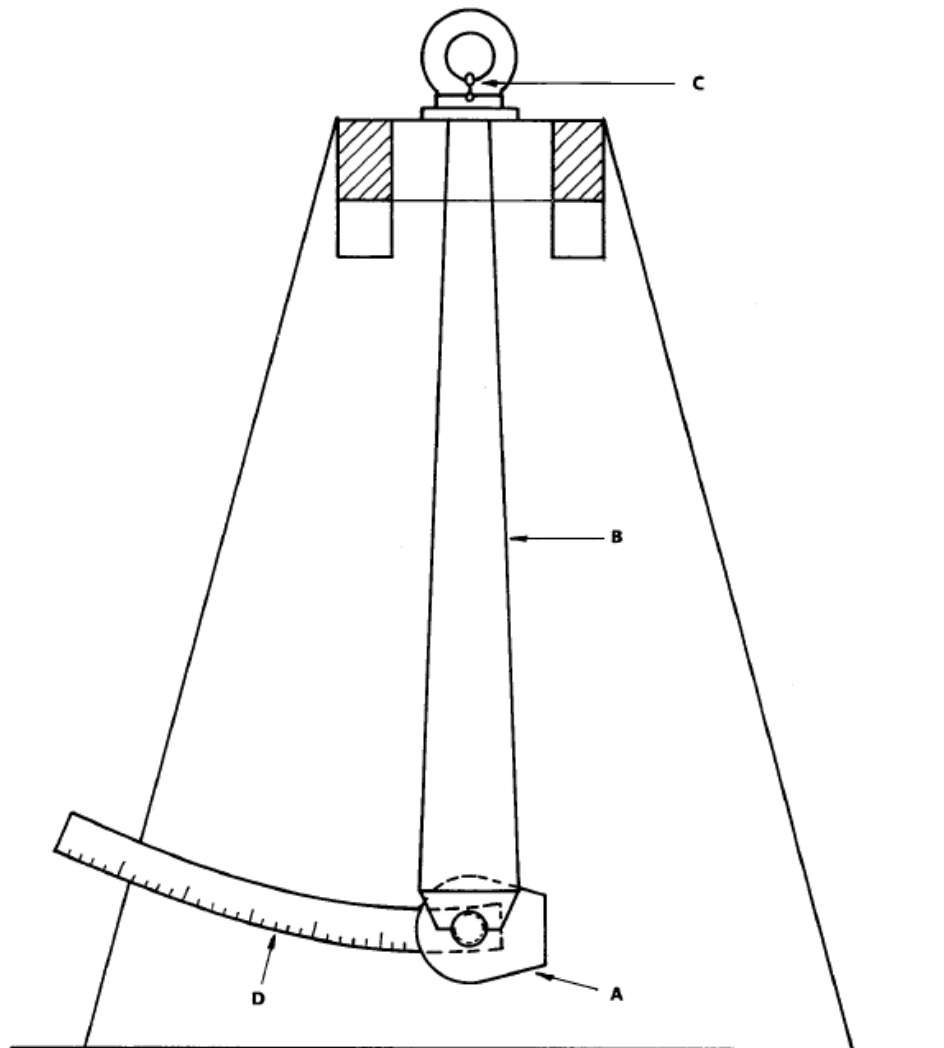
La separación inicial entre el proyectil y su alojamiento es de 0,14 mm y la máxima separación permitida es de 0,2 mm. El proyectil está perforado en toda su longitud, por un agujero axial de 8 mm ( $\pm 1$  mm) de diámetro para el paso de los hilos del detonador o de la mecha.

- Detonadores: Se utiliza un detonador de ensayos.
- Explosivos a ensayar: Se pesan 10 g del explosivo a ensayar con una precisión de  $\pm 0,1$  g. Si las muestras a ensayar tuvieran un contenido en humedad mayor al indicado por el fabricante, se secarán hasta obtener el valor indicado.
- Goma pura: Explosivo de referencia con la siguiente composición: Nitroglicerina/nitroglicol al 92,08%, nitrocelulosa seca al 6,93% y carbonato cálcico al 0,99%.

La nitroglicerina/nitroglicol es una mezcla 50/50, pudiendo usarse nitroglicol puro. La nitrocelulosa debe estar en estado polvoriento y exenta de grumos, cuyo contenido en nitrógeno debe ser de 12,1% ( $\pm 0,3\%$ ) y una humedad no superior al 30%. El carbonato cálcico debe ser de no menos de 98% de riqueza y con un contenido en humedad menor del 0,5%.

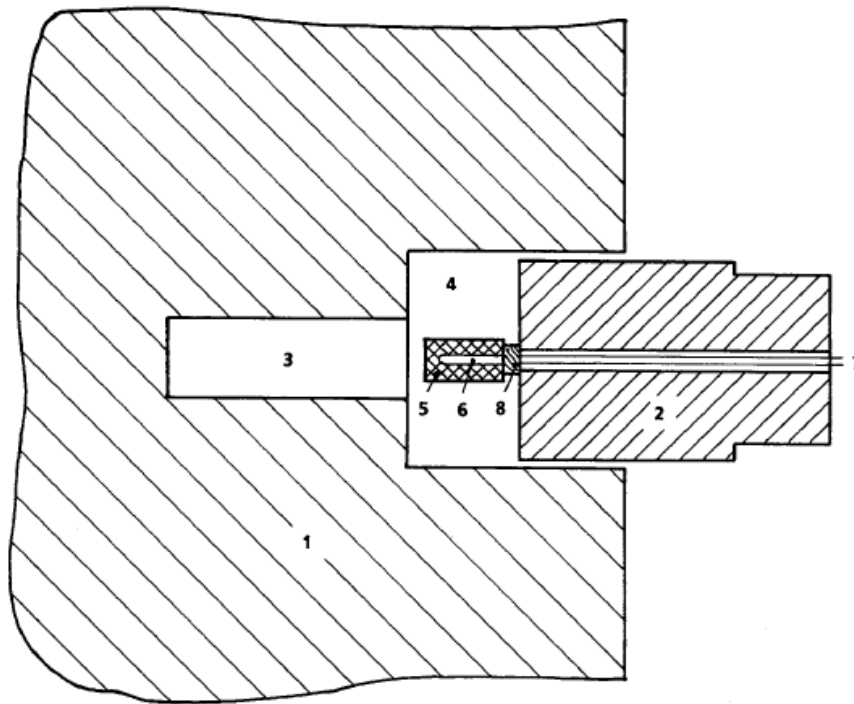
La preparación de esta mezcla se realizará colocando los ingredientes sólidos en una cubeta calorifugada entre 15°C y 20°C sobre los que se añade la nitroglicerina/nitroglicol, procurando mezclar bien para evitar la formación de grumos. La gelatinización se efectuará manteniendo la mezcla a una temperatura alrededor de 30°C, dejándola en reposo durante una hora para su gelatinización total.

- Papel de estaño: Con un peso de 170 g a 190 g por metro cuadrado.



- A = Mortero
- B = Brazo de suspensión
- C = Cuchillas de suspensión
- D = Escala graduada

Fig. 1 – Péndulo balístico



- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 Mortero               | 5 Carga                   |
| 2 Proyectil             | 6 Detonador               |
| 3 Cámara de explosión   | 7 Hilos detonador o mecha |
| 4 Alojamiento proyectil | 8 Cinta de papel adhesivo |

Fig. 2 – Mortero péndulo balístico

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Preparación de la carga del ensayo, que debe ser un cartucho cilíndrico de 25 mm de diámetro como el de la Fig. 4, con papel de estaño recortado en forma de trapecio rectangular de 70 mm de altura, 150 mm de base mayor y 130 mm de base menor, en la que se introducen 10 g de explosivo.
2. Se coloca un detonador en el cartucho sin llegar a tocar el fondo.
3. Antes de cada serie de disparos, el proyectil y la recámara se limpiarán cuidadosamente de la grasa que lleva para la conservación después de los disparos, con papel de lija fina.
4. La carga preparada se introduce de manera que esté situada a una distancia igual de las paredes de la cámara de explosión en la que se sitúa, mientras se tira de los hilos del detonador eléctrico o mecha hasta que la carga alcance la superficie del fondo del proyectil.

5. Se coloca el cursor en la posición cero de la escala graduada de la Fig. 1.

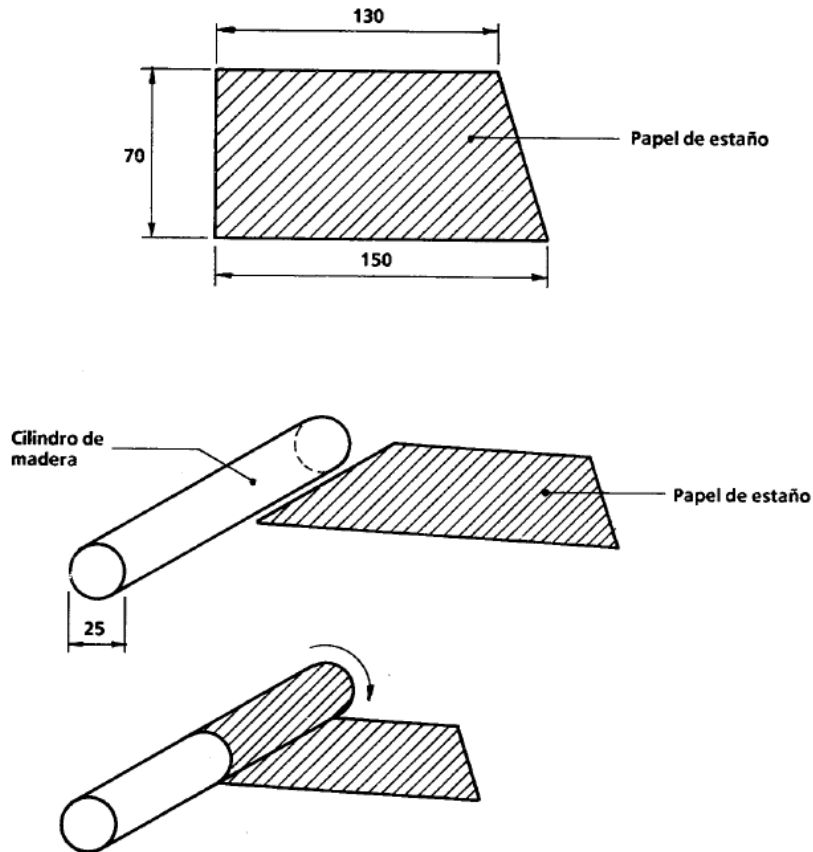


Fig. 4 – Preparación del cartucho

6. Se inicia el explosivo mediante el encendido de la mecha o pulsando el disparador eléctrico. Al disparar la carga, el proyectil sale lanzado del mortero y el retroceso del mismo queda registrado mediante el cursor.
7. Una vez disipados los gases de la explosión, se anota la lectura de la escala.
8. El primer disparo se utiliza para eliminar cualquier vestigio de residuo que pudieran tener la cámara y el proyectil. Seguidamente se realizan cinco ensayos del explosivo a ensayar.
9. Con el explosivo de referencia se utiliza el mismo método: Un tiro de limpieza y tres disparos válidos, de los que haremos la media aritmética.

Para evaluar los resultados, RB y RB' son los desplazamientos del mortero producidos por el explosivo a ensayar y la goma pura de referencia, respectivamente, los segmentos AR y A'R son las proyecciones de dichos desplazamientos sobre el eje OR. Como



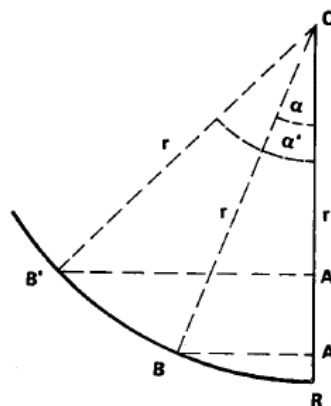
interesa establecer la proporción entre los segmentos AR y A'R que representan el trabajo de los explosivos para elevar el mortero a los puntos A y A', el cálculo se realiza según la proporción siguiente:

$$\frac{AR}{A'R} = \frac{\%}{100}$$

$$\% \text{ Potencia} = \frac{AR}{A'R} \times 100$$

Para calcular AR y A'R, se llevará a cabo el siguiente razonamiento:

$$\begin{aligned} OA &= r \times \cos \alpha \\ OA' &= r \times \cos \alpha' \\ AR &= OR - OA \\ A'R &= OR - OA' \\ AR &= r - r \times \cos \alpha \\ A'R &= r - r \times \cos \alpha' \\ AR &= r(1 - \cos \alpha) \\ A'R &= r(1 - \cos \alpha') \end{aligned}$$



Sustituyendo en la proporción anterior los valores obtenidos, se obtiene la fórmula final:

$$\% \text{ Potencia} = \frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos \alpha'} \times 100$$

Tras registrar los resultados de los cinco ensayos y con el valor medio de los resultados de la goma pura, se calcula la fuerza del explosivo como potencia relativa en el péndulo balístico. Los resultados se expresarán sin cifras decimales.

Además, se pueden utilizar como explosivos de referencia el ácido pícrico, el trinitrotolueno, etc. Para los explosivos de potencia superior al 70%, referido a la goma pura, se puede utilizar como ensayo el alternativo marcado en el Anexo B de la norma UNE 31-302.

Las tablas necesarias para trabajar con la goma pura las podemos encontrar en el anexo A de la norma UNE 31-302.

### 2.2.18. UNE 31-303

Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el tiempo que una dinamita sometida a presión tarda en exudar los ésteres nítricos líquidos (nitroglicerina y/o nitroglicoles).

El método se basa en determinar el tiempo que tardan en exudar al exterior los constituyentes líquidos de una muestra cuando se somete a una presión determinada.

Equipos especificados para la ejecución del ensayo:

- Aparato de exudación: Constituido por un cilindro hueco de bronce, cerrado en un extremo por una placa del mismo metal, con un diámetro interior de 15,7 mm y una profundidad de 40 mm; su periferia está perforada por 20 orificios de 0,5 mm de diámetro (4 series de 5 orificios). Y un pistón de bronce de 15,6 mm de diámetro torneado cilíndricamente en 48 mm y con una longitud total de 52 mm, dispuesto verticalmente en el interior del cilindro.
- Tela de tafetán: Es una tela delgada de seda muy tupida para envolver la muestra.
- Cronómetro: Precisión de 1 s.
- Balanza: Precisión 0,1 g.
- Termómetro: Precisión de 1°C.

Procedimiento especificado para la ejecución del ensayo:

1. Se dispone en el interior del cilindro un pequeño cartucho de 30 mm de longitud y 15 mm de diámetro, formado por 5 g a 8 g del explosivo para el ensayo, envuelto en la tela indicada.
2. Se coloca sobre la muestra el pistón y la carga de 2 220 g ( $\pm 10$  g), al objeto de someter al explosivo a una presión de 120 kPa ( $\pm 0,5$  kPa), o unos 1,2 bares.
3. Se anota el tiempo, en minutos y segundos, desde que se coloca la carga hasta que aparecen las primeras señales de gotitas aceitosas a través de los orificios del cilindro.
4. El resultado se considera satisfactorio si el tiempo en cada uno de los tres ensayos que se efectuarán es superior a 5 minutos.

Para la validez del ensayo, éste debe realizarse a una temperatura ambiente entre 15°C y 25°C.

---

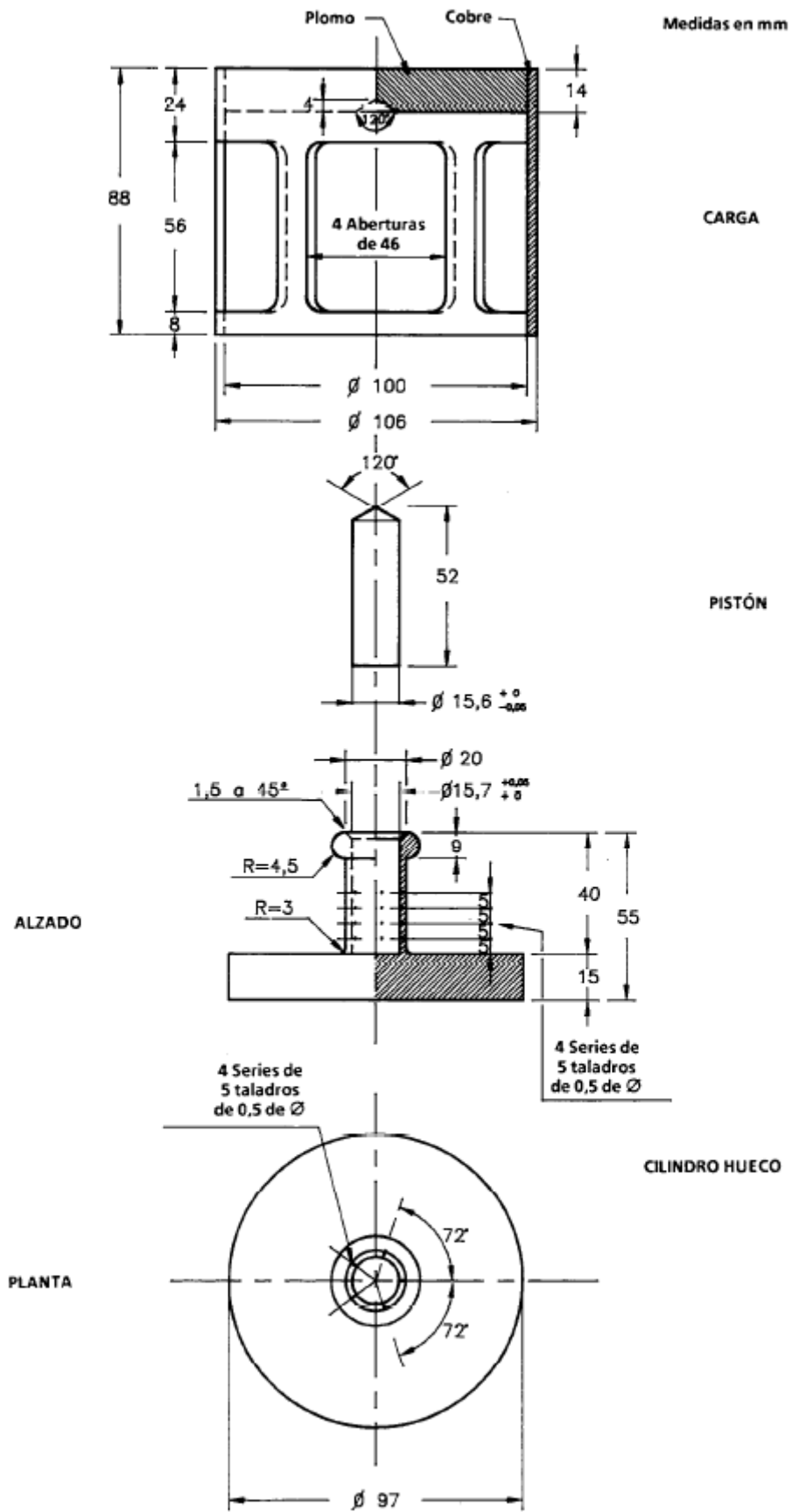


Fig. 1 - Aparato de exudación

## **2.3. NORMATIVA PARA LA MANIPULACIÓN DE MATERIALES EXPLOSIVOS**

En todo el complejo se aplicarán las instrucciones técnicas complementarias de la normativa española recogidas en el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera que nos conciernen, referidas a la actualización más reciente respecto al año de elaboración del presente proyecto; dicha normativa podemos encontrarla listada en el punto 2.1. También se recomienda la lectura del Reglamento de Explosivos del Real Decreto 230/1998 para el establecimiento de los protocolos necesarios para la realización de las actividades de manipulación de los explosivos.

Las normas dictadas por el RGNBSM son de general aplicación en todas las actividades comprendidas en el ámbito de dicho reglamento, en que se emplean materias o productos explosivos.

### **2.3.1. RGNBSM: ITC 10-0-01.**

Esta Instrucción Técnica Complementaria del Reglamento General de las Normas de Seguridad Básicas Minera tiene por objeto regular la aplicación del RGNBSM y del tipo de explosivos que utilizarán aquellas entidades o personas afectadas por el mismo.

Podemos destacar los siguientes conceptos dentro de la ITC que nos comprende:

- Únicamente podrán emplearse los explosivos que hayan sido homologados y catalogados oficialmente por la Dirección General de Minas, los cuales deberán utilizarse de acuerdo, en su caso, con las condiciones específicas de su homologación y catalogación.
  - Los explosivos homologados y catalogados oficialmente hasta la fecha de esta ITC son los que figuran en el Anexo 1 de la misma.
  - En los envases y embalajes de los explosivos y productos deberá figurar obligatoriamente, además del nombre del fabricante, el número de catalogación.
  - El uso de cualquier otro explosivo nacional o de importación, habrá de ser expresamente autorizado (conforme a lo expuesto en el artículo 29 del Reglamento de Explosivos), por el Ministerio de Industria y Energía, el cual fijará las limitaciones y medidas de seguridad que condicionen su uso y el plazo máximo de vigencia de la autorización.
  - Cualquier explosivo o accesorio a utilizar debe estar perfectamente homologado y catalogado por la administración pertinente, en caso de no estarlo, se podrá pedir autorización al Ministerio de Industria y Energía (Dirección General de Minas).
-

### 2.3.2. RGNBSM: ITC 10-1-01.

Esta Instrucción Técnica Complementaria del Reglamento General de las Normas de Seguridad Básicas Minera tiene por objeto regular el almacenamiento de productos explosivos según la cantidad de material o su destino.

Se entenderá por depósito de explosivos el lugar destinado al almacenamiento de las materias explosivas y sus accesorios, con todos los elementos muebles e inmuebles que lo constituyan. En cada depósito podrá haber uno o dos polvorines.

El polvorín será un local de almacenamiento sin compartimentos ni divisiones, cuyas aberturas al exterior serán la puerta de entrada, los conductos de ventilación y alumbrado desde el exterior debidamente protegidos.

Clasificación de los depósitos:

- Depósitos de consumo: Destinados al almacenamiento de productos explosivos para el servicio exclusivo de los consumidores habituales.
- Depósitos auxiliares de distribución: La capacidad de este será de 50 kg de explosivo o 500 detonadores, siempre en polvorines separados.
- Depósitos de ubicación temporal: Con capacidad máxima de 5000 kg.
- Depósitos móviles: Cuya capacidad máxima será de 1000 kg y se encontrará en el compartimento de un vehículo automotor.
- Depósitos en las plataformas marinas de perforación

Para tener un depósito de explosivos, sea cual sea sus características (comprendidas entre las anteriores), será necesario estar en posesión de una habilitación para la tenencia de dicha instalación expedida por la Dirección General de Minas.

---

### **2.3.3. RGNBSM: ITC 10-0-02.**

Esta Instrucción Técnica Complementaria del Reglamento General de las Normas de Seguridad Básicas Minera tiene por objeto regular el transporte de explosivos en el interior de un recinto.

Podemos destacar los siguientes conceptos dentro de la ITC que nos comprende:

- La distribución de los explosivos y sus accesorios que se realice dentro del recinto estará regulada por una persona responsable especialmente instruida para este cometido, el cual no podrá entregar en ningún caso tales productos más que a personas autorizadas.
  - Si el transporte interior tuviese que utilizar alguna vía pública deberá atenerse a lo que dictamine el Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas, tanto en lo que se refiere al conductor y acompañante, como al propio vehículo.
  - Los iniciadores no podrán transportarse junto al explosivo, y las condiciones de transporte se determinará siguiendo las mismas pautas que en el caso de los explosivos. No obstante, la Dirección General de Minas podría autorizar el transporte conjunto en las condiciones y con las limitaciones que establezca.
  - El cordón detonante se debe tratar a todos los efectos como un explosivo y no como un detonador.
  - Los portadores deberán estar debidamente autorizados e informados del producto que están transportando y no podrán utilizar lámparas portátiles que no sean de seguridad.
  - Cada movimiento de explosivo quedará registrado junto con los datos del transportista y del receptor.
-

## **2.4. NORMATIVA PARA EL TRANSPORTE POR CARRETERA DE MATERIALES EXPLOSIVOS**

La normativa vigente en el Reglamento de Explosivos del Real Decreto 230/1998 será de obligado cumplimiento en los artículos para los que se haga referencia a funciones de la instalación objeto del proyecto, para los cuales se contemplan a continuación aquellos referidos al transporte de explosivos.

### **Artículo 203.**

Las personas autorizadas para venta de explosivos llevarán un libro diario de movimiento de explosivos y un libro auxiliar, en el que asignará una hoja a cada clase de producto, para consignar detalladamente las entradas y salidas de las sustancias reglamentadas, clase y cantidad de la operación, procedencia o destino, número de la guía de circulación y número de identificación del envío. Dichos libros serán foliados, sellados y diligenciados por la Intervención de Armas y Explosivos de la Guardia Civil y se ajustarán a lo previsto en la instrucción técnica complementaria número 20.

Mensualmente, se remitirá al Área de Industria y Energía y a la Intervención de Armas y Explosivos un parte detallado del movimiento habido, que se ajustará a lo que se indica en la instrucción técnica complementaria número 20. La Intervención de Armas y Explosivos remitirá dicho parte a la Intervención Central de Armas y Explosivos de la Guardia Civil, formulando, en su caso, las observaciones que estime oportunas.

### **Artículo 205.**

Las fábricas y talleres llevarán un libro para consignar detalladamente las entradas y salidas de las materias reglamentadas. Dicho libro será foliado, sellado y diligenciado por la Intervención de Armas y Explosivos de la Guardia Civil y se ajustará a lo dispuesto en la instrucción técnica complementaria número 20.

Mensualmente las fábricas y talleres remitirán a la Intervención de Armas y Explosivos correspondiente un parte resumen del movimiento habido. En el caso de fábricas, una copia de este parte se remitirá también al Ministerio de Defensa.

### **Artículo 207.**

Los consumidores de explosivos se clasificarán en:

- a) Consumidores habituales que son aquellos que requieren, para el ejercicio normal de la actividad que desarrollen, el consumo de explosivos. Estos consumidores pueden ser de ámbito nacional, cuando la actividad que desarrollan se extiende de manera habitual por cualquier lugar de la geografía nacional; o de ámbito provincial cuando dicha actividad se circunscribe a una provincia determinada.
  - b) Consumidores eventuales que son aquellos que ocasionalmente precisan el uso de las referidas materias como complemento esporádico de su actividad.
-

#### **Artículo 209.**

Cuando un consumidor habitual de explosivos vaya a iniciar la utilización de los mismos, deberá solicitar del Área de Industria y Energía, y en su caso de su órgano provincial correspondiente, previa presentación de su autorización de utilización de explosivos, un libro talonario de pedidos de suministro; que le deberá ser facilitado, foliado por cuadruplicado, conforme a lo establecido en la instrucción técnica complementaria número 21.

Previamente a la iniciación del consumo, cualquiera que sea el número de veces en que se haya de retirar el explosivo del depósito suministrador, el consumidor cumplimentará, con el detalle del consumo previsto, cuatro ejemplares del pedido de suministro, reteniendo el original y remitiendo las copias a los órganos citados en el apartado anterior. De encontrar conforme la solicitud, se autorizará el suministro, visando las tres copias presentadas, conservando un ejemplar y devolviendo las dos restantes al consumidor.

#### **Artículo 211.**

El pedido de suministro autorizado, a que hacen referencia los artículos anteriores, será condición indispensable para el suministro de la mercancía y deberá hacerse referencia a aquél en la guía de circulación que ampare la circulación de la misma.

El consumidor de explosivos que formalice una compra de éstos remitirá, a tal efecto, al depósito suministrador una copia del pedido de suministro autorizado a que hacen referencia los artículos 209 y 210, sin cuya presentación no podrá realizarse ningún suministro.

#### **Artículo 239.**

A efectos de lo dispuesto en el presente Título, quedarán incluidos en el ámbito de transporte el porte propiamente dicho y las operaciones de carga, descarga y manipulación complementaria, así como los medios empleados en las citadas operaciones. Quedan excluidos a todos los efectos los transportes interiores de explosivos en los lugares de utilización, que se regirán por lo establecido en el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

Se prohíbe el transporte conjunto de detonadores con cualquier otro explosivo, en un mismo vehículo, vagón, bodega de barco o contenedor, sin perjuicio de lo establecido en la instrucción técnica complementaria número 22.

No obstante, los delegados del Gobierno podrán autorizar tales transportes conjuntos, para recorridos que no excedan de 200 kilómetros, siempre que: los detonadores y los explosivos se coloquen en cofres distintos, previamente homologados por el Ministerio de Industria y Energía; que el número de detonadores no exceda de 500 unidades; y que la cantidad de los otros explosivos no sobrepase los 100 kilogramos.

Podrán transportarse conjuntamente con pasajeros, salvo en transportes colectivos de viajeros, hasta 100 cartuchos metálicos y 300 cartuchos de caza o similares por cada

---



usuario. Para la participación en competiciones deportivas, podrá permitirse el transporte de una cantidad mayor de cartuchos, previa autorización de la Intervención Central de Armas y Explosivos de la Guardia Civil. Igualmente, podrán transportarse en estas condiciones artificios pirotécnicos de las clases I y II hasta un total de 15 kilogramos de peso bruto.

#### **Artículo 241.**

Durante las operaciones comprendidas en el transporte de las materias reglamentadas estará prohibido fumar, portar cerillas o cualquier otro dispositivo productor de llamas, sustancias que puedan inflamarse, armas de fuego y municiones, salvo el armamento reglamentario correspondiente a los responsables del transporte.

Estará prohibido realizar por la noche las operaciones de carga, descarga y manipulaciones complementarias.

Podrán concederse excepciones puntuales y concretas a la prohibición anterior, siempre y cuando se disponga de alumbrado suficiente y de autorización, para cada operación concreta, emitida por la autoridad que se indica, sobre los siguientes casos:

- a) Carga y descarga de barcos y aviones, con autorización de la autoridad portuaria o aeroportuaria. Carga y descarga de trenes, con autorización del jefe de dependencia correspondiente.
- b) Carga y descarga de camiones en los polvorines de un depósito, con autorización previa del delegado del Gobierno.
- c) Operaciones a realizar por motivos inmediatos de seguridad.

Se exceptúa de la prohibición anterior la cartuchería.

También se exceptúan de la prohibición contenida en el párrafo 2 de este artículo las operaciones de carga, descarga y manipulación necesarias para la utilización de los productos pirotécnicos, dentro de la población en que tal utilización tenga lugar, si se cuenta con medios adecuados de alumbrado.

#### **Artículo 242.**

Cuando la carga o descarga de las materias reglamentadas se efectúe por medio de grúas, palas u otros elementos auxiliares, se llevará a cabo una revisión periódica de los mismos, para comprobar si se encuentran en perfectas condiciones de funcionamiento. La carga máxima a la que podrán ser sometidos los citados elementos será el 75 por 100 de la que tengan normalmente autorizada. Sólo podrán utilizar carretillas elevadoras eléctricas, servidas por baterías o acumuladores, cuando el equipo eléctrico vaya protegido por una cubierta estanca, salvo para la ventilación de los gases de la batería, y cuando las ruedas lleven llantas de caucho.

En ningún caso se permitirá el empleo de aparatos o instrumentos auxiliares cuando se trate de embalajes que exigen porte manual. En este caso se llevará a cabo por personal adiestrado, que no transportará cada vez un peso superior a 25 kilogramos por individuo.

---

#### **Artículo 243.**

Cualquier transbordo de explosivo de un medio de transporte a otro requerirá la presencia previa del segundo medio, con capacidad de carga suficiente para recibir el envío, en el lugar previsto para efectuar el transbordo.

Si por cualquier causa el destinatario no pudiera hacerse cargo de la mercancía, deberá poner el hecho en conocimiento de la Intervención de Armas y Explosivos de la Guardia Civil, la cual, en todo caso, resolverá sobre las medidas de custodia y vigilancia que considere deben adoptarse o sobre el reenvío de la misma al punto de origen, operación que se efectuará previo aviso y a costa del remitente, sin perjuicio de las responsabilidades que éste pueda exigir al destinatario. Lo dispuesto en este apartado se aplicará con carácter subsidiario en las zonas especiales reservadas para la recepción de transporte de explosivos.

El transbordo de los explosivos se realizará en el menor tiempo posible y siempre conforme a las instrucciones que el Ministerio de Fomento y la Intervención Central de Armas y Explosivos establezcan al efecto.

#### **Artículo 244.**

El transporte de materias reglamentadas deberá estar amparado por la documentación exigida por los reglamentos aplicables al medio de transporte utilizado y por la que, en su caso, se exija por el presente Reglamento para permitir su circulación.

Dicha documentación deberá acompañar a la expedición en todo su recorrido. El destinatario recibirá la misma al hacerse cargo de la mercancía, debiendo conservarla durante tres años a disposición de la autoridad competente.

#### **Artículo 245.**

El transporte de sustancias reglamentadas entre dos puntos del territorio nacional exigirá, además de lo requerido por los reglamentos de transporte, la siguiente documentación:

- a) Pedido de suministro autorizado conforme a lo dispuesto en el artículo 209, cuando se trate de explosivos.
- b) Guía de Circulación, autorizada por la Intervención de Armas y Explosivos de la Guardia Civil del punto de origen de la expedición, cuando se trate de explosivos y cartuchería metálica.
- c) Carta de Porte o documento equivalente.

Se extenderán tantas Guías de Circulación como pedidos diferentes comprenda una expedición.

En el caso de Guías de Circulación que amparen el transporte de explosivos entre fábricas y depósitos comerciales o entre éstos entre sí, no será exigible el pedido de suministro a que hace referencia el párrafo a) del apartado 1 de este artículo.

---

No se requerirá Guía de Circulación para el transporte de cartuchería, pólvora o pistones cuando se realice por titulares de licencias de armas, dentro de los límites fijados en los artículos 186 y 212.

#### **Artículo 246.**

La Guía de Circulación es el documento que ampara el desplazamiento de explosivos y cartuchería metálica entre dos puntos del territorio nacional y en todo momento debe acompañar a su transporte. Su concesión podrá condicionarse al cumplimiento de las medidas de seguridad ciudadana de acuerdo con las normas que se establecen al efecto en la instrucción técnica complementaria número 1. Las citadas Guías de Circulación de explosivos y cartuchería metálica se ajustarán a lo dispuesto en la instrucción técnica complementaria número 20.

#### **Artículo 247.**

El consumidor de explosivos que formalice un pedido de compra remitirá a su proveedor una de las copias visadas a que hace referencia el artículo 209.

El proveedor, de acuerdo con lo establecido en el artículo 245, cumplimentará los cinco impresos de la Guía de Circulación, conservando la matriz y presentando las cuatro copias, para su autorización, a la Intervención de Armas y Explosivos correspondiente a la demarcación donde radique el depósito, adjuntado la copia visada de la autorización de suministro a que se refiere el apartado anterior.

Si la Intervención de Armas y Explosivos autorizase la expedición, ésta remitirá la primera copia de dicha Guía de Circulación a la Intervención de Armas y Explosivos del punto de destino; devolverá la segunda y la tercera al proveedor, y la cuarta la archivará para debida constancia.

#### **Artículo 248.**

La segunda y tercera copias de la Guía de Circulación, en su caso, serán entregadas al transportista o al responsable de la expedición, debiendo acompañar a ésta en todo su recorrido.

El destinatario, al recibir la expedición, comprobará previamente si la misma se ajusta a los términos de la Guía de Circulación, formulando los reparos que estime oportunos en el cuerpo de la misma en presencia del transportista o responsable de la expedición y dando cuenta inmediata de dichos reparos, en su caso, a la Intervención de Armas y Explosivos.

En todo caso, el destinatario comunicará a la Intervención de Armas y Explosivos la recepción de la expedición dentro de las cuarenta y ocho horas desde que ésta haya tenido lugar, presentando la Guía de Circulación recibida del transportista o responsable de la expedición. Dicha Intervención de Armas y Explosivos comunicará a la del punto de origen el término de la expedición y, en su caso, las incidencias habidas.

---

Asimismo, el destinatario remitirá la tercera copia al proveedor, para la debida constancia de éste de la correcta recepción de la mercancía o de los reparos pertinentes, en su caso.

#### **Artículo 249.**

El transporte por carretera de las materias reglamentadas se atenderá, con carácter general, a lo establecido en el Reglamento Nacional del Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (TPC) y en el Acuerdo Europeo para el Transporte Internacional por Carretera de Mercancías Peligrosas (ADR), en su caso.

Así mismo será de general aplicación lo previsto al respecto en el Reglamento de Seguridad Privada y disposiciones concordantes y lo dispuesto en este capítulo y en las instrucciones técnicas complementarias que lo desarrollen.

#### **Artículo 250.**

La competencia en las materias reguladas por el presente capítulo corresponderá a los siguientes departamentos:

- a) Al Ministerio de Interior, respecto a las normas de circulación, conducción y acompañamiento de los vehículos y, especialmente, en cuanto a la regulación de los lugares de carga y descarga, y de estacionamiento, itinerarios y horarios a que deba ajustarse el transporte por carretera, en zonas urbanas y núcleos de población, y régimen de vigilancia del transporte.
- b) Al Ministerio de Fomento, sin perjuicio de las competencias atribuidas a las Comunidades Autónomas en virtud de lo dispuesto en la Ley Orgánica 5/1987, de 30 de junio, sobre Delegación de facultades del Estado en las Comunidades Autónomas, en relación con el transporte por carretera y cable, respecto a la documentación de transporte (Carta de Porte), distintivos, etiquetas y señalización de los vehículos así como el control y vigilancia de su cumplimiento en coordinación con el Ministerio de Interior, a las autorizaciones para dedicarse a efectuar transportes, con la fijación de itinerarios si fuese necesario, coordinándolos previamente con los organismos competentes en materia de tráfico, a la limitación de las cantidades transportadas por unidad de transporte en relación a las características y estado de las mismas, acondicionamiento y estiba de la carga, a lo relacionado con el uso de las infraestructuras a cargo del Departamento por donde discurra el transporte y a la admisión, almacenamiento y manipulación en la zona de servicios de los puertos y aeropuertos.
- c) Al Ministerio de Industria y Energía, respecto de las características técnicas de los vehículos y recipientes utilizados en el transporte y a las pruebas o inspecciones periódicas a que éstos deban someterse.

#### **Artículo 252.**

Se evitará en lo posible efectuar paradas no previstas en la guía de circulación, así como atravesar poblaciones y pasar por zonas de gran densidad de tráfico.

En el transporte de explosivos, los lugares de parada se escogerán en áreas situadas a quinientos metros, como mínimo, de núcleos de población. Las paradas por necesidades de servicio no se efectuarán en la proximidad de lugares habitados. Antes

---

de abandonar la cabina la tripulación se asegurará que el motor esté parado, el cambio de marchas en posición segura y los frenos de seguridad accionados.

En caso de detención por avería, accidente o cualquier otra causa que racionalmente haga presumible un estacionamiento prolongado del vehículo, se adoptarán las medidas de precaución que se estimen necesarias en atención a las circunstancias del lugar y a la naturaleza de las sustancias transportadas, dando cuenta inmediata al puesto de la Guardia Civil más próximo.

#### **Artículo 253.**

Con independencia de lo establecido en los artículos anteriores y siguiente, la regulación en materia de circulación y tráfico de los vehículos que transporten explosivos por carretera se atenderá, en cuanto a lugares de estacionamiento, carga y descarga, itinerarios, horarios, y regímenes de distancias de distribución, a las normas que al efecto dictará, con carácter general, el Ministerio de Interior.

#### **Artículo 254.**

Cuando el recorrido de los transportes de explosivos, incluyéndose en éstos los correspondientes a operaciones de importación, exportación, transferencia y tránsito, se efectúe mediante una unidad de transporte de tipo III (TPC o ADR), a bordo de dicha unidad de transporte debe existir, a disposición de las autoridades competentes, un plan de emergencia, aprobado por la Intervención Central de Armas y Explosivos de la Guardia Civil, en el que, junto a las instrucciones de seguridad para actuaciones en casos de emergencia, deberá figurar:

- a) Un número telefónico de contacto con el responsable del transporte ante casos de emergencia.
- b) Una relación de depósitos de explosivos, con su ubicación exacta, utilizables para almacenamiento accidental.

#### **Artículo 255.**

Queda prohibido al personal de conducción y auxiliar abrir envases que contengan sustancias reglamentadas, salvo que sean requeridos por la autoridad competente.

Salvo en los casos en que esté autorizada la utilización del motor para el funcionamiento de bombas y otros mecanismos que permitan o faciliten la carga o descarga del vehículo, el motor deberá estar parado al realizar estas operaciones.

---

### 3. PROGRAMA DE ACTIVIDADES

En este apartado se describe de forma detallada como llevar a cabo cada ensayo, siguiendo la normativa objeto de estudio en el punto anterior y adaptándolo a las necesidades y características del laboratorio.

#### 3.1. ENSAYO DE ESTABILIDAD TÉRMICA

##### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos térmicos.
- Número de operarios recomendados: Lo ideal sería 3 (en turnos de 8 horas para la vigilancia del horno).
- Duración aprox. del ensayo: 50 horas.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

##### PREPARADO DE LA MUESTRA

Muestras líquidas: Se inserta en un tubo de ensayo un volumen de 100 ml ( $\pm 4$  ml) de la sustancia a ensayar, cuyas partículas superiores a 4 mm (si las hubiera) se desmenuzará antes de ser ensayadas.

Sólidos compactos: Deben ensayarse en forma de bloques cilíndricos con un diámetro de 49 mm y una longitud de 50 mm ( $\pm 1$  mm); dicha muestra tendrá un taladro para albergar el termopar, cuyo diámetro no excederá los 0,3 mm y su profundidad lo situará a 2 mm del centro del bloque. La muestra se situará, una vez preparada, en el tubo de ensayo.

Sólidos granulares: Se ensayan sin compactar, introduciendo en el tubo de ensayo un volumen de 100 ml ( $\pm 4$  ml) de la sustancia.

##### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se ajusta la temperatura del horno a 75°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) y se pesa uno de los tubos de ensayo vacíos.
2. Si no se dispone de información sobre el comportamiento teórico térmico de la sustancia, este ensayo se ejecutará previamente con una muestra de 5 g para determinar si explota a 75°C, en caso contrario, se coloca la muestra a ensayar en un tubo de ensayo que hemos pesado.
3. Pesamos de nuevo el tubo de ensayo, esta vez conteniendo la muestra para determinar su masa y obtener su densidad de carga.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Siendo:  $\rho$  = densidad de carga (g/ml)  
 $m$  = masa de la muestra de ensayo (g)  
 $V$  = volumen de la muestra de ensayo (ml)

4. Se pasan los cables del termopar 1 a través del dispositivo de cierre, de manera que la unión del termopar quede a unos 2 mm del centro de la muestra de ensayo. En caso de los sólidos compactos, se colocará en el taladro ciego.
5. Se colocan 100 ml ( $\pm$  2 ml) de la sustancia de referencia en el otro tubo de ensayo, utilizando el procedimiento descrito anteriormente, pero esta vez no es necesario pesarlo.
6. Se inserta el termopar 2 en su interior de la misma manera que se colocó el termopar 1 y se cierra el tubo.
7. Se coloca el termopar 3 en el segundo tubo por fuera, a la misma altura que los otros termopares.
8. Los dos tubos se colocan en el interior de la estufa, separados unos 10 cm como mínimo. Los termopares se conectan al sistema de registro de temperaturas, que se pondrá en funcionamiento. Los termopares 1 y 2 registrarán las temperaturas de la muestra y el termopar 3 la temperatura ambiente en el interior del horno.
9. Al alcanzar la temperatura de 75°C, se libera la presión y se continúa el ensayo durante 48 horas, a menos que exista alguna anomalía, en cuyo caso se dará el ensayo por finalizado.
10. Se apaga el horno y se examina la muestra después de que se haya enfriado y se pesa para determinar si hay pérdida de masa.

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a esta norma.
- El resultado del ensayo que será "Reacción" o "Ninguna reacción".
- Detalles sobre cualquier cambio de color o pérdidas de masa.
- En caso de que el resultado sea reactivo incluirá:
  - o Estallido de llama después de ....h
  - o Calentamiento máximo hasta ....°C después de ....h
  - o Rotura del disco de rotura o incremento de la presión por encima de los 60 kPa en el sistema cerrado después de ....h
- Si procede, las dimensiones o el tamaño de grano de la muestra.
- La densidad de carga en g/ml.

### 3.2. ENSAYO DE SENSIBILIDAD AL ROZAMIENTO

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos mecánicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 1 hora.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de -40°C a +80°C.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Sustancias sólidas que se fragmentan fácilmente o que están en forma pulverulenta: Las sustancias granulares se deben pasar a través de un tamiz con una luz de malla nominal de 0,5 mm.

Las sustancias que han sido comprimidas, moldeadas o consolidadas de cualquier otra forma se deben romper en pequeños fragmentos antes de cribar. La fracción que pase a través del tamiz es la que se debe utilizar para el ensayo.

En el caso de las sustancias que contienen más de un componente, la fracción del tamiz utilizada en el ensayo debe ser representativa de la muestra original.

Se toma una muestra de la sustancia preparada con un medidor cilíndrico de 10 mm<sup>3</sup> de capacidad (2,3 mm de diámetro por 2,4 mm de longitud) y se coloca en el equipo de ensayo de rozamiento.

Sustancias plásticas aglomeradas y otros sólidos que no se fragmentan fácilmente: Estas sustancias se deben ensayar en forma de discos o pastillas de 10 mm<sup>3</sup> y un diámetro mínimo de 4 mm.

Sustancias tipo gel o pasta: Para estas sustancias se rellena un molde de 0,5 mm de espesor de pared, con una abertura de 2 mm x 10 mm, se coloca sobre el equipo y se retira el molde cuidadosamente.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. La placa de porcelana se debe fijar sobre el carro, de manera que los surcos dejados por las marcas de la esponja sean transversales a la dirección del movimiento.
  2. Se fija el punzón de porcelana al carro en el dispositivo de carga.
  3. Se coloca la sustancia a ensayar sobre la placa y se coloca el punzón sobre la muestra de manera que cuando la placa se mueva, la muestra se desplace bajo el punzón.
  4. Se ajustan los pesos sobre el dispositivo de carga, colgando un peso sobre una de las muescas del anillo del equipo. El primer ensayo se hará a 360 N, siguiendo
-



la relación de pesos especificados en la tabla 1. Las muescas en el dispositivo de carga se disponen en distancias de 110 mm ( $\pm 2$  mm), 160 mm ( $\pm 2$  mm), 210 mm ( $\pm 2$  mm), 260 mm ( $\pm 2$  mm), 310 mm ( $\pm 2$  mm) y 360 mm ( $\pm 2$  mm) del eje del punzón de porcelana y se numeran de 1 (110 mm) a 6 (360 mm) respectivamente. Los nueve pesos diferentes son de 0,28 kg, 0,56 kg, 1,12 kg, 1,68 kg, 2,24 kg, 3,36 kg, 4,48 kg, 6,72 kg y 10,08 kg.

**Tabla 1**  
Cargas posibles para el dispositivo de carga (en N)

Peso nº	Muesca nº					
	1	2	3	4	5	6
1	5	6	7	8	9	10
2	10	12	14	16	18	20
3	20	24	28	32	36	40
4	30	36	42	48	54	60
5	40	48	56	64	72	80
6	60	72	84	96	108	120
7	80	96	112	128	144	160
8	120	144	168	192	216	240
9	180	216	252	288	324	360

5. Se acciona el interruptor una vez y se observa el comportamiento de la sustancia bajo el ensayo, tras lo que se clasificará como "Reacción" o "Sin reacción".
  - 5.1. En caso de observar alguna reacción, se continúa el ensayo con cargas más bajas de forma escalonada hasta que no se observe ninguna reacción, siguiendo la relación de pesos citados en la tabla 1. Una vez alcanzada la carga aparentemente no reactiva, se repetirá cinco veces más el ensayo para asegurarse de que no se produce reacción alguna.
  - 5.2. Sí en la primera prueba con 360 N no se observa ninguna reacción, se repetirá el ensayo cinco veces más y de mantenerse sin reacción, se considerará a la sustancia como insensible al rozamiento.
6. Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-3.

La norma también indica la importancia de utilizar únicamente una vez cada parte de la superficie de la placa y el punzón. Los dos extremos del punzón se pueden utilizar para una prueba cada uno y las dos superficies de rozamiento de la placa se puede utilizar para tres pruebas cada una.

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma EN 13631-3.
- La granulometría de la muestra bajo ensayo, si es relevante.

- Las condiciones ambientales durante el ensayo.
- Los resultados de todas las series de ensayo expresados de la siguiente manera:
  - o Carga de rozamiento
  - o Número de pruebas totales
  - o Número de pruebas con un resultado de reacción
- Sensibilidad a la fricción (N).

### 3.3. SENSIBILIDAD AL IMPACTO

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos mecánicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 1 hora.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de -40°C a +80°C.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Sustancias sólidas que se rompen fácilmente o que están en forma pulverulenta: Las sustancias granulares se deben pasar a través de un tamiz con una luz de malla nominal de 0,5 mm.

Las sustancias que han sido comprimidas, moldeadas o consolidadas de cualquier otra forma se deben romper en pequeños fragmentos antes de cribar, y se pasarán por un tamiz de 1 mm de luz. La fracción que pase a través del tamiz de 1 mm y no sean capaces de pasar por el tamiz de 0,5 mm, serán las que se deben utilizar para el ensayo.

En el caso de las sustancias que contienen más de un componente, la fracción del tamiz utilizada en el ensayo debe ser representativa de la muestra original.

Para cada ensayo se toma una muestra de la sustancia, preparada como se ha descrito anteriormente, con una medida cilíndrica de 40 mm<sup>3</sup> de capacidad (3,7 mm de diámetro x 3,7 mm de longitud).

Sustancias plásticas y otros sólidos que no se fragmentan fácilmente: Estas sustancias se deben ensayar en forma de discos o pastillas de 4 mm de diámetro y unos 3 mm de espesor (40 mm<sup>3</sup> de volumen).

Sustancias tipo gel o pasta: Para estas sustancias no es necesaria ninguna preparación especial. Se debe seleccionar una muestra con un medidor cilíndrico de 40 mm<sup>3</sup> de capacidad (3,7 mm de diámetro x 3,7 mm de longitud). El medidor se debe introducir en la sustancia y después de rasar el sobrante, la muestra se debe retirar del medidor por medio de una varilla de madera. En el caso de sustancias que contengan más de un componente, la muestra utilizada debe ser representativa de la original.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se coloca el martillo apropiado y el dispositivo de escape a la altura de caída requerida y se fija el dispositivo de escape a las guías.
2. Se coloca el dispositivo de impacto en el anillo de centrado sobre el yunque intermedio sin el cilindro de acero superior.
  - 2.1. Se colocan las muestras sólidas directamente sobre el dispositivo de impacto. Se coloca el cilindro de acero superior en el dispositivo de impacto y se presiona suavemente hasta que toque la muestra, lo que se conoce por una resistencia

perceptible, para anotar la altura entre el cilindro superior y el collar. Se evitará el aplastamiento de la muestra en la medida de lo posible. En los siguientes ensayos se tomará la misma altura que en el inicial.

- 2.2. Se colocan las muestras líquidas en el dispositivo de manera que la ranura entre el cilindro de acero inferior y el anillo guía quede llena. Se baja cuidadosamente el cilindro de Acero superior hasta que su cara inferior esté 2 mm por encima del cilindro inferior. Se mantiene en esa posición con un anillo toroidal de goma. Si el efecto de la capilaridad ocasiona que la muestra exude alrededor de la parte superior del collar, se limpia el montaje y se introduce otra muestra.
3. Se coloca centrado el dispositivo de ensayo lleno sobre el yunque intermedio y se cierra la caja de madera de protección.
4. Se comienza el ensayo con una energía de impacto de 0,1 J, esto es con un peso de 5 kg y una altura de 20 cm, se deja caer el martillo y se observa el comportamiento de la muestra.
5. Según el resultado del ensayo se determinará como “Reacción” o “Ninguna reacción” el resultado del ensayo.
  - 5.1. Si se observa alguna reacción se repetirá el ensayo escalonadamente con la siguiente energía de impacto más baja hasta que no se observe ninguna reacción. Con este nivel de energía repetiremos cinco veces más el ensayo.
  - 5.2. Si no se observa ninguna reacción se repetirá el ensayo escalonadamente con la siguiente energía de impacto mayor hasta que se observe alguna reacción, repitiendo cinco veces el ensayo con el peso del último ensayo que no reaccionó. Si se llega a 50 J en el ascenso escalonado de ensayos, se repetirá cinco veces más dicho ensayo a esta energía de impacto.
6. Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-4.

## ELABORACIÓN DEL INFORME

Al terminar el ensayo, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma UNE-EN 13631-4.
- Tamaño de grano de la muestra sometida a ensayo, si procede.
- Condiciones ambientales durante el ensayo.
- Resultados de todos los ensayos con los siguientes datos:
  - o Altura de caída
  - o Martillo
  - o Número de ensayos totales
  - o Número de ensayos que han resultado en una reacción
- Sensibilidad al impacto (J).

### 3.4. RESISTENCIA AL AGUA

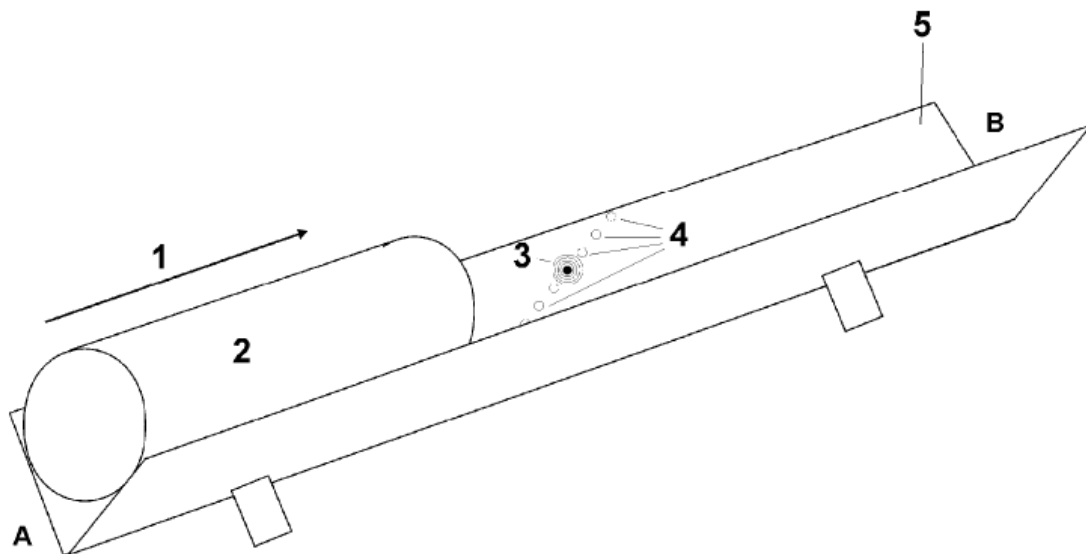
A no ser que el fabricante declare que la composición del explosivo es intrínsecamente resistente al agua, el material de recubrimiento debe someterse a un ensayo preliminar. Además, distinguiremos dos tipos de ensayo según si el explosivo viene encartuchado o a granel.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos hidráulicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 7 horas.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de 0°C a 99°C.

#### ENSAYO PRELIMINAR (SI PROCEDE)

1. La guía se coloca horizontalmente sobre una mesa.
2. Se coloca un cartucho en la guía de manera que uno de sus extremos esté en línea con el extremo A de la guía.



#### Leyenda

- 1 Dirección de empuje
- 2 Cartucho de explosivo
- 3 Clavija en posición
- 4 Agujeros para la clavija
- 5 Guía

Fig. 1 – Guía en forma de V y cartucho

3. En función del diámetro del cartucho, se coloca la clavija en uno de los agujeros, de manera que esté en línea con el área del cartucho que toca la guía.

4. Se empuja el cartucho a lo largo de la guía hacia el extremo B. No se aplica ninguna fuerza vertical.
5. Se rota 90° el cartucho y se repite el ensayo hasta que se obtengan cuatro marcas de la clavija.
6. Se repite este procedimiento con un total de tres cartuchos.
  - 6.1. Se inspeccionan las marcas muy cuidadosamente y se determina si hay alguna perforación visible. Si no hay ninguna perforación del recubrimiento, se asume que es una parte integral de la resistencia al agua del producto. En ese caso, la resistencia al agua del explosivo se debe determinar utilizando el cartucho tal y como se suministra en el mercado.
  - 6.2. Si hay alguna perforación del recubrimiento, no se asume que es una parte integrante de la resistencia al agua del explosivo. En este caso, la resistencia del explosivo se debe determinar utilizando muestras de ensayo que consistirán en cartuchos modificados mediante el corte de perforaciones.
7. Al terminar el ensayo preliminar, los resultados se incluirán en el informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-5.

Los cartuchos utilizados en los ensayos preliminares no se utilizarán en ensayos posteriores. Una vez terminados los ensayos preliminares (en caso de que hubieran sido necesarios) se pasará al ensayo de resistencia al agua.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

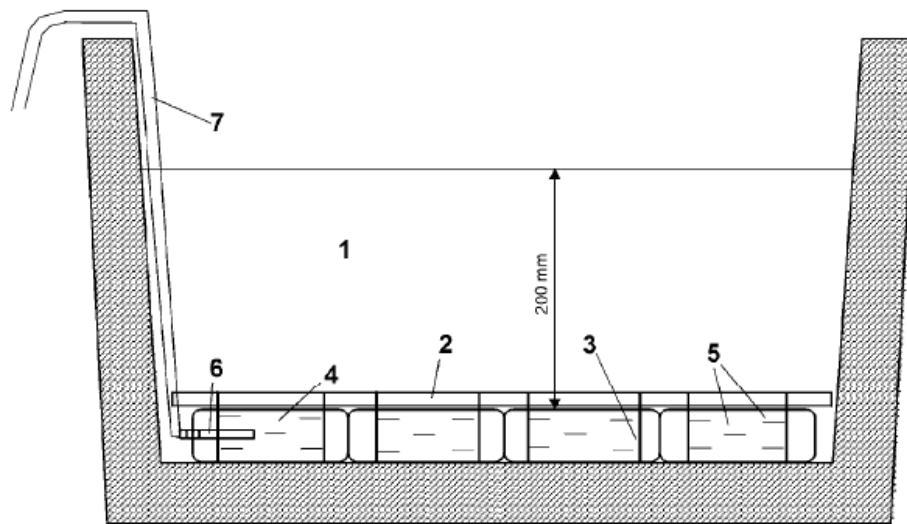
Explosivo encartuchado: Si el fabricante declara que la composición del explosivo es intrínsecamente resistente al agua, entonces se deben perforar todos los cartuchos de la muestra de ensayo, que deberán tener una longitud total de, al menos, 0,5 m; cada perforación deberá tener aproximadamente 20 mm de longitud, 0,5 mm de anchura y 5 mm de profundidad. El número de perforaciones tiene que ser tal que haya una perforación por cada 30  $cm^2$  de superficie y estar uniformemente distribuidas por toda la circunferencia.

Explosivo a granel: Se preparará una muestra de explosivo representativa, que se introduce en bolsas de plástico con perforaciones. Las bolsas deberán tener el diámetro más pequeño para el que está previsto el uso del explosivo, tal y como declare el fabricante, siendo su longitud, al menos, diez veces su diámetro. Las características de las perforaciones son las mismas que para los explosivos encartuchados.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO PARA EXPLOSIVOS EN CARTUCHOS

1. Se fija longitudinalmente la muestra de ensayo con una varilla de madera o metálica. Si la muestra de ensayo está formada por dos o más cartuchos, no debe haber huecos visibles entre ellos.

2. Se prepara para la iniciación la muestra de ensayo según especifique el fabricante de los explosivos en términos de capacidad de iniciación, según la norma EN-13631-10.
3. Se sumerge la muestra de ensayo en agua entre 20°C y 30°C, con una profundidad de 200 mm. Se inicia la muestra de ensayo al cabo de cinco horas.
4. Si los cartuchos son demasiado grandes para el método de ensayo descrito, se puede utilizar un tanque tubular de plástico de la longitud adecuada como contenedor. En ese caso, la muestra de ensayo debe tener una longitud igual a diez veces su diámetro. Se inserta la muestra de ensayo en el tubo orientado verticalmente, se prepara la iniciación con los medios descritos en el punto 2 de este procedimiento y se llena el tubo con agua entre 20°C y 30°C, hasta que la parte superior del tubo quede cubierta como mínimo por 200 mm de agua, iniciando la muestra al cabo de cinco horas.
5. Finalmente, para ambos casos se evalúa si ha tenido lugar una detonación completa.



**Leyenda:**

- 1 Agua
- 2 Varilla de madera
- 3 Cable
- 4 Cartucho
- 5 Perforaciones
- 6 Detonador
- 7 Hilo conductor

**Fig. 3 – Montaje para el ensayo de explosivos encartuchados**

6. Si los métodos descritos anteriormente no son adecuados, el explosivo se debe ensayar utilizando un barreno en una cantera o mina. El diámetro del barreno debe ser el que utiliza normalmente para acomodar el diámetro de la muestra de ensayo o, para el caso de explosivos a granel, el diámetro mínimo recomendado por el fabricante del producto. El barreno debe estar al menos 3 m por debajo del nivel freático del agua. Tras eliminar el agua, el barreno se rellenará en un plazo de 60 minutos como máximo. Se carga el barreno con el explosivo sometido a ensayo y se prepara para el disparo de forma normal. Se esperará cinco horas más el tiempo necesario para el llenado del barreno y se iniciará la carga.

7. Finalmente se evaluará si ha tenido lugar una detonación completa y se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-5.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO PARA EXPLOSIVOS A GRANEL

1. Se coloca la muestra de ensayo en una tubería de plástico, con un diámetro interno que sea el doble del diámetro de la bolsa.
2. Se prepara para la iniciación la muestra de ensayo según especifique el fabricante de los explosivos en términos de capacidad de iniciación, según la norma EN-13631-10.
3. Se inicia la muestra de ensayo al cabo de cinco horas.
4. Se evalúa si ha tenido lugar una detonación completa.
5. Si los métodos descritos anteriormente no son adecuados, el explosivo se debe ensayar utilizando un barreno en una cantera o mina. El diámetro del barreno debe ser el que utiliza normalmente para acomodar el diámetro de la muestra de ensayo o, para el caso de explosivos a granel, el diámetro mínimo recomendado por el fabricante del producto. El barreno debe estar al menos 3 m por debajo del nivel freático del agua. Tras eliminar el agua, el barreno se rellenará en un plazo de 60 minutos como máximo. Se carga el barreno con el explosivo sometido a ensayo y se prepara para el disparo de forma normal. Se esperará cinco horas más el tiempo necesario para el llenado del barreno y se iniciará la carga.
6. Finalmente se evaluará si ha tenido lugar una detonación completa y se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 y la norma UNE-EN 13631-5.

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma UNE-EN 13631-5.
- Los parámetros de ensayo:
  - o Temperatura del agua (°C)
  - o Longitud de la columna del cartucho (bolsa o barreno)
  - o Diámetro del cartucho (bolsa o barreno)
  - o Material de embalaje, si procede
- En explosivos encartuchados, el resultado del ensayo preliminar y si se hicieron perforaciones previas, si procede.
- El número de columnas de cartucho o de tuberías de plástico totales.
- El número de columnas de cartucho completamente detonados (o de tuberías de plástico).



### 3.5. RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos hidráulicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 8 horas.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de 0°C a 80°C y hasta 60MPa según el equipo de ensayo.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Explosivos encartuchados: Se ensayan tres cartuchos con el diámetro mínimo puesto en el mercado para uso bajo presión hidrostática.

Explosivos a granel: Se preparan y ensayan tres cartuchos con un diámetro igual al diámetro mínimo del barreno especificado por el fabricante para el producto, siendo la longitud cinco veces su diámetro.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se fija el cartucho al sistema testigo y se inserta el conjunto, junto con el iniciador, en el interior del tubo de disparo.
2. Se cierra el tubo de disparo por ambos extremos, con la tubería de entrada de agua y los cables eléctricos en posición.
3. Se llena completamente el tubo de disparo con agua.
4. Se mide la temperatura del agua inmediatamente antes de cada ensayo.
5. Se aplica, como mínimo, la presión máxima especificada por el fabricante del explosivo, no superando el 5% del valor del mismo.
6. Se mantiene la presión durante dos horas.
7. Una vez transcurrido este tiempo, se desconecta o aísla el sistema de presión, manteniendo la presión hidrostática en el tubo de disparo.
8. Se conectan los cables eléctricos y se inicia el iniciador.
9. El ensayo se repite tres veces a menos que se produzca un fallo, en tal caso, se anota como resultado del ensayo "Fallo" y se da por terminado. Se elaborará un informe con los resultados que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.

## ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma UNE-EN 13631-6.
- La temperatura del agua inmediatamente antes de cada ensayo.
- El diámetro de los cartuchos.
- La presión aplicada.
- El sistema de testigo utilizado.
- Los medios de iniciación.
- El resultado:
  - o “Pasa”, si los tres cartuchos detonaron
  - o “Fallo”, si no se cumplió la condición anterior

### 3.6. TRANSMISIÓN DE LA DETONACIÓN

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Área de ensayos de detonación.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 2 horas.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de -30°C a +80°C.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Las muestras, iniciadora y receptora, deben ser cartuchos comerciales de igual diámetro y que se correspondan con el menor diámetro que se comercialice.

Para asegurar una detonación estable, la longitud del cartucho será, al menos, de cinco veces el diámetro, pudiendo incrementarse según se necesite, tal y como se describe en la norma 13631-14.

Cuando la longitud de los cartuchos suministrados sea inferior a la requerida para satisfacer el párrafo anterior, se debe preparar una carga uniendo dos o más cartuchos (los necesarios). En el caso de cartuchos de extremos redondeados, se debe cortar el extremo de dos cartuchos y éstos se deben unir y asegurar mediante cinta adhesiva.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se separan los cartuchos una distancia determinada, medida entre los extremos de los cartuchos de extremo plano tal y como se muestra en Fig. 1. Para los cartuchos de extremos redondeados se colocan en contacto dichos extremos sin presionarlos, y se mueve el cartucho la distancia requerida, tal y como muestra la Fig. 2.
  2. Los explosivos encartuchados para los que el fabricante declara que es necesario el confinamiento, se deben montar tal y como se muestra en la Fig. 5 para los explosivos no sensibles al cebo en cartuchos de extremos redondeados, y se deben mostrar tal y como se muestra en la Fig. 6 para explosivos sensibles al cebo en cartuchos de extremos planos.
  3. Se mide la temperatura de la muestra.
  4. Se atan coaxialmente los cartuchos al soporte con cinta adhesiva o cuerda.
  5. Cuando el ensayo se lleva a cabo sin confinamiento, se suspende libremente el conjunto por encima del suelo tal y como se muestra en las figuras 3 y 4.
  6. Se ceba el explosivo con un detonador o con un multiplicador de la potencia especificada por el fabricante en términos de capacidad de iniciación, de acuerdo con el apartado 5.1 de la norma EN 13631-10.
-

7. Se inserta el detonador en el primer cartucho o, si se utiliza un multiplicador, se inserta el detonador en el multiplicador como se muestra en la Fig. 7, y se ata dicho multiplicador al extremo plano del primer cartucho, que se debe cortar si es necesario. El diámetro del multiplicador debe ser inferior o igual al diámetro del cartucho.
8. Se dispara el cartucho iniciador y se detecta la detonación en el cartucho receptor mediante los medios adecuados.
9. Se incrementa o disminuye la separación entre los cartuchos a intervalos, según corresponda. El intervalo puede ser mayor al inicio y de 1 cm al final del proceso. No es necesario empezar con los cartuchos en contacto.
10. El resultado del ensayo es el valor máximo del diámetro a la que se transmite la detonación tres veces de tres intentos.
11. Se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.

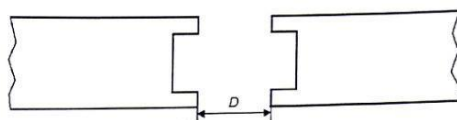


Fig. 1 – Medición de la separación para cartuchos de extremos planos

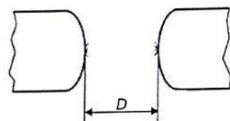
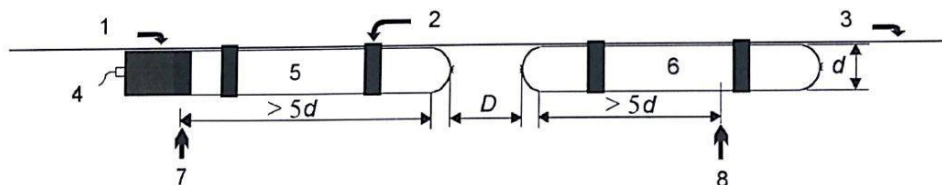


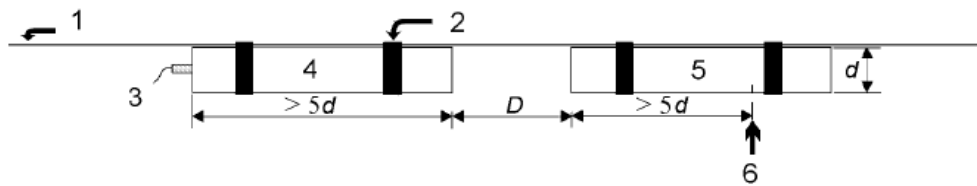
Fig. 2 – Medición de la separación para cartuchos de extremos redondeados



**Leyenda**

- 1 Multiplicador
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Soporte
- 4 Detonador
- 5 Cartucho iniciador
- 6 Cartucho receptor
- 7 Contacto entre el multiplicador y un cartucho con el extremo plano cortado
- 8 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación

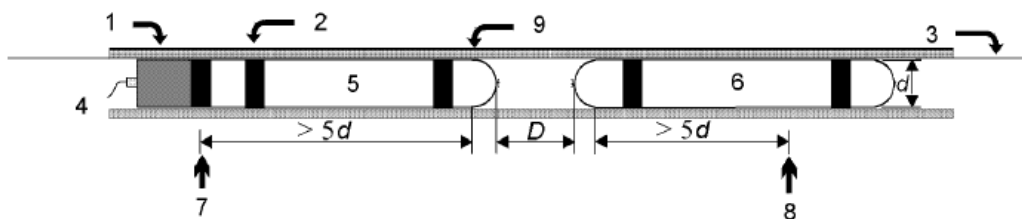
Fig. 3 – Montaje del ensayo con explosivos no sensibles al cebo en cartuchos de extremos redondeados sin confinamiento



Leyenda

- 1 Soporte
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Detonador
- 4 Cartucho iniciador
- 5 Cartucho receptor
- 6 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación

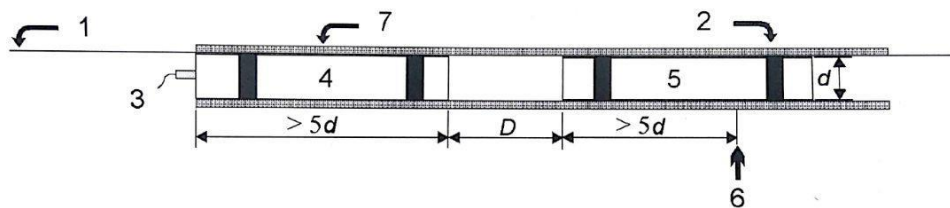
Fig. 4 – Montaje del ensayo con explosivos sensibles al cebo en cartuchos de extremo plano y sin confinamiento



Leyenda

- 1 Multiplicador
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Soporte
- 4 Detonador
- 5 Cartucho iniciador
- 6 Cartucho receptor
- 7 Contacto entre el multiplicador y un cartucho con el extremo plano cortado
- 8 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación
- 9 Tubo de acero

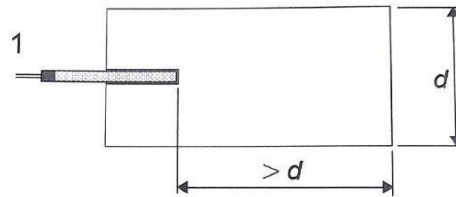
Fig. 5 – Montaje del ensayo con explosivos no sensibles al cebo en cartuchos de extremos redondeados y con confinamiento



Leyenda

- 1 Soporte
- 2 Cinta adhesiva
- 3 Detonador
- 4 Cartucho iniciador
- 5 Cartucho receptor
- 6 Punto de inicio de medición de la velocidad de detonación
- 7 Tubo de acero

Fig. 6 – Montaje del ensayo con explosivos sensibles al cebo en cartuchos de extremos planos y con confinamiento



Leyenda

1 Detonador insertado en una cavidad del multiplicador

**Fig. 7 – Ilustración del multiplicador con un detonador en su sitio**

## ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma europea UNE-EN 13631-11.
- La temperatura de la muestra.
- La forma de los extremos de los cartuchos.
- El diámetro y longitud de los cartuchos.
- El diámetro interno, longitud y espesor de los tubos de acero, si procede.
- Los medios de iniciación utilizados.
- Los medios utilizados para detectar la detonación
- El valor del diámetro máximo en centímetros.

### 3.7. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Para llevar a cabo este ensayo no se requiere de preparación previa de una muestra de peso o dimensiones concretas.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos hidráulicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 30 minutos.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de -40°C a +90°C.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Explosivos encartuchados: Se pesa el cartucho en el aire (masa  $M_1$ ). Se cuelga el cartucho del gancho y se suspende bajo la balanza, de forma que el cartucho quede totalmente sumergido en el depósito, sin que toque el fondo o las paredes laterales, y se vuelve a anotar su peso (masa  $M_2$ ). Se mide la temperatura del líquido y se calcula la densidad.

Se calcula la densidad aparente del explosivo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M_1}{(M_1 - M_2)} \rho_L$$

donde

$\rho$  es la densidad aparente del explosivo, expresada en gramos por mililitro (g/ml);

$M_1$  es la masa del cartucho medida en el aire, expresada en gramos (g);

$M_2$  es la masa del cartucho medida cuando está sumergido en el líquido, expresada en gramos (g);

$\rho_L$  es la densidad del líquido utilizado a la temperatura medida, expresada en gramos por mililitro (g/ml).

Explosivos de fluencia suave: Se coloca un tubo graduado vacío en la balanza y se anota su masa (masa  $M_3$ ). Se introduce un mínimo de 50 g de la sustancia explosiva, se apelmaza ligeramente (para el caso de explosivos sólidos), se anota el volumen del tubo ( $V_1$ ), se vuelve a pesar el tubo y su contenido (masa  $M_4$ ).

Se calcula la densidad aparente del explosivo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M_4 - M_3}{V_1}$$

donde

$\rho$  es la densidad aparente del explosivo, expresada en gramos por mililitro (g/ml);

$M_3$  es la masa del tubo vacío, expresada en gramos (g);

$M_4$  es la masa del tubo y el explosivo, expresada en gramos (g);

$V_1$  es el volumen del explosivo, expresado en mililitros (ml).

**Explosivos sin fluencia suave:** Como densidad aparente de los explosivos sin fluencia suave debe aceptarse la densidad real.

Se calcula la densidad del explosivo con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{M_6 - M_5}{(V_3 - V_2)}$$

donde

$\rho$  es la densidad del explosivo, expresada en gramos por mililitro (g/ml);

$M_5$  es la masa del tubo con el líquido, expresada en gramos (g);

$M_6$  es la masa del tubo con el líquido y el explosivo, expresada en gramos (g);

$V_2$  es el volumen del líquido, expresado en mililitros (ml);

$V_3$  es el volumen del líquido con el explosivo, expresado en mililitros (ml).

## ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma europea UNE-EN 13631-13.
  - La temperatura durante el ensayo.
  - El líquido utilizado, si procede.
  - La temperatura de dicho líquido, si procede.
  - La densidad aparente.
  - La densidad del explosivo.
-



### 3.8. VELOCIDAD DE DETONACIÓN

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Área de ensayos de detonación.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 30 minutos.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de -30°C a +80°C.

#### PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La probeta: Consiste en un cartucho o en una columna de cartuchos de longitud L, que tenga al menos la longitud necesaria para que pueda medir la velocidad de detonación más cinco veces el diámetro del cartucho.

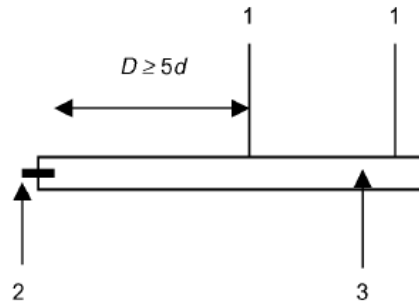
Cuando la longitud de un cartucho individual sea menor a la especificada anteriormente, se preparará la probeta utilizando dos cartuchos. En caso de cartuchos recortados, el extremo de los dos cartuchos debería cortarse para formar una especie plana que no sea inferior al diámetro de la carga y los cartuchos deberían unirse juntándolos y asegurándolos con cinta adhesiva.

Medios de iniciación: Si la probeta consiste en más de un cartucho, se colocan los sensores en el lado opuesto desde el que se inicia la detonación. Se debe utilizar un confinamiento con tubos de acero cuando el explosivo (sin confinar) no proporcione una detonación estable para el diámetro de ensayo.

El diámetro interno del tubo de acero debería ser tal que el cartucho se pueda insertar sin que se deje un gran espacio anular innecesario entre el cartucho y el tubo para evitar el efecto túnel.

La distancia mínima entre los sensores debe ser de 100 mm y la distancia entre el primer sensor y el dispositivo de iniciación debe ser, al menos, cinco veces el diámetro de la carga.

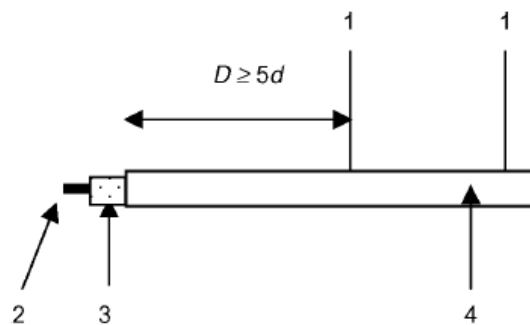
Para iniciar con un detonador, se monta la probeta con el detonador insertado en uno de los extremos y los sensores en el otro, como se muestra en la figura de la siguiente página.



**Leyenda**

- $D$  Distancia entre el extremo del detonador y el primer sensor
- $d$  diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Sensores
- 2 Detonador
- 3 Explosivo a ensayar

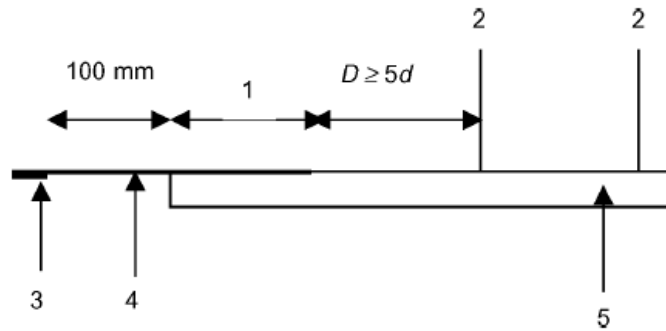
Para iniciar con una carga iniciadora, se monta la probeta con el detonador y la carga de iniciación colocados en uno de los extremos y los sensores en el otro. Para cartuchos recortados se debe cortar el extremo del cartucho para formar una superficie plana y se debe fijar la carga iniciadora. La siguiente figura muestra el montaje del iniciador y el explosivo:



**Leyenda**

- $D$  Distancia entre el extremo de la carga iniciadora y el primer sensor
- $d$  Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Sensores
- 2 Detonador
- 3 Carga iniciadora
- 4 Explosivo a ensayar

Para el montaje de la probeta con cordón detonante, seguiremos el esquema que se muestra en la página siguiente.



**Leyenda**

- D* Distancia entre el extremo del cordón detonante y el primer sensor
- d* Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Solapamiento
- 2 Sensores
- 3 Detonador
- 4 Cordón detonante
- 5 Explosivo a ensayar

El solapamiento entre el cordón detonante y el cartucho debe ser el especificado por el fabricante o el superior a 50 mm y dos veces el diámetro del cartucho. El cordón detonante debe mantenerse en contacto con el explosivo mediante cinta adhesiva.

**EJECUCIÓN DEL ENSAYO**

1. Se mide la temperatura del explosivo.
2. Se inicia el explosivo.
3. Se anota el tiempo que ha necesitado el frente de detonación para pasar entre los dos sensores.
4. Se calcula la velocidad de detonación: Se divide la distancia entre los dos sensores entre el tiempo.

**ELABORACIÓN DEL INFORME**

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma europea UNE-EN 13631-14.
- La temperatura durante el ensayo en grados Celsius.
- La temperatura del explosivo en grados Celsius.
- La velocidad del equipo de detonación utilizado.
- La distancia entre los sensores, en milímetros.
- El tipo de confinamiento:
  - o Espesor
  - o Diámetro
  - o ...

- El diámetro de la carga explosiva, en milímetros.
  - Los valores de la velocidad de detonación, en metros por segundo.
  - Los medios de iniciación.
-

### 3.9. DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE GASES

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de exudación y medición de gases.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 2 horas.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de -30°C a +80°C.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

La muestra será la de menor diámetro comercializado para el caso de los explosivos encartuchados, y que se entubará en tubos de vidrio para los explosivos a granel, con el diámetro mínimo de barreno especificado por el fabricante. La longitud mínima de la columna de explosivo debe ser de 700 mm o, como mínimo, siete veces el diámetro de la carga. La proporción mínima entre volumen de la cámara y masa del explosivo debe ser de 30 g/m<sup>3</sup> y no debe superar los 50 g/m<sup>3</sup>.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se debe anotar la cantidad de explosivo utilizado en cada disparo.
2. Los cartuchos se deben fijar coaxialmente de manera que se asegure la transmisión de la detonación. No se debe utilizar ningún material combustible para centrar longitudinalmente y coaxialmente la carga.
3. Se coloca la carga centralmente en el interior del tubo de acero y se dispara la carga.
4. Se permite que los gases se mezclen durante 5 minutos.
5. Se inicia el muestreo de gas en la cámara de explosión. Se medirá la concentración de gas durante un periodo de 20 minutos.
6. El ensayo se debe repetir tres veces.
7. Finalmente, se elaborará un informe que deberá cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.

La concentración de CO, CO<sub>2</sub> debe ser constante después de un periodo de mezclado inicial, siempre que la cámara de explosión sea lo suficientemente estanca para los gases. Puesto que los gases de NO y NO<sub>2</sub> tienen reacciones secundarias posteriores, la concentración medida se debe extrapolar para obtener la concentración inicial. La concentración inicial de cada componente que tiene nitrógeno se puede obtener haciendo un seguimiento de la correspondiente concentración en función del tiempo transcurrido desde la explosión y extrapolar la curva de resultados hasta el tiempo cero.

---

A partir de las concentraciones iniciales así determinadas, el volumen de la cámara y la cantidad de explosivo disparado, se debe calcular la cantidad de cada gas tóxico en litros por kilogramo de explosivo (a temperaturas y presiones normales).

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025 e incluirá la siguiente información:

- Una referencia a la norma europea UNE-EN 13631-16.
  - El volumen y la temperatura inicial de la cámara de explosión.
  - La temperatura y el método de secado del gas en el tubo de muestreo de gases.
  - El diámetro y la longitud de los cartuchos utilizados.
  - El material y la calidad del recubrimiento de los cartuchos.
  - Los medios de iniciación y confinamiento utilizados.
  - La cantidad de cada gas tóxico (CO, CO<sub>2</sub>, NO y NO<sub>x</sub>) calculado en cada disparo y expresado en l/kg.
  - La cantidad media de cada gas tóxico, en l/kg.
-

### 3.10. VERIFICACIÓN DE LA INICIACIÓN

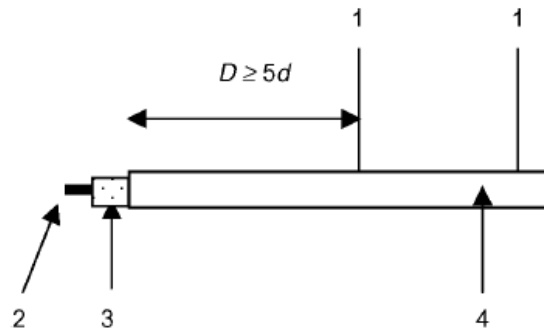
Este ensayo no requiere de preparación de muestra ni de elaboración de informe posterior, es útil sencillamente para el trabajo diario del laboratorio.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Área de ensayos de detonación.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: Variable.
- Limitaciones del ensayo: Intervalo de validez de -30°C a +80°C.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO CON UNA CARGA INICIADORA COMO INICIADOR

Para iniciar con una carga iniciadora, se monta la probeta con el detonador y la carga de iniciación colocados en uno de los extremos y los sensores en el otro. Para cartuchos recortados se debe cortar el extremo del cartucho para formar una superficie plana y se debe fijar la carga iniciadora. La siguiente figura muestra el montaje del iniciador y el explosivo:



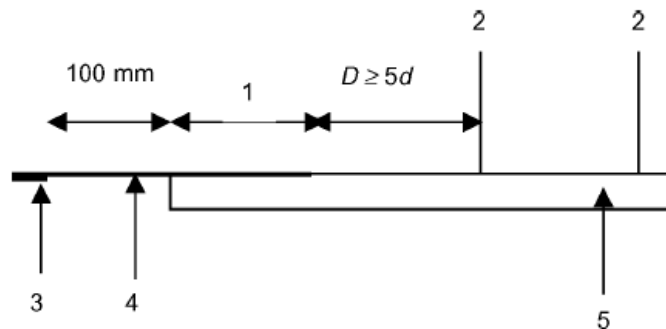
#### Leyenda

- D* Distancia entre el extremo de la carga iniciadora y el primer sensor
- d* Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Sensores
- 2 Detonador
- 3 Carga iniciadora
- 4 Explosivo a ensayar

Se llevan a cabo tres ensayos sobre muestras por separado para cada tipo de iniciación especificada por el fabricante. Se inicia el explosivo y se mide la velocidad de detonación de acuerdo con la norma EN 13631-14.

## EJECUCIÓN DEL ENSAYO CON CORDÓN DETONANTE COMO INICIADOR

Para el montaje de la probeta con cordón detonante, seguiremos el siguiente esquema:



### Leyenda

- D* Distancia entre el extremo del cordón detonante y el primer sensor
- d* Diámetro del explosivo a ensayar
- 1 Solapamiento
- 2 Sensores
- 3 Detonador
- 4 Cordón detonante
- 5 Explosivo a ensayar

El solapamiento entre el cordón detonante y el cartucho debe ser el especificado por el fabricante o el superior a 50 mm y dos veces el diámetro del cartucho. El cordón detonante debe mantenerse en contacto con el explosivo mediante cinta adhesiva.

Se llevan a cabo tres ensayos sobre muestras por separado para cada tipo de iniciación especificada por el fabricante. Se inicia el explosivo y se mide la velocidad de detonación de acuerdo con la norma EN 13631-14.



### 3.11. PRUEBA DE TRAUZL

Este ensayo es aplicable, en su versión de prueba ordinaria, a las sustancias explosivas sensibles al detonador y, en la versión de prueba reducida, a los cebos y detonadores, por tanto, distinguiremos entre ambos procedimientos.

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos mecánicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 1 hora.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Se pesan 10g de explosivo a ensayar ( $\pm 0,1$  g). Si la muestra tiene una humedad mayor que la especificada por el fabricante, se dejará secar hasta su nivel de humedad óptimo.

Para el caso del ensayo ordinario, se prepara un cartucho cilíndrico de 25 mm de diámetro, tal y como aparece en la Fig. 3, con papel de estaño recortado en forma de trapecio rectangular de 70 mm de altura, 150 mm de base mayor y 130 mm de base menor, en el que se introducen los 10 g del explosivo.

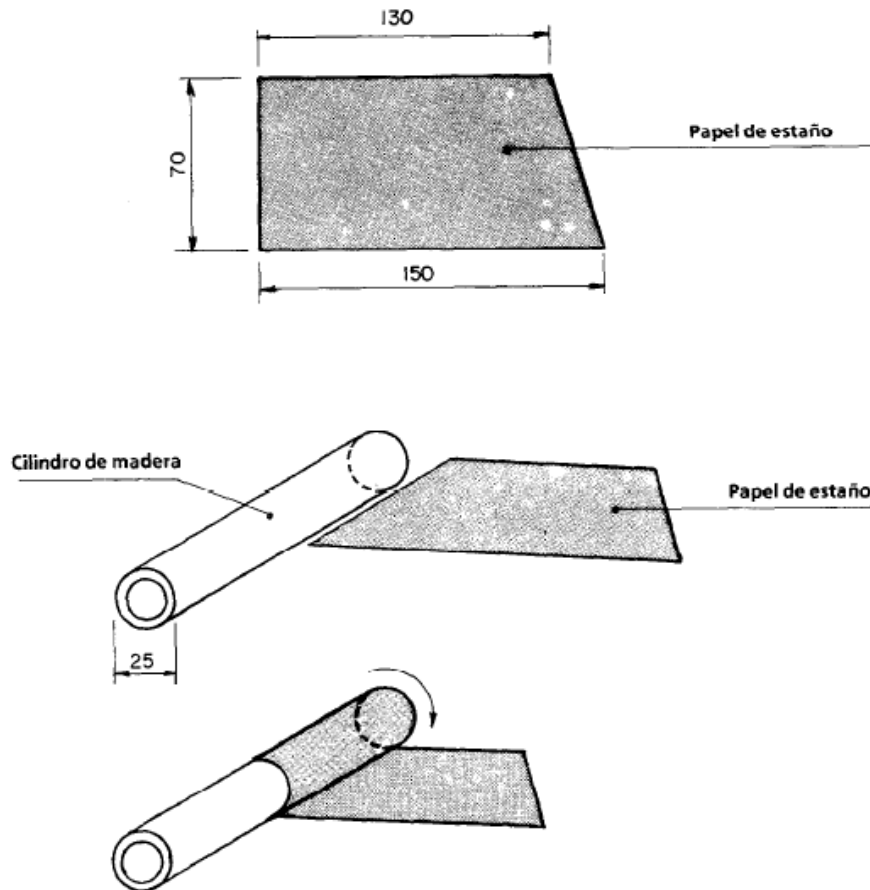


Fig. 3 – Preparación del cartucho

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO ORDINARIO

1. Se coloca un detonador, del tipo definido en el preparado de muestra en el centro del cartucho sin llegar a tocar el fondo. El detonador se conecta con un sistema de encendido, bien eléctrico o de mecha.
2. La temperatura del bloque de plomo medida en la base de la cavidad deberá ser de 288 K. De no ser así, se aplicará una corrección del +0,25% del volumen inicial por cada grado de temperatura menos, y -0,25% del volumen inicial por cada grado de temperatura más.
3. Previa comprobación que la cavidad del bloque de plomo está vacía y limpia, una vez determinado el volumen, se asienta esta sobre una base de acero con una base aproximada de 1 m x 1 m y de un espesor mínimo de 5 mm. Esta base estará apoyada directamente sobre el suelo.
4. Se introduce cuidadosamente el cartucho, previamente preparado, hasta el fondo de la cavidad del bloque, con la precaución de que la mecha o los hilos conductores del sistema de encendido se mantengan en el eje de la cavidad.

5. Se rellena el resto de la cavidad con arena hasta el borde, de forma suave y continua, sin choques, sacudidas ni atacado. Se enrasa la arena con la cara superior del bloque, retirando el exceso de arena que haya quedado sobre el borde de la cavidad, tal y como puede verse en la Fig. 4.

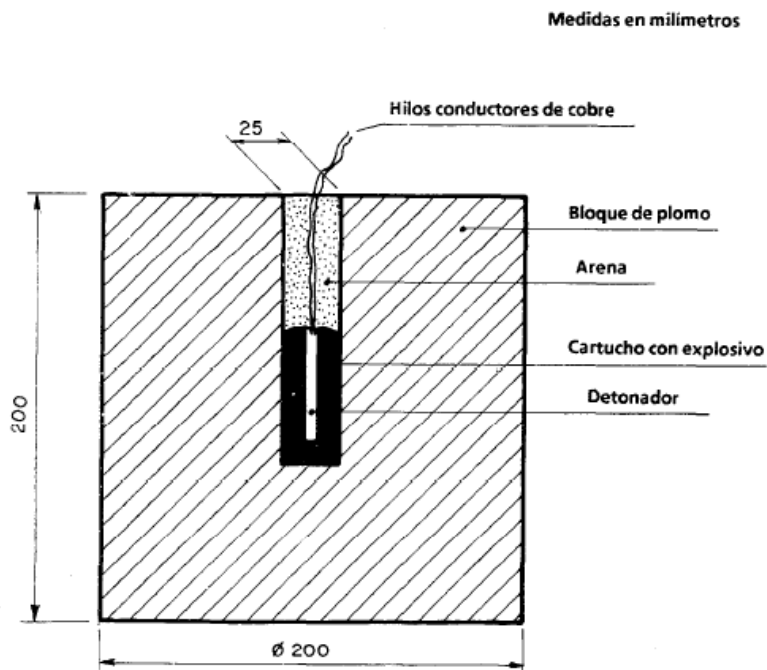


Fig. 4 – Situación del cartucho y detonador en el interior del bloque de plomo

6. Se inicia el explosivo mediante el encendido de la mecha o pulsando el disparador eléctrico y, una vez disipados los gases de la explosión, se invierte el bloque y se limpia cuidadosamente la cavidad, extrayendo los posibles residuos adheridos a las paredes sin dañarlas ni erosionarlas.
7. Se mide con agua el volumen final de la cavidad. El aumento de volumen correspondiente al efecto del explosivo se obtiene restando de dicho volumen final la suma de los volúmenes correspondientes a la cavidad inicial y al efecto del detonador.

El volumen correspondiente al efecto del detonador se habrá determinado previamente en un único ensayo, con plomo de la misma colada, introduciendo el detonador hasta el fondo de la cavidad y rellenándola con arena.

Para cada explosivo se realizan, por lo menos, tres ensayos con bloques procedentes de la misma colada. El bloque no debe presentar grietas por la parte de la cavidad. Si hay dudas, se corta según un plano que pase por el eje. En caso de grietas se desestimará el valor obtenido en el ensayo.

## EJECUCIÓN DEL ENSAYO REDUCIDO

1. Se introduce el cebo o detonador a ensayar hasta el fondo de la cavidad axial del bloque de plomo sin ningún relleno. Es importante el cuidado de la cavidad durante la colocación de la mecha o los hilos de conducción, así como su asentamiento sobre la placa de acero, siguiendo las pautas del procedimiento ordinario.
2. En relación a la temperatura e inspección del bloque de plomo se actuará conforme a lo citado en el ensayo ordinario, procediéndose seguidamente a su detonación.
3. Se determina el volumen de la cavidad midiéndolo con agua.

## ELABORACIÓN DEL INFORME

En los resultados del ensayo se utilizarán estas expresiones: Volumen Trauzl, que corresponde a la media aritmética de los volúmenes medidos después de la explosión y expresados en  $cm^3$ . Ensanchamiento Trauzl, que corresponde con el volumen Trauzl menos el volumen inicial y el producido por el detonador. Índice Trauzl, que corresponde al cociente entre el ensanchamiento Trauzl del explosivo ensayado y el del ácido pícrico. El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.

A continuación se muestra un ejemplo de la tabla resumen que deberá aparecer en el informe como resultado del ensayo:

	Volumen TRAUZL $cm^3$	Ensanchamiento TRAUZL $cm^3$	Índice TRAUZL
Acido pícrico	365	300	1
TNT 2° grado	340	275	0,9
Goma pura (93% nitroglicerina 7% nitrocelulosa)	615	550	1,8

### 3.12. PRUEBA ABEL A 80°C

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos térmicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 30 minutos.
- Limitaciones del ensayo: Los materiales (tubos, varillas, pinzas...) se lavarán con agua destilada antes del ensayo y una vez limpios, no se tocarán con los dedos. Además, la luz solar no debe incidir directamente sobre los papeles indicadores.

#### PREPARADO DE MUESTRAS

El ensayo se realizará con tres muestras del producto y una en blanco, es decir, con papel indicador-reactivo, pero sin muestra en el tubo. El tamaño de la muestra será de 2 g ( $\pm 0,1$  g). En el caso de los líquidos, se pasarán antes por dos papeles de filtro previamente desecados en la estufa.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se introduce la muestra en el tubo de ensayo hasta el fondo, teniendo cuidado de que no haya contacto con las paredes del tubo.
  2. Se fija el papel reactivo al gancho de la varilla por uno de sus extremos, en posición vertical.
  3. Se impregna una parte del papel con la disolución glicerina. El contacto con la zona húmeda y seca será lo más regular posible.
  4. Se introducen los tapones con las varillas y el papel indicador en los tubos de ensayo, procurando que los papeles no rocen las paredes de los tubos.
  5. Deslizando las varillas a través de los tapones, se sitúan los papeles indicadores, de forma que su borde inferior esté a 76 mm de distancia del borde de la muestra.
  6. Se introducen los tubos de ensayo en el baño, previamente calentado a 80°C, y se pone en marcha el cronómetro indicando el comienzo de la prueba.
  7. El resultado de dicho ensayo se expresa en minutos, indicando el tiempo transcurrido hasta que aparece la primera coloración en la línea de separación entre la zona húmeda y la zona seca del papel indicador de cualquiera de las muestras ensayadas. Igualmente podrá expresarse el resultado indicando que el tiempo transcurrido es superior a un determinado valor.
-

## ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025. Se especificará el tipo de papel reactivo-indicador utilizado en el informe y como resultado, los tiempos de coloración.

### 3.13. TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN EN NITROCELULOSAS, PÓLVORAS Y EXPLOSIVOS

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos térmicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 1 hora 30 minutos.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Pólvoras de grano grueso: Las que no pasen por el tamiz 2 especificado por la norma UNE 7.050, se partirán en trozos y se triturarán en un molino especial para pólvoras, recogiendo la porción que quede retenida entre dicho tamiz y el 1,6 de la misma norma.

Otras: Para el resto de sustancias la muestra se tomará directamente.

La muestra, esté en el estado físico en el que esté, se deseca en un desecador de ácido sulfúrico.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Los tubos de ensayo se limpiarán cuidadosamente antes de cada determinación, lavándose con una disolución muy diluida de hidróxido de sodio en agua destilada; después se lavarán varias veces con agua destilada comprobando previamente la pureza de esta con un papel indicador.
  2. Se introducirá en cada tubo 0,1 g de muestra, excepto en el caso de la trilita (TNT), que la cantidad a introducir será de 0,2 g. No deben quedarse partículas de la muestra adheridas a las paredes del tubo.
  3. En el interior de otro tubo igualmente preparado se colocará el termómetro, sujetándolo a aquél por medio de un tapón horadado. El depósito del termómetro no deberá estar en contacto con el vidrio del tubo, y el extremo del tubo deberá quedar respecto de la parte más baja del fondo del tubo a la misma altura que alcance la superficie libre de la muestra en el tubo correspondiente.
  4. Se dispone el aparato que se vaya utilizar incorporando el tubo que contiene el termómetro. La parte más baja del fondo de dicho tubo deberá quedar, si el aparato de calentamiento es de baño de aceite, parafina o silicona, a una distancia de 30 mm del fondo del baño, y sumergido al menos 20 mm; en los aparatos del bloque termostático, se introducirá hasta el fondo del alojamiento.
  5. Se calentará el aparato comprobando el ascenso de la temperatura por medio del termómetro y regulando que dicho ascenso sea de 5°C por minuto en el caso de nitrocelulosas o pólvoras, y 20°C por minuto cuando la muestra es de explosivo.
-

6. Cuando la muestra alcance los 100°C se colocará el tubo con la muestra pesada, de tal modo que quede su fondo a la misma altura relativa que la indicada para el tubo que contiene el termómetro.
7. Se continua con el calentamiento de la muestra hasta que se produzca la inflamación de la misma, en ese momento se dará por terminado el ensayo.
8. Se anotará la temperatura a la que se produzca la inflamación de la muestra en cada tubo. Cuando el aparato solo utilice un tubo para la muestra, el ensayo debe repetirse tres veces, anotando cada vez la temperatura a la que se produce la inflamación, y se tomará como temperatura de inflamación la promedia de las citadas. Se anotarán también las características de los equipos en el informe, y en caso de tener alguna lectura anómala, se repetirá la prueba.

Las variaciones en las condiciones del ensayo tienen influencia en los resultados y, por tanto, cuando se observe alguna irregularidad en el ascenso de la temperatura o no se hace a la velocidad indicada, se repetirá el ensayo para eliminar las irregularidades citadas.

Se tendrá en uso el aparato de calentamiento durante toda la operación, con el objetivo de que el calentamiento sea uniforme y esté uniformemente repartido.

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025, en el que se anotará la temperatura a la que se produzca la inflamación de la muestra en cada tubo por separado.

Cuando el equipo solo utilice un tubo para la muestra, el ensayo debe repetirse tres veces, anotando cada vez la temperatura a la que se produce la inflamación, y se tomará como temperatura de inflamación la promedia de las citadas.

Se anotarán también las características de los equipos en el informe, y en caso de tener alguna lectura anómala, se repetirá la prueba, dejándolo reflejado.

---



### 3.14. MÉTODO LUNGE

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de exudación y medición de gases.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 2 horas.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Mercurio puro: Deberá estar perfectamente seco y exento de hierro.

Ácido sulfúrico reactivo del 92% al 96% de riqueza: Exento de hierro y de óxidos de nitrógeno.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se prepara el equipo: Se coloca el tubo (2) con su extremo superior por encima de la llave (4) del nitrómetro, de forma que el volumen de dicho tubo, que sobrepasa a la llave, sea algo superior al del gas NO. A continuación, se vierte el mercurio por el tubo compensador, manteniendo la llave del nitrómetro en la posición de la Fig. 6, hasta que el mercurio penetre en la copa (6). Entonces se cambia la llave a la posición de la Fig. 5, o sea, en comunicación del tubo lateral (5), hasta que salga un poco de mercurio por este último. Se pasa entonces la llave a la posición de cierre, Fig. 7, y se baja el tubo compensador, de forma que el nivel de mercurio en él quede un poco más bajo que la llave, fijándolo en su soporte. Si durante 2 horas no ha experimentado variación de nivel el mercurio en el nitrómetro, ello demuestra que el cierre es perfecto y que ha quedado hecho el vacío en el interior del nitrómetro. El aparato está en condiciones de operar.
  2. Depende del estado físico y de la naturaleza del compuesto nitrogenado que se analice. En general, consiste en disolver completamente la sustancia en ácido sulfúrico, de concentración determinada, en frío o caliente. Si la muestra es sólida, esta operación se facilita pulverizando la sustancia finamente. Las cantidades de muestra, su preparación, como asimismo las cantidades de ácido sulfúrico que se han de emplear, se especifican en la norma correspondiente a cada producto que se desee ensayar.
  3. Una vez introducida la muestra en el equipo, la operación debe hacerse con toda escrupulosidad, así como el volumen correspondiente de ácido sulfúrico, y con la llave en la posición de cierre, se levanta el tubo (2), y sacando el tubo nitrómetro de su soporte, se inclina varias veces hasta ponerlo casi horizontal, evitando que el ácido se ponga en contacto con el tubo de goma de unión.
  4. Se agita el tubo (1) durante unos 10 minutos, cambiándolo de posición durante este tiempo, y a continuación, se deja en reposo 15 minutos.
-

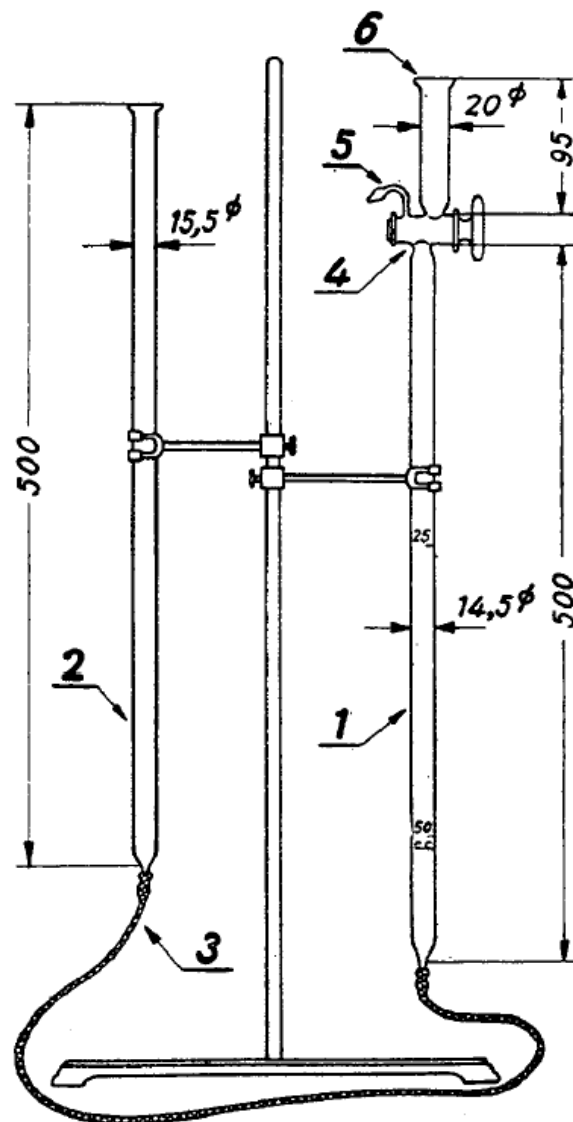


Fig. 1.

5. Para comprobar si la reacción está terminada, se vuelve a agitar durante 3 minutos y se deja nuevamente en reposo, de forma que el nivel de la llave quede en la misma posición en las dos operaciones, y si no hay variación de volumen, se deja enfriar durante media hora, hasta temperatura ambiente.
6. Para lavar las paredes de la porción del tubo nitrómetro que contiene el gas producido, se vierten en la copa unos centímetros cúbicos de ácido sulfúrico y se baja el tubo compensador, de forma que el nivel del mercurio en él sea un poco inferior al que tiene en el tubo nitrómetro.

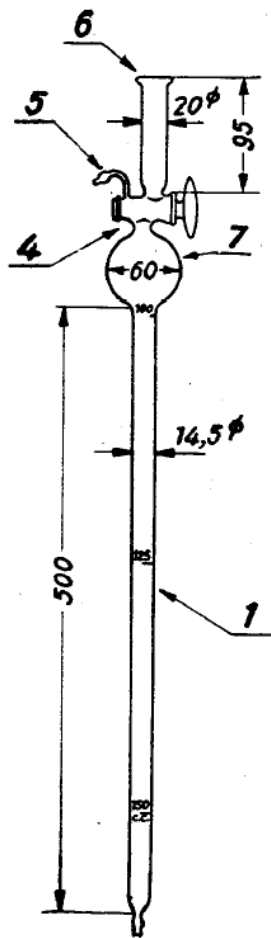


Fig. 2.

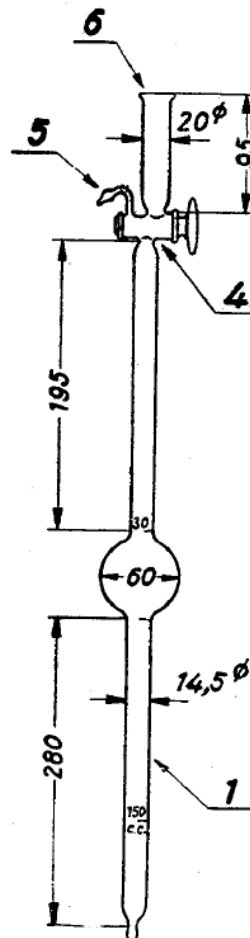


Fig. 3.

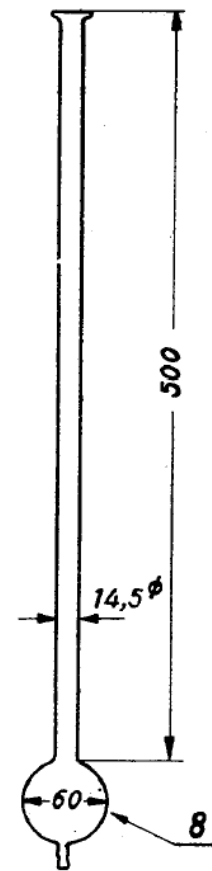


Fig. 4.

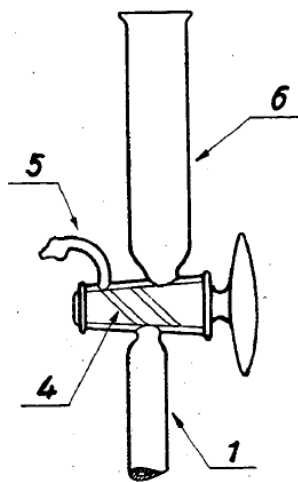


Fig. 5.

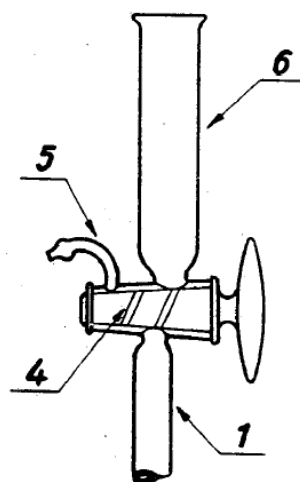


Fig. 6.

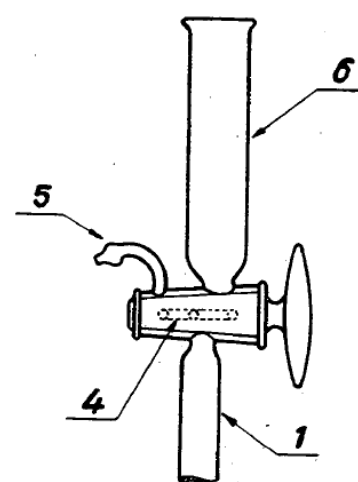


Fig. 7.

7. Se coloca la llave en la posición de la Fig. 6, con lo cual entrará ácido, consiguiéndose el lavado pretendido. Sin embargo, no debe dejarse entrar todo el ácido que hay en la copa, para lo cual cuando solo queden unas gotas se llevará a la posición de la Fig. 7.

8. Para llevar el gas a la presión atmosférica actual, se maniobra con el tubo compensador y la llave hasta el momento en que dejada ésta en la posición de la Fig. 6, ni las gotas de ácido sulfúrico que quedan en la copa penetren en el tubo, ni el gas salga al exterior.
9. Se lee entonces el volumen gaseoso. Se anota la temperatura ambiente mediante un termómetro contrastado, colocado de forma que el bulbo quede a la mitad de la altura de la columna gaseosa.
10. Se determina la presión atmosférica en el momento de la experiencia, introduciendo la corrección necesaria.
11. Se aplica la fórmula siguiente:

$$\% N = \frac{V \times p \times 0,06256 \times 273}{760 (t + 273) G}$$

Siendo:

- V = Volumen leído en el nitrómetro, una vez corregido por el disuelto, en  $cm^3$ .
- p = Lectura barométrica corregida, expresada en Torr.
- t = Temperatura en grados Celsius.
- G = Peso de la muestra en gramos.

12. Al volumen de gas leído se le añade  $0,035 cm^3$  por cada centímetro cúbico del volumen del líquido ácido, para tener en cuenta el gas disuelto por el ácido sulfúrico. En caso de necesitar mayor precisión, se puede medir la presión del vapor del líquido y restarla de la presión atmosférica.

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025, especificando como resultado el cálculo porcentual de nitrógeno obtenido en el ensayo.

---

### 3.15. ESTABILIDAD A LA LLAMA

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos térmicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 20 minutos.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

#### PREPARADO DE LA MUESTRA

Se toma una muestra, previamente desecada, del explosivo a ensayar, que ha de ser de 0,1 g de peso en el estado físico en el que se encuentre organizada, aunque se preferirán muestras pulverizadas tomando las precauciones necesarias según el explosivo del que se trate.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. El quemador se enciende en su posición fuera de la mesa.
2. Se regula la longitud del dardo de llama, de forma que sea exactamente de 2 cm medidos con una regla de contraste.
3. El operador prepara el cronómetro en una mano y con la otra, gira la palanca de mando del quemador hasta su tope, de forma que en el preciso momento de incidir el dardo sobre la muestra, se pulse el mecanismo que ponga en marcha el cronómetro, y se mide el tiempo que tarda el explosivo en fundir, carbonizarse, quemar o hacer explosión.

#### ELABORACIÓN DEL ENSAYO

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025, especificando como resultado el tiempo que tardó la muestra en fundir, carbonizarse, quemar o hacer explosión.

---

### 3.16. MÉTODO DE HESS

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de ensayos mecánicos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 30 minutos.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

#### PREPARADO DE MUESTRAS

Se preparan tres muestras de 40 g ( $\pm 1$  g) del explosivo para el ensayo.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se carga el recipiente de explosivo.
2. Se coloca el recipiente cargado sobre el cilindro de plomo interponiendo el disco de acero y sujetando el recipiente.
3. Se sujetan el cilindro y el disco con cinta adhesiva.
4. Se perfora el disco de cartón en el centro y se coloca sobre la superficie de la carga explosiva, introduciendo por este orificio un detonador de ensayo en la carga del explosivo, de tal forma que quede vertical, como en la Fig. 1 (mostrada en la página siguiente).
5. Se sitúa el conjunto descrito sobre una base horizontal de cemento o sobre una placa de hierro y se inicia el detonador.
6. Se mide, en milímetros, la altura del cilindro de plomo en su eje después del disparo.

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025, donde se determinará el aplastamiento como la diferencia entre la altura inicial del cilindro y su altura después del disparo.

El poder rompedor del explosivo ensayado es la media de los aplastamientos medidos en los tres ensayos realizados. El resultado se expresa en milímetros con una cifra decimal y se incluye en el informe.

---

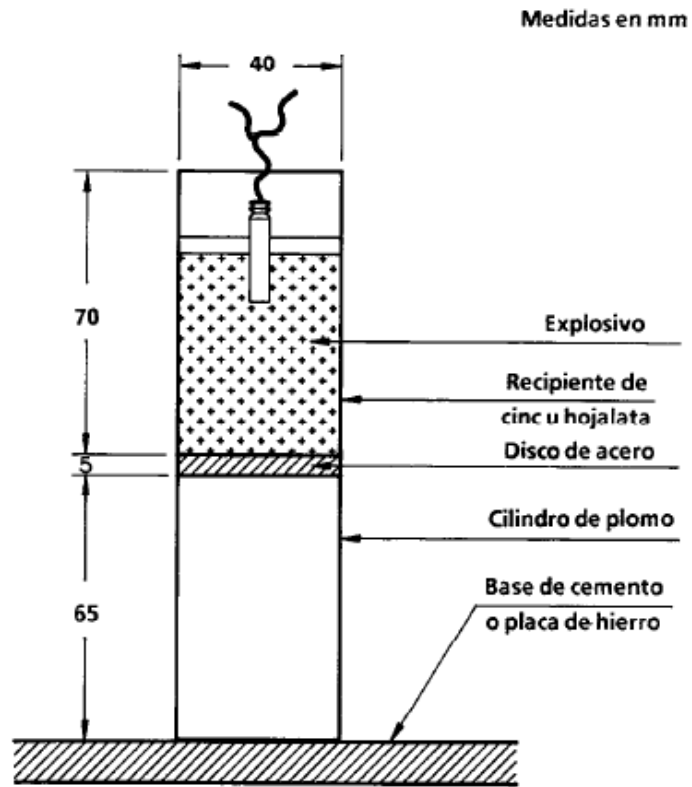


Figura 1

### 3.17. PÉNDULO BALÍSTICO

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Área de ensayos balísticos.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 2 horas.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

#### PREPARADO DE MUESTRAS

Se pesan 10 g del explosivo a ensayar con una precisión de  $\pm 0,1$  g. Si las muestras a ensayar tuvieran un contenido en humedad mayor al indicado por el fabricante, se secarán hasta obtener el valor indicado.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Preparación de la carga del ensayo, que debe ser un cartucho cilíndrico de 25 mm de diámetro como el de la Fig. 4, con papel de estaño recortado en forma de trapecio rectangular de 70 mm de altura, 150 mm de base mayor y 130 mm de base menor, en la que se introducen 10 g de explosivo.
  2. Se coloca un detonador en el cartucho sin llegar a tocar el fondo.
  3. Antes de cada serie de disparos, el proyectil y la recámara se limpiarán cuidadosamente de la grasa que lleva para la conservación después de los disparos, con papel de lija fina.
  4. La carga preparada se introduce de manera que esté situada a una distancia igual de las paredes de la cámara de explosión en la que se sitúa, mientras se tira de los hilos del detonador eléctrico o mecha hasta que la carga alcance la superficie del fondo del proyectil.
  5. Se coloca el cursor en la posición cero de la escala graduada.
  6. Se inicia el explosivo mediante el encendido de la mecha o pulsando el disparador eléctrico. Al disparar la carga, el proyectil sale lanzado del mortero y el retroceso del mismo queda registrado mediante el cursor.
  7. Una vez disipados los gases de la explosión, se anota la lectura de la escala.
  8. El primer disparo se utiliza para eliminar cualquier vestigio de residuo que pudieran tener la cámara y el proyectil. Seguidamente se realizan cinco ensayos del explosivo a ensayar.
  9. Con el explosivo de referencia (goma pura) se utiliza el mismo método: Un tiro de limpieza y tres disparos válidos, de los que haremos la media aritmética.
-



## ELABORACIÓN DEL INFORME

Para evaluar los resultados, RB y RB' son los desplazamientos del mortero producidos por el explosivo a ensayar y la goma pura de referencia, respectivamente, los segmentos AR y A'R son las proyecciones de dichos desplazamientos sobre el eje OR. Como interesa establecer la proporción entre los segmentos AR y A'R que representan el trabajo de los explosivos para elevar el mortero a los puntos A y A', el cálculo se realiza según la proporción siguiente:

$$\frac{AR}{A'R} = \frac{\%}{100}$$

$$\% \text{ Potencia} = \frac{AR}{A'R} \times 100$$

Para calcular AR y A'R, se llevará a cabo el siguiente razonamiento:

$$OA = r \times \cos \alpha$$

$$OA' = r \times \cos \alpha'$$

$$AR = OR - OA$$

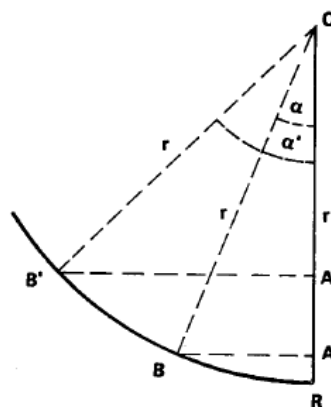
$$A'R = OR - OA'$$

$$AR = r - r \times \cos \alpha$$

$$A'R = r - r \times \cos \alpha'$$

$$AR = r(1 - \cos \alpha)$$

$$A'R = r(1 - \cos \alpha')$$



Sustituyendo en la proporción anterior los valores obtenidos, se obtiene la fórmula final:

$$\% \text{ Potencia} = \frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos \alpha'} \times 100$$

Tras registrar los resultados de los cinco ensayos y con el valor medio de los resultados de la goma pura, se calcula la fuerza del explosivo como potencia relativa en el péndulo balístico. Los resultados se expresarán sin cifras decimales.

Además, se pueden utilizar como explosivos de referencia el ácido pícrico, el trinitrotolueno, etc. Para los explosivos de potencia superior al 70%, referido a la goma pura, se puede utilizar como ensayo el alternativo marcado en el Anexo B de la norma UNE 31-302.

Las tablas necesarias para trabajar con la goma pura las podemos encontrar en el anexo A de la norma UNE 31-302. El informe de ensayo también debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025.

### 3.18. EXUDACIÓN DE DINAMITAS

#### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Ubicación de los equipos: Laboratorio de exudación y medición de gases.
- Número de operarios recomendados: 1
- Duración aprox. del ensayo: 1 hora.
- Limitaciones del ensayo: No se especifica.

#### PREPARADO DE MUESTRAS

Se dispone un pequeño cartucho de 30 mm de longitud y 15 mm de diámetro, formado por 5 g a 8 g del explosivo para el ensayo.

#### EJECUCIÓN DEL ENSAYO

1. Se introduce en el interior del cilindro la muestra, envuelta en la tela indicada.
2. Se coloca sobre la muestra el pistón y la carga de 2 220 g ( $\pm 10$  g), al objeto de someter al explosivo a una presión de 120 kPa ( $\pm 0,5$  kPa), o unos 1,2 bares.
3. Se anota el tiempo, en minutos y segundos, desde que se coloca la carga hasta que aparecen las primeras señales de gotitas aceitosas a través de los orificios del cilindro.
4. El resultado se considera satisfactorio si el tiempo en cada uno de los tres ensayos que se efectuarán es superior a 5 minutos.

Para la validez del ensayo, éste debe realizarse a una temperatura ambiente entre 15°C y 25°C.

#### ELABORACIÓN DEL INFORME

El informe de ensayo también debe cumplir con la norma EN ISO/IEC 17025, reflejando como resultado del ensayo el tiempo de exudación de la dinamita.

---

# DOCUMENTO N°2

## DISEÑO DEL LABORATORIO



## 4. ESTRUCTURA DEL LABORATORIO

En este apartado se propone un diseño para el laboratorio que acogerá los ensayos objeto del estudio normativo previo; la distribución de las diferentes instalaciones, mobiliario y un listado de los equipos necesarios.

### 4.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO

Se han distribuido los diferentes ensayos en siete espacios diferentes, de los cuales dos de ellos se encuentran al aire libre y los cinco restantes están dentro de las instalaciones del laboratorio de ensayos. La relación entre los espacios designados y los ensayos es la siguiente:

Espacios destinados a ensayos al aire libre:

- Área de ensayos balísticos.
  - o Ensayo de explosivos en el péndulo balístico.
- Área de ensayos de detonación.
  - o Verificación de los medios de iniciación.
  - o Determinación de la transmisión de la detonación.
  - o Determinación de la velocidad de detonación.

Espacios reservados en el interior de las instalaciones:

- Laboratorio 1: Ensayos de exudación y medición de gases.
    - o Detección y medición de gases tóxicos.
    - o Ensayo de exudación de las dinamitas.
    - o Método de Lunge.
  - Laboratorio 2: Laboratorio químico general.
    - o Preparado de muestras especiales.
  - Laboratorio 3: Ensayos térmicos.
    - o Determinación de la estabilidad térmica.
    - o Medida de la estabilidad a la llama.
    - o Temperatura de inflamación de nitrocelulosas, pólvoras y explosivos.
    - o Prueba Abel a 80°C
  - Laboratorio 4: Ensayos hidráulicos.
    - o Determinación de la resistencia al agua.
    - o Determinación de la resistencia a la presión hidrostática.
    - o Determinación de la densidad.
  - Laboratorio 5: Ensayos mecánicos.
    - o Determinación de la sensibilidad al rozamiento.
    - o Determinación de la sensibilidad al impacto.
    - o Prueba de Trauzl.
    - o Método de Hess.
-

Los laboratorios se han distribuido por áreas de estudio y los ensayos se han asignado por afinidad. El área de ensayos balísticos, a pesar de ser un área de ensayos al aire libre, se proveerá de un techado básico para cubrirlo. El área de ensayos de detonación se proveerá de un muro de protección para evitar daños a los operarios durante los ensayos.

A continuación se muestran los planos pertenecientes al diseño, además de algunos otros de interés general, con las anotaciones más destacadas en su presentación. La relación numérica de los planos es la siguiente:

- Plano 1: Ubicación del laboratorio.
- Plano 2: Situación administrativa.
- Plano 3: Situación orográfica.
- Plano 4: Distribución general.
- Plano 5: Distribución de los polvorines.
- Plano 6: Caseta de vigilancia.
- Plano 7: Laboratorio de ensayos.

### PLANO 1: UBICACIÓN DEL LABORATORIO

En el plano número uno se muestra la red de carreteras que rodea la ubicación del laboratorio de ensayos explosivos, y los accesos para llegar al mismo.

Se puede observar que el acceso por carretera es cómodo y no presenta un riesgo especial para el transporte de materiales explosivos, así que es el que se recomienda escoger para el suministro de los mismos.

La ubicación utilizada como referencia está situada, según el catastro, en el Polígono 52, Parcela 45, de la Sierra G. de Cartagena (Murcia). El laboratorio de materiales explosivos ocuparía el lugar en el que se encontraba la antigua fábrica de explosivos *Río Tinto*, al sur del pueblo de Alumbres, marcado con un círculo rojo sobre el plano, a unos 1000 metros.

Las coordenadas exactas de la ubicación utilizada expresadas en el sistema geodésico mundial de 1984 (WGS 84) son:

- Latitud: 37° 35' 34,937"
- Longitud: 0° 55' 20.542"



Trabajo Final de Grado:  
**ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
 EXPLOSIVOS**

Localización: ALUMBRES, CARTAGENA (MURCIA)

Promotor:  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

Escala: **1:100 000** Fecha: **09/11/2017**

Plano nº:  
**1**  
 Escuela de Ingeniería Civil y Minas



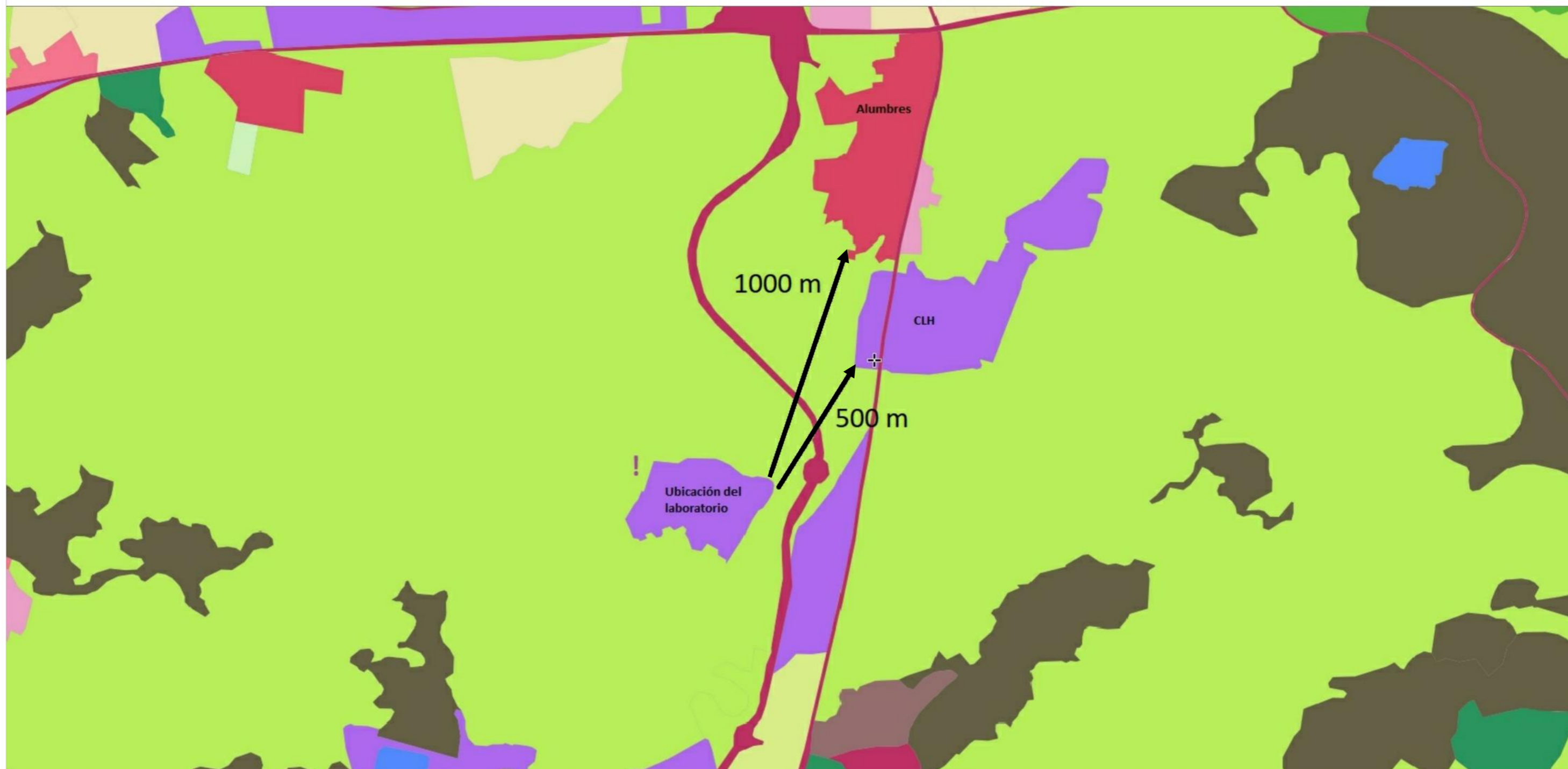


## PLANO 2: SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

En el plano número dos tenemos la distribución catastral y las distancias medidas hasta las instalaciones más cercanas. Podemos observar que los terrenos están calificados para un uso industrial, lo que nos permite utilizarlos con el fin de instalar allí el laboratorio de ensayos de materiales explosivos.

Las distancias medidas hasta construcciones civiles y zonas urbanas más cercanas se cifran en:

- 320 metros los accesos por carretera.
- 500 metros las instalaciones de CLH.
- 1000 metros el pueblo de Alumbres.



**LEYENDA:**

- Azul: Flujos de agua, estanques...
- Rosa: Suelos destinados a viviendas.
- Marrón: Suelos destinados a la minería.
- Verde: Paraje natural.
- Violeta: Suelos destinados a industria.

Trabajo Final de Grado: <b>ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES EXPLOSIVOS</b>		Plano nº: <b>2</b>
Localización: ALUMBRES, CARTAGENA (MURCIA)		Escuela de Ingeniería Civil y Minas
Promotor: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Escala: <b>1:25 000</b>	Fecha: <b>13/11/2017</b>	

### PLANO 3: SITUACIÓN OROGRÁFICA

En el plano número tres se muestra una porción ampliada del mapa 1:25 000 tipo ráster para conocer la situación topográfica del entorno.

Se ha determinado que la situación es ideal para el laboratorio, pues el encoframiento natural producido por las montañas que lo rodean evita que se transmita a las poblaciones cercanas las ondas de choque producidas por posibles detonaciones.



Trabajo Final de Grado:  
**ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
 EXPLOSIVOS**

Localización: ALUMBRES, CARTAGENA (MURCIA)

Promotor:  
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escala: 1:1500

Fecha: 13/11/2017

Plano nº:  
**3**

Escuela de Ingeniería Civil y Minas



#### PLANO 4: DISTRIBUCIÓN GENERAL

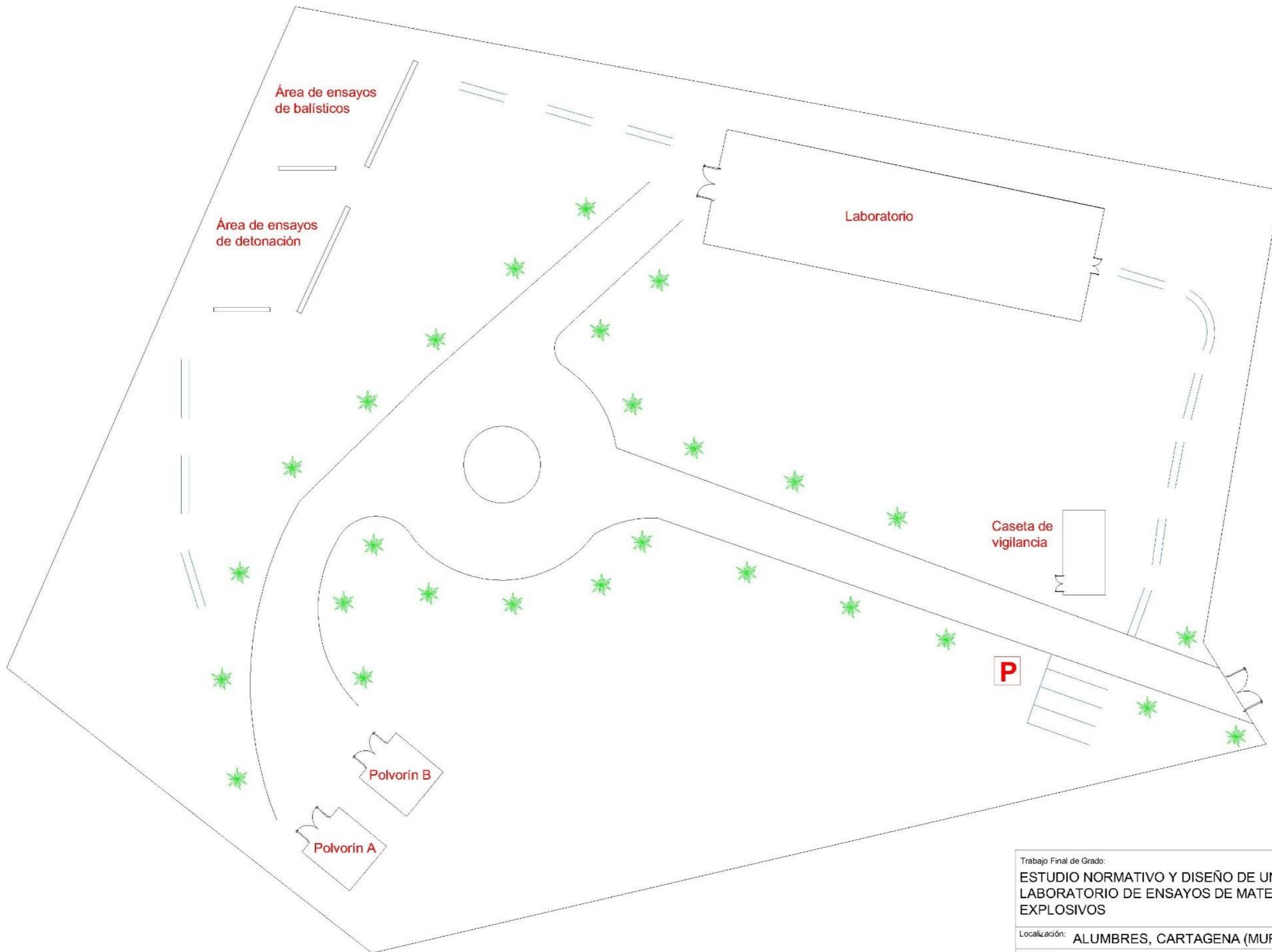
En el plano número cuatro tenemos la distribución de las instalaciones sobre el terreno en la zona limitada para el desarrollo de nuestras actividades.

Todos los ensayos que requieran una detonación comprobada de cargas explosivas se realizarán en el área designada para ello, al igual que los ensayos con el péndulo balístico. Este área se encuentra entre la cobertura natural que ofrecen las elevaciones locales del terreno y un muro de protección para los técnicos.

Los accesos estarán asfaltados y tendrán un ancho de unos 9 metros. El acceso al recinto estará vigilado y cortado por barreras, gestionadas desde una caseta de vigilancia destinada a esta tarea. El parking interior está reservado al personal, y está lo más alejado posible del laboratorio y del polvorín, para la seguridad de estos.

Los polvorines se encontrarán lo más alejados posible del laboratorio y las áreas de ensayo, y en la base de la montaña que rodea al recinto, para enfocar cualquier posible detonación hacia este.

El laboratorio está conectado con el área de ensayos al aire libre, los polvorines y con el parking de acceso. En general, se ha provisto una conexión directa entre todos los puntos relevantes del recinto.



Trabajo Final de Grado:  
**ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES EXPLOSIVOS**

Localización: **ALUMBRES, CARTAGENA (MURCIA)**

Promotor:  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

Escala: **1:500**

Fecha: **15/11/2017**

Plano nº:  
**4**

Escuela de Ingeniería Civil y Minas



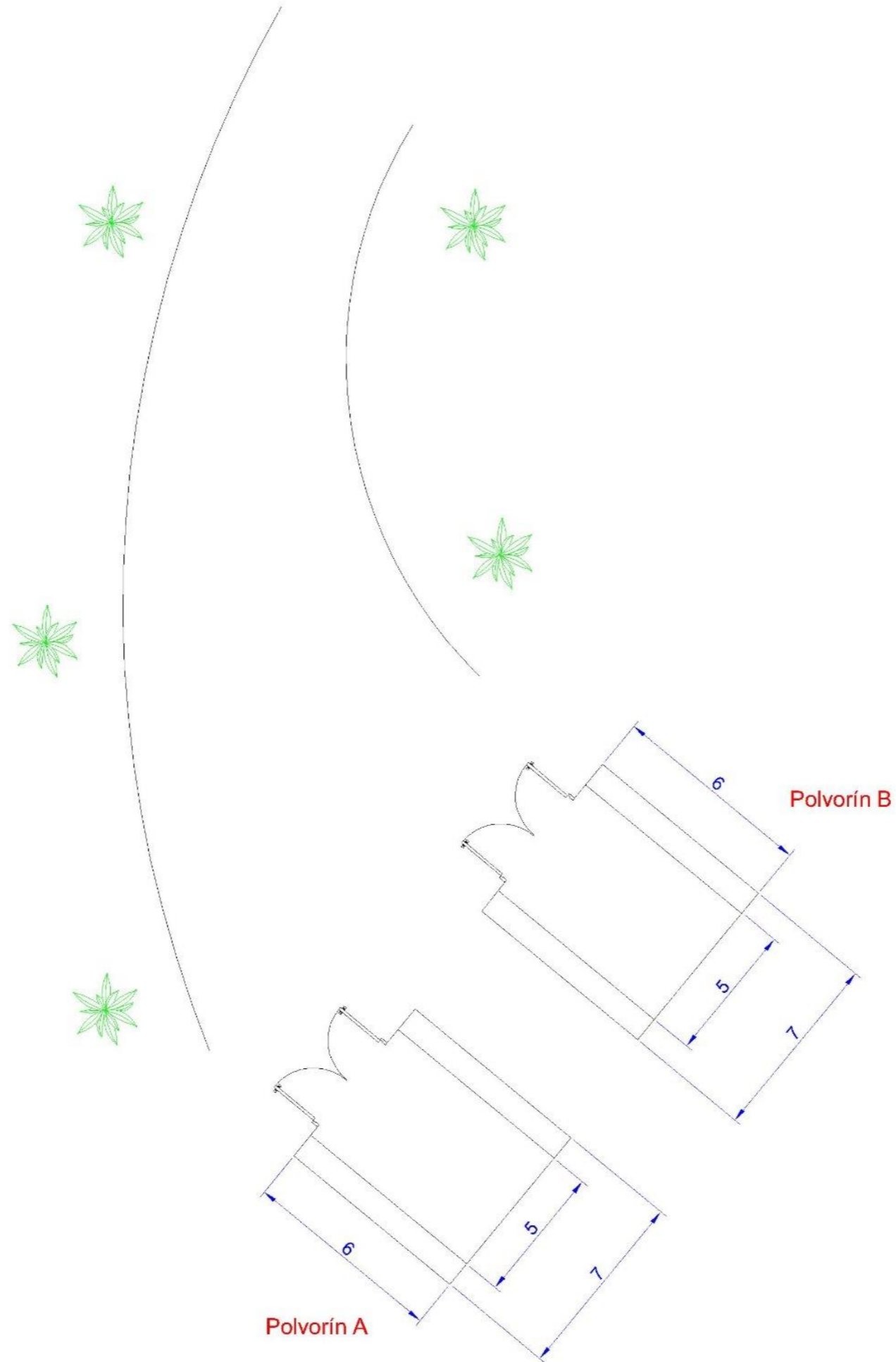
### PLANO 5: DISTRIBUCIÓN DE LOS POLVORINES

En el plano número cinco se muestran las dimensiones de los dos polvorines que se necesitan para almacenar el explosivo que utilizaremos en los ensayos, siendo destinado cada uno a lo siguiente:

- Polvorín A: Almacenará material explosivo y cordón detonante, quedando completamente diáfano de diseño y sin ningún tipo de mobiliario.
- Polvorín B: Almacenará detonadores, quedando completamente diáfano de diseño y sin ningún tipo de mobiliario.

Se han diseñado siguiendo la ITC-9 del Reglamento General de las Normas de Seguridad Básicas Minera, orientados hacia la zona de menor riesgo de daños personales (el frente montañoso) y con una separación entre sí de unos 20 metros, distancia que cumple las restricciones marcadas por la normativa. Serán diáfanos y en su construcción no existirá ningún elemento estructural del propio polvorín en su interior.

La clasificación que recibirán estos polvorines de explosivos es como “Depósitos de ubicación temporal”, cuya limitación según la normativa estará fijada en 5.000 kg de explosivo para cada uno de ellos. Se ha considerado que las otras opciones no eran afines a su situación o a la capacidad mínima necesaria para abastecer al laboratorio.



UNIDADES DE COTA EN METROS

Trabajo Final de Grado:		Plano nº:
ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES EXPLOSIVOS		5
Localización:		Escuela de Ingeniería Civil y Minas
ALUMBRES, CARTAGENA (MURCIA)		
Promotor:		
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
Escala:	Fecha:	
1:200	15/11/2017	





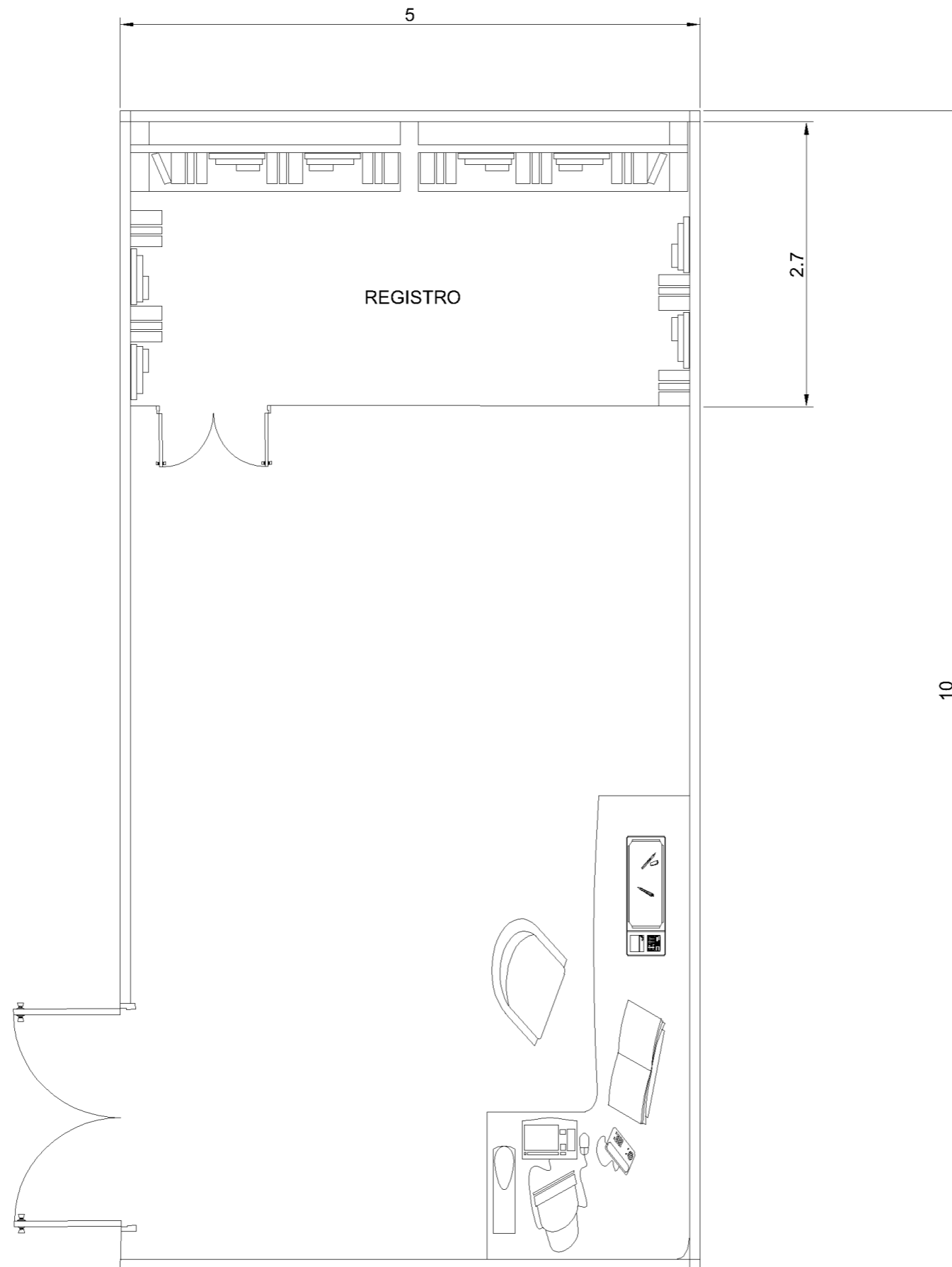
### PLANO 6: CASETA DE VIGILANCIA

En el plano número seis podemos ver las dimensiones de la caseta de vigilancia y su distribución orientativa.


En el interior de la caseta de vigilancia se ha reservado un espacio para almacenar un registro de accesos y la documentación pertinente al transporte de explosivos.

Tendrán como función no solo proteger el recinto, sino el registro y control de accesos al mismo.

# CASETA DE VIGILANCIA



UNIDADES DE COTA EN METROS

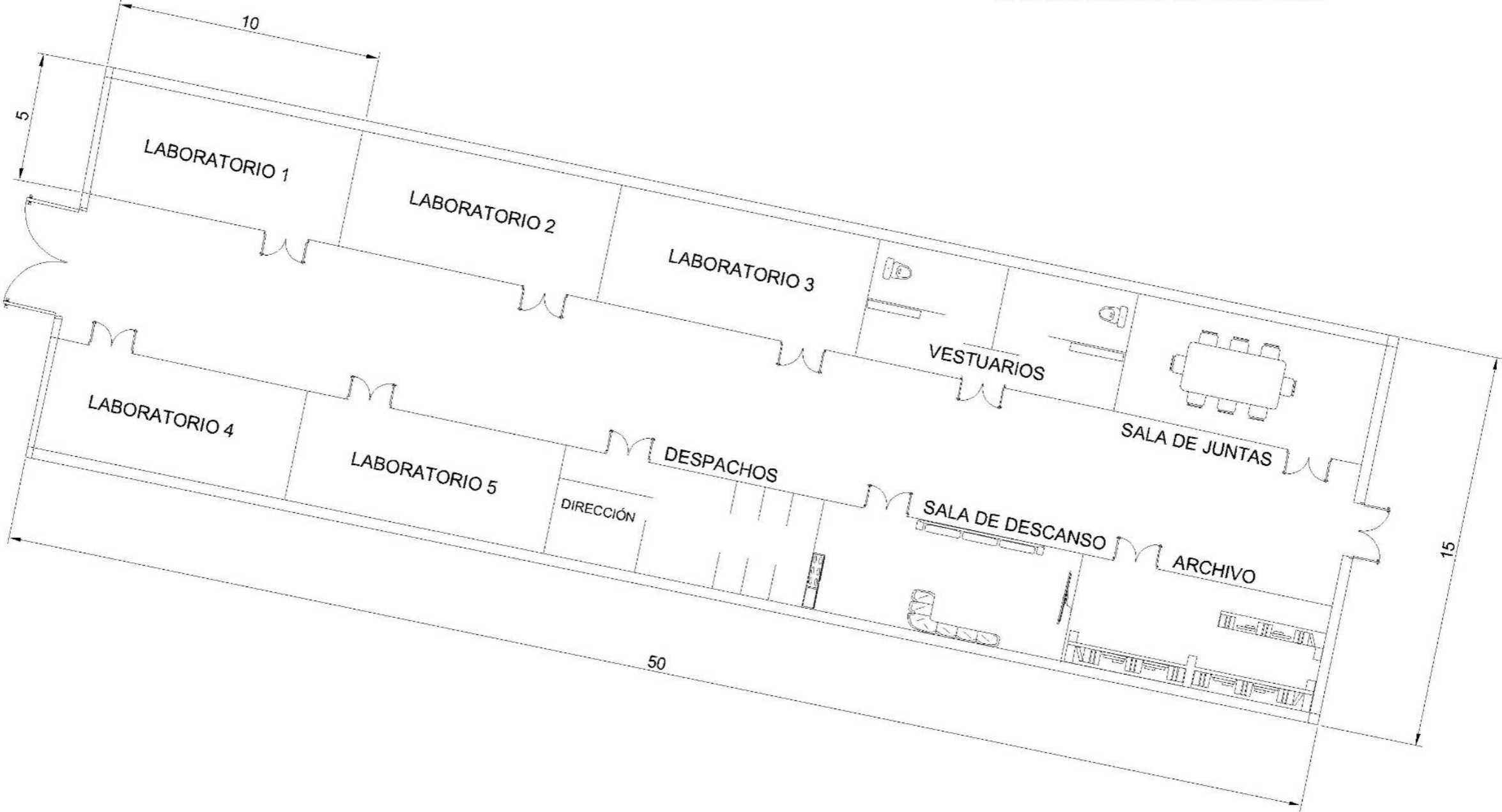
Trabajo Final de Grado: <b>ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES EXPLOSIVOS</b>		Plano nº: <b>6</b>
Localización: <b>ALUMBRES, CARTAGENA (MURCIA)</b>		Escuela de Ingeniería Civil y Minas
Promotor: <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA</b>		
Escala: <b>1:50</b>	Fecha: <b>18/11/2017</b>	

### PLANO 7: LABORATORIO DE ENSAYOS

En el plano número siete se muestra la distribución del laboratorio, que en su numeración corresponde con:

- Laboratorio 1: Ensayos de exudación y medición de gases.
- Laboratorio 2: Laboratorio químico general.
- Laboratorio 3: Ensayos térmicos.
- Laboratorio 4: Ensayos hidráulicos.
- Laboratorio 5: Ensayos mecánicos.

LABORATORIO DE ENSAYOS




UNIDADES DE COTA EN METROS

Trabajo Final de Grado: <b>ESTUDIO NORMATIVO Y DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES EXPLOSIVOS</b>	
Localización: <b>ALUMBRES, CARTAGENA (MURCIA)</b>	
Promotor: <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA</b>	
Escala: <b>1:200</b>	Fecha: <b>18/11/2017</b>

Plano nº:  
**7**

Escuela de Ingeniería Civil y Minas



## 4.2. LISTADO DEL MOBILIARIO BÁSICO Y EQUIPOS DEL LABORATORIO

En este apartado se especifican los equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos normalizados, siendo estos los estipulados por normativa.

Además de los equipos específicos de cada laboratorio, serán necesarios escritorios, sillas y los equipos informáticos oportunos. También se incorporará en cada laboratorio sistemas de extinción de incendios, duchas y lavaojos para accidentes, salidas de seguridad hacia la calle, un sistema de extracción de gases en el laboratorio que proceda y la señalización adecuada para advertir de los peligros en cada punto, todo lo especificado por las normativas de seguridad para laboratorios químicos.

### 4.2.1. LABORATORIO 1

Es el laboratorio destinado a los ensayos de exudación y medición de gases, por tanto, dispone de los siguientes equipos:

- Cámara de explosión
- Equipo de análisis de gases
- Campana para la extracción de gases
- Equipo de exudación
- Nitrómetro y compensador
- Consumibles varios: Tela de tafetán, cinta americana...
- Útiles varios: Cronómetro, balanza...

### 4.2.2. LABORATORIO 2

Es el laboratorio destinado al preparado de muestras y compuestos necesarios para los ensayos, por tanto, dispondrá de los elementos que habitualmente se utilizan en los laboratorios destinados a este fin:

- Matraces
- Tubos de ensayo
- Probeta
- Beaker
- Erlenmeyer
- Tamices
- Desecador de muestras
- ...

### 4.2.3. LABORATORIO 3

Es el laboratorio destinado a los ensayos que suponen una elevación de la temperatura o exposición a una fuente de calor, por tanto, tendrá los siguientes elementos:

- Calderas
- Termopares
- Mesa con protecciones

- Quemador de cuzin
- Consumibles varios: Papel indicador, tapones de caucho...
- Útiles varios: Termómetro, balanza...

#### 4.2.4. LABORATORIO 4

Es el laboratorio destinado a ensayos en los que la sustancia explosiva se expondrá a un medio acuoso, por tanto, dispondrá de los siguientes equipos:

- Tanques de agua
- Guías de ensayos
- Tubos de disparo
- Equipo estanco al agua presurizado
- Medios de evaluación de la detonación
- Útiles varios: Termómetro, balanza...

#### 4.2.5. LABORATORIO 5

Es el laboratorio destinado a ensayos en los que el explosivo se expondrá a esfuerzos mecánicos de diferente índole, por tanto, dispondrá de los siguientes equipos:

- Equipo de rozamiento
- Equipo de impacto
- Discos de acero y cartón
- Pie de rey
- Útiles varios: Papel de estaño, balanza...
- Consumibles varios: Bloque de plomo, cilindro de plomo...

#### 4.2.6. ÁREAS DE ENSAYOS

Las áreas de ensayos se verán provistas de muros de contención para proteger a los técnicos que llevarán a cabo los diferentes ensayos de detonación y para el caso del área de ensayos balísticos, un péndulo balístico con un techado básico para protegerlo.

Recordamos que las áreas que se han designado a ensayos al aire libre son:

- Área de ensayos balísticos.
- Área de ensayos de detonación

Las cuales aparecen señaladas en el plano número 4.

---

## 5. CONCLUSIONES

A lo largo del estudio se puede ver el nivel de exigencia y detalle con el que la normativa detalla cada uno de los pasos y cada uno de los equipos a utilizar en el laboratorio de ensayos de materiales explosivos, dando muy poco pie o ninguno en la mayoría de los casos, a elaborar ensayos autónomos o incluso negando la posibilidad de poder salirte del procedimiento establecido.

Esto se ve justificado desde el punto de vista de la seguridad; en un primer plano hacia el operario que realiza los ensayos, pues estos materiales son susceptibles de, no solo producir daños económicos, sino también personales en caso de accidente, y esto sería inadmisibles; en un segundo plano la efectividad y control de los resultados, pues los utilitarios de los materiales que son objeto de ensayo son altamente peligrosos y tienen que cumplir unos cánones de seguridad muy marcados.

En otro ámbito de observaciones, destaca la antigüedad de las pautas de muchos de los ensayos, que se remontan más de 60 años atrás en algunos casos, siendo aún defendidos como fiables a nivel mundial.

La normativa que rige muchos de los ensayos es europea, siendo otras tantas de origen español, pero en cualquier caso nacen de procedimientos aceptados a nivel mundial, como bien se ha dicho anteriormente, y adaptados a las necesidades de cada país y al criterio de sus investigadores, pues no resulta igual trabajar a 20°C de temperatura ambiente media que a 0°C.

Actualmente en España encontramos tres laboratorios que se dedican a los ensayos objeto de este estudio, son: El Laboratorio Oficial “José María de Madariaga” (LOM), que depende de la Universidad Politécnica de Madrid; el Laboratorio Químico Central (L. Q. C. A.), con instalaciones en la zona militar de La Marañosa; y el laboratorio de Galdácano en Vizcaya, el primer laboratorio de ensayos de materiales explosivos que nació en España.

Estos laboratorios de ensayos de materiales explosivos soportan las pruebas de todas las fábricas españolas, pero por su distribución se crea una carencia en otros ámbitos. En primer lugar, a nivel educativo no todas las escuelas universitarias que imparten formación habilitante en el campo de los explosivos pueden trabajar la temática objeto de estudio en este proyecto de una manera práctica, teniendo que recurrir a empresas privadas para poder conocer sus instalaciones y métodos operativos, y esto con suerte. En segundo lugar, la larga distancia que separa a estos laboratorios de los organismos de defensa a nivel español, como la Policía y la Guardia Civil, hace que, a pesar de tener cedidos ciertos espacios destinados al ensayo con explosivos, no sean capaces realmente de investigar y establecer nuevos protocolos respecto a las realidades que surgen con el paso de las generaciones por la falta de equipos, teniendo que adoptar los que comunican desde la sede central.

Así que observamos fácilmente que el número de laboratorios de ensayos de materiales explosivos oficiales es muy reducido y que, en consecuencia, produce carencias en estos campos de trabajo.

Por otro lado, nos encontramos con una práctica que no se realiza a diario y que no requiere gran personal, pues no se fabrican lotes nuevos de explosivos a diario en las fabricas destinadas a ello. Además, este tipo de laboratorios requiere de unos equipos

---

de gran coste y muy específicos, así que la demanda estrictamente empresarial destinada a valoraciones de calidad se ve cubierta con estos tres laboratorios.

Centrándonos en el estudio objeto del TFG, considero que es un tema muy nutritivo, pues nos permite ampliar bastante nuestros conocimientos acerca de uno de los campos para los que se nos habilita profesionalmente y que, educativamente, se han dedicado muy pocos créditos ECTS para su estudio en mi opinión, y que presenta unos recursos muy limitados, como ya dijimos anteriormente, por la falta de equipos y medios de seguridad en el trabajo con explosivos.

Finalmente, animar a que se trate de ampliar el nivel de conocimientos acerca del campo de los explosivos, pues es una competencia únicamente nuestra, de los ingenieros de minas, y que debemos defender liderando el sector con aportaciones que nazcan de nosotros mismos.

---