

**Sistema de Confinamiento  
de Explosiones para  
Explotaciones por Subniveles**

**(C-13-423)**

**Titular: AITEMIN**



## **DISCLAIMER**

**Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.**

# Sistema de Confinamiento de Explosiones para Explotaciones por Subniveles

(C-13-423)

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED.  
FOREIGN SALES PROHIBITED  
*ad*

**Titular: AITEMIN**

Depósito Legal: M -4557-1998  
ISSN: 1138 - 7041  
NIPO: 238-99-002-x

## SUMMARY

The objective of this project was to develop an explosion suppression system capable to confine and extinguish gas explosions of the type produced in sublevel caving faces when blasting to the coal pillar. Existing systems, such as triggered barriers, were considered not to be valid because of size, weight, cost, and other operational constraints.

The research activities have been focused in the development of a mixed water/air spray system that should be manually activated some second before blasting. Two prototypes have been developed and tested, the first one using nozzles operating at the standard ranges of pressures that are normally available in underground coal mines, and a second one based in high-pressure nozzles. In this case, bottles containing a pressurised air/water mixtures are required.

The works carried out included theoretical studies, hydraulic nozzles characterization, and modelling of the explosion phenomena using the AutoReaGas code. Besides, extensive testing of the prototypes has been carried out in an underground explosion test facility that has been set up specially for this project at the Barredo Pit in Mieres (Asturias).

The results obtained show that the low-pressure system is not valid for this particular application, whereas the high-pressure yielded a more promising performance. However, further testing is required to confirm these results.

# **SISTEMA DE CONFINAMIENTO PARA EXPLOSIONES EN SUBNIVELES**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El laboreo de capas de carbón de fuerte pendiente por el método de subniveles con sutiraje se ha desarrollado de forma espectacular en los últimos años en la minería española, y muy especialmente en la Cuenca Central Asturiana. Este método ofrece, frente a los sistemas de explotación tradicionales, mejores rendimientos y unas más seguras condiciones de trabajo para el personal, especialmente en las capas más potentes.

Sin embargo, su introducción plantea la aparición de nuevos problemas con relación a la seguridad, ya que se trata de explotaciones en fondo de saco, y con hundimiento de los hastiales de la capa.

El empleo de explosivos como método de arranque del macizo o llave de carbón puede producir, que en determinadas condiciones, se produzcan explosiones de grisú en la zona del hundido, incluso empleando explosivos de seguridad. Estas explosiones son a veces de gran violencia, probablemente porque inducen a su vez explosiones secundarias de polvo de carbón. Incidentes de este tipo se han venido produciendo con cierta frecuencia durante los últimos años, y por ello la solución generalmente adoptada es la de disparar a mina vacía, lo cual supone un trastorno para la marcha normal de la mina (especialmente en explotaciones alejadas) y además no evita los riesgos sobre las labores y los equipos.

Este problema, que posiblemente sea el más importante de los asociados a las explotaciones de carbón por sutiraje, se está tratando de combatir por diversos medios, como por ejemplo investigando sobre los explosivos y sus efectos, o mediante la introducción de sistemas de arranque alternativos, destacando por su grandes ventajas la voladura mediante tiros de aire comprimido o de CO<sub>2</sub>.

Paralelamente a estas actividades de investigación e introducción de nuevas técnicas, y en tanto se siga utilizando el explosivo tradicional en la mayoría de las explotaciones, resulta necesario algún sistema de protección que permita la extinción de las posibles igniciones que se puedan producir en el momento de la voladura, evitando su propagación (explosión) y sus efectos secundarios, mediante un dispositivo del tipo comúnmente denominado como "barrera" en la terminología minera.

## **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

AITEMIN ha llevado a cabo un proyecto de investigación orientado al desarrollo de un sistema para la contención de las posibles explosiones que se pueden producir en las explotaciones por subniveles en el momento de dar la pega al macizo de carbón. Este proyecto cuenta con la financiación de la Consejería de Economía del Principado de Asturias, así como de la CECA y OCICARBON.

La investigación se deriva de una serie de estudios previos realizados por AITEMIN en cuanto a los sistemas de "barreras activas" existentes (aunque no totalmente desarrollados) en la minería europea, en los que se determinó la no adecuación de estos, a las condiciones de las explotaciones por subniveles, por razones operativas, y también por su volumen, peso, y coste económico.

La actividad se ha orientado hacia el desarrollo de un sistema sencillo y económico, basado en pulverizadores de agua, que se activaría de forma manual momentos antes de dar la pega. Este dispositivo formaría una pantalla de agua, con un tamaño de gota y una densidad determinada, capaz de contener y extinguir las posibles explosiones que pudieran producirse en el momento de la pega. Este sistema se ha denominado "barrera preventiva".

Las líneas de trabajo en las que se ha centrado la actividad de este proyecto han sido básicamente tres:

1. Profundizar en el conocimiento del fenómeno de la explosión, en las condiciones particulares que se dan en los subniveles, y de los procesos de extinción (ESTUDIO TEÓRICO).
2. Desarrollar el sistema de contención propiamente dicho y ejecutar las pruebas correspondientes: funcionales y frente a explosiones reales (DESARROLLO DE LA BARRERA).
3. Poner a punto una instalación adecuada para la realización de experiencias, con objeto de probar y poner a punto el sistema desarrollado, en condiciones controladas y próximas a las reales (DESARROLLO DE LA GALERÍA DE ENSAYOS).

Estas actividades están relacionadas por lo que su desarrollo se han llevado a cabo de forma paralela. Cada una de ellas supone en sí misma un trabajo de investigación, y en los apartados que siguen se describen con más detalle las actividades realizadas en cada una de ellas.

## 1.-ESTUDIO TEÓRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS BASES DE EXTINCIÓN

Conocer el desarrollo de las explosiones de grisú y sus consecuencias es algo fundamental a la hora de intentar protegerse contra ellas. El pico de presión generado y la velocidad máxima de elevación de presión durante el proceso de combustión son fundamentales en el diseño del sistema de protección de una deflagración. Para ello, conseguir estos valores, dónde y cuándo se producen, sin tener que realizar costosos experimentos, es uno de los objetivos perseguidos.

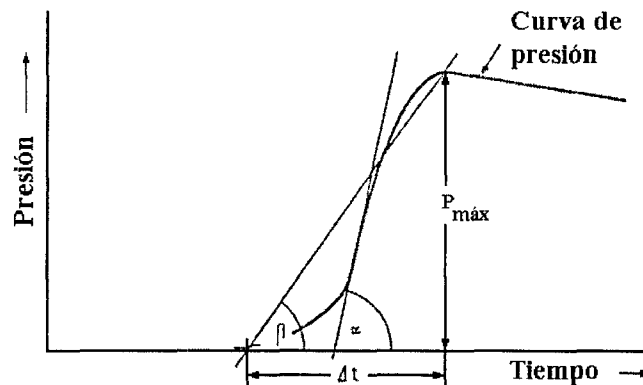
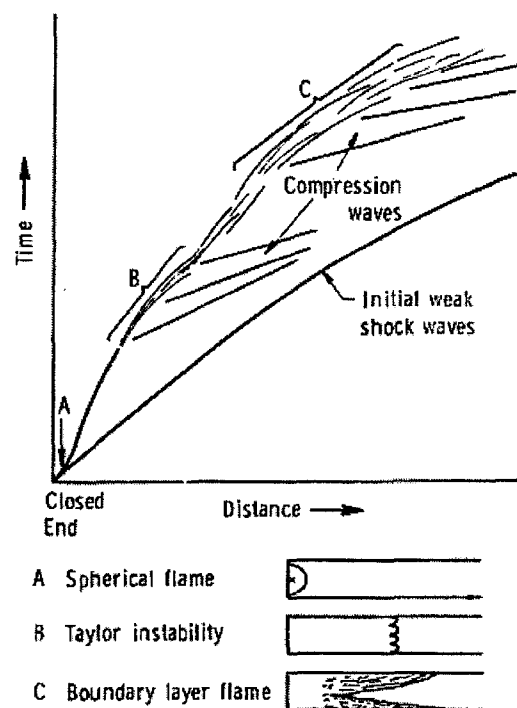


Figura 1. Curva típica presión/tiempo de una explosión de gas..

La utilización de simulaciones numéricas, basadas en modelos sobre explosiones de gas, de procesos de combustión de premezclas turbulentas que dependen de las condiciones de contorno, son una alternativa a los sencillos métodos de cálculo a mano.

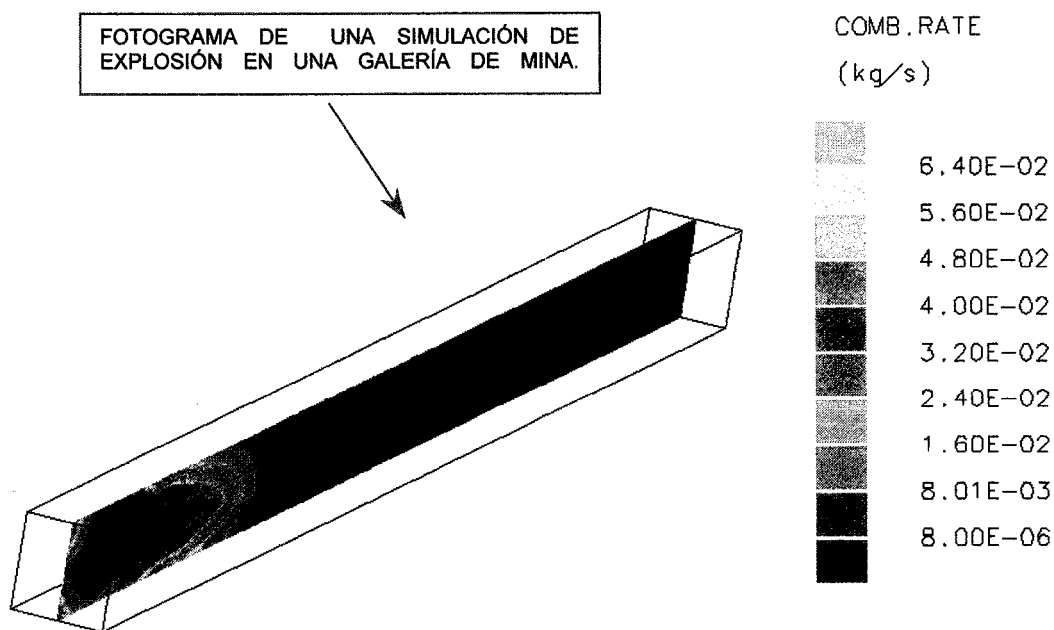


Flame Acceleration in a Long Straight Tube

Figura 2. Evolución de una explosión de gas en una galería de mina.

En definitiva, se ha realizado un completo estudio de los parámetros que caracterizan una explosión en un subnivel, con el objeto de plantear las bases del método de extinción a aplicar por medio de la barrera preventiva.

Para ello, además de estudiar la bibliografía disponible sobre el tema, se han desarrollado modelos de las explosiones utilizando herramientas informáticas como el AutoReaGas. Dichas modelizaciones se han contrastado con experimentos a escala real realizados en la galería de Montlville del Ineris (Francia), y fundamentalmente en la nueva galería de ensayos desarrollada en el pozo Barredo (Mieres- Asturias).



**Figura 3.** Evolución del frente de llama (AUTOREAGAS).

Estudiando los parámetros que influyen en el desarrollo de una explosión, se observa que hay factores sobre los que no se puede influir: como es el caso de la presión inicial, el volumen, tamaño y forma del recinto donde se produce la explosión, la fuente y energía de ignición, la formación de mezclas híbridas y la presencia de obstáculos en el interior del recinto.

Tampoco se puede influir sobre la concentración de combustible-aire para evitar alcanzar los límites de explosividad, o trabajar por debajo de la concentración límite de oxígeno (por ejemplo, introduciendo gases inertes en el recinto). Los únicos parámetros sobre los que se puede actuar son la temperatura inicial y la humedad.

Como conclusión, se obtiene que una vez iniciada la explosión, conviene realizar la extinción lo antes posible, de forma los valores de las presiones, temperaturas y velocidades de llama no hayan alcanzado todavía sus valores máximos.

En consecuencia, lo ideal sería aproximar la barrera antiexplosión lo más cerca posible del punto probable de inicio. La utilización de agua para la ejecución de la barrera parece lo más conveniente, por su facilidad de manejo, disponibilidad en la mina, e inocuidad, una

vez comprobado que la humedad entorpece no sólo ya la ignición del metano, sino también la formación de mezclas híbridas. Por otra parte la generación de una pantalla de agua proporcionaría la ventaja adicional de la decantación de la mayor parte de los gases tóxicos producidos por la voladura.

## 2.- DESARROLLO DE LA BARRERA

Una barrera activa consiste básicamente en un agente extintor (agua o polvo) que es puesto en suspensión en la atmósfera de la mina por un impulsor (normalmente un explosivo o gas presurizado) a la señal de un detector situado a cierta distancia de la barrera.

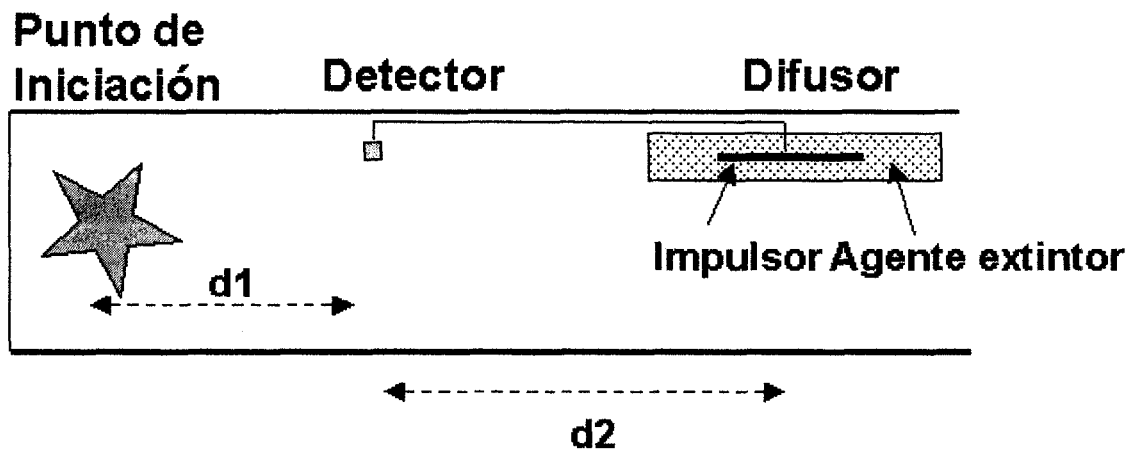


Figura 4.: Barrera activa, esquema de principio.

La filosofía del nuevo sistema de contención se basa en la utilización de una barrera preventiva a base de sprays o atomizadores de agua, que permitiría su accionamiento instantes antes de la voladura, de forma que en caso de ignición se aseguraría la acción adecuada del agua contra el frente de llama, y su permanencia activa únicamente durante los breves instantes en que ésta puede producirse (del orden de segundos).

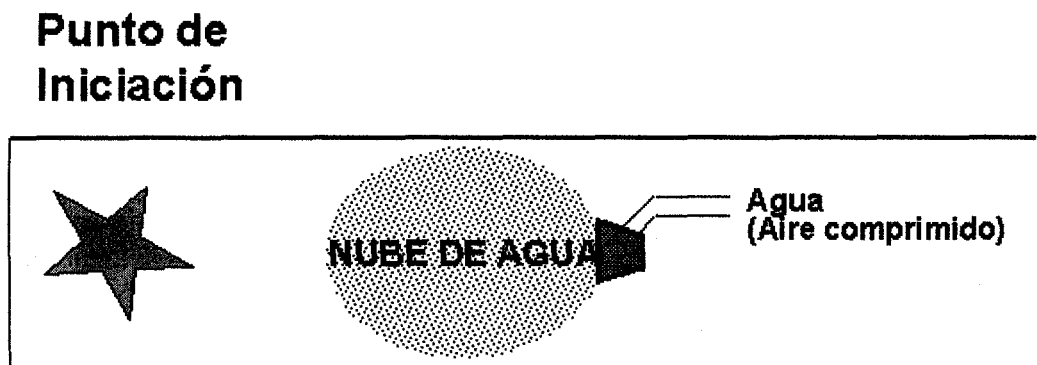


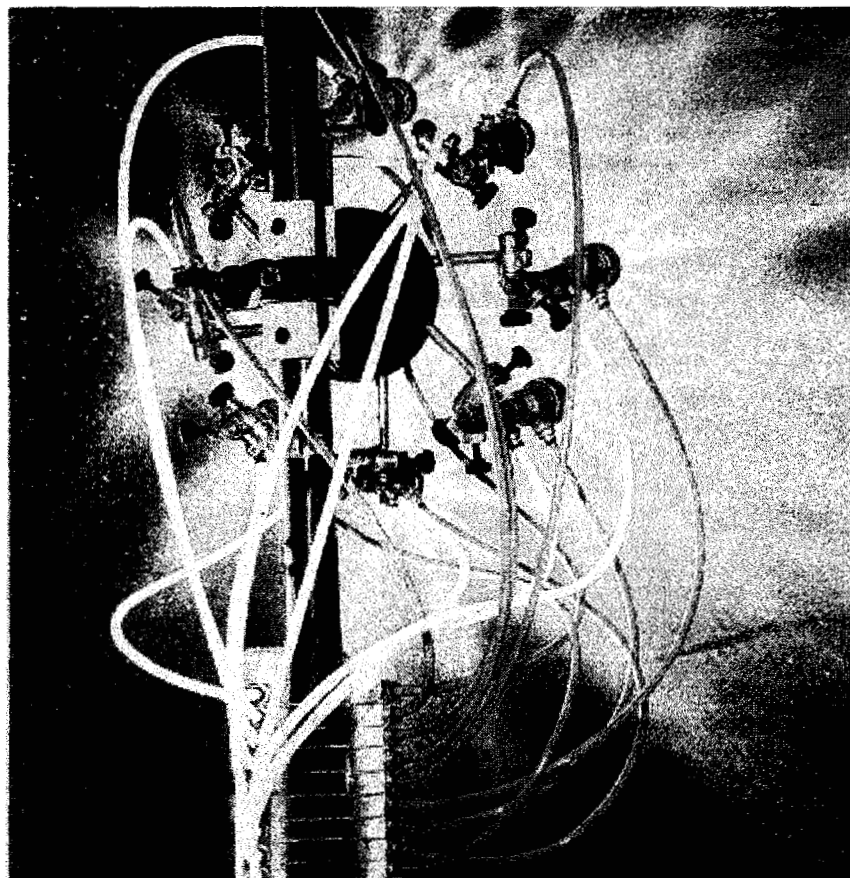
Figura 5: Barrera preventiva, esquema de principio.

El planteamiento parte de la utilización de una barrera preventiva a base de pulverizadores de agua, que se activaría previamente a la voladura, de forma que en caso de ignición se aseguraría la acción adecuada del agua contra el frente de llama. La pantalla de agua permanecería activa únicamente durante los breves instantes en los la llama puede producirse (del orden de segundos).

Las condiciones de partida para el diseño de la barrera son el espacio disponible en el subnivel (con secciones del orden de  $9 \text{ m}^2$ ), los caudales y presiones de agua y aire comprimido que pueden ponerse en juego, y el ambiente de trabajo. También será necesario que el equipo resultante sea lo suficientemente robusto, sencillo, fácil de instalar, mover y controlar, ya que debería moverse prácticamente a diario.

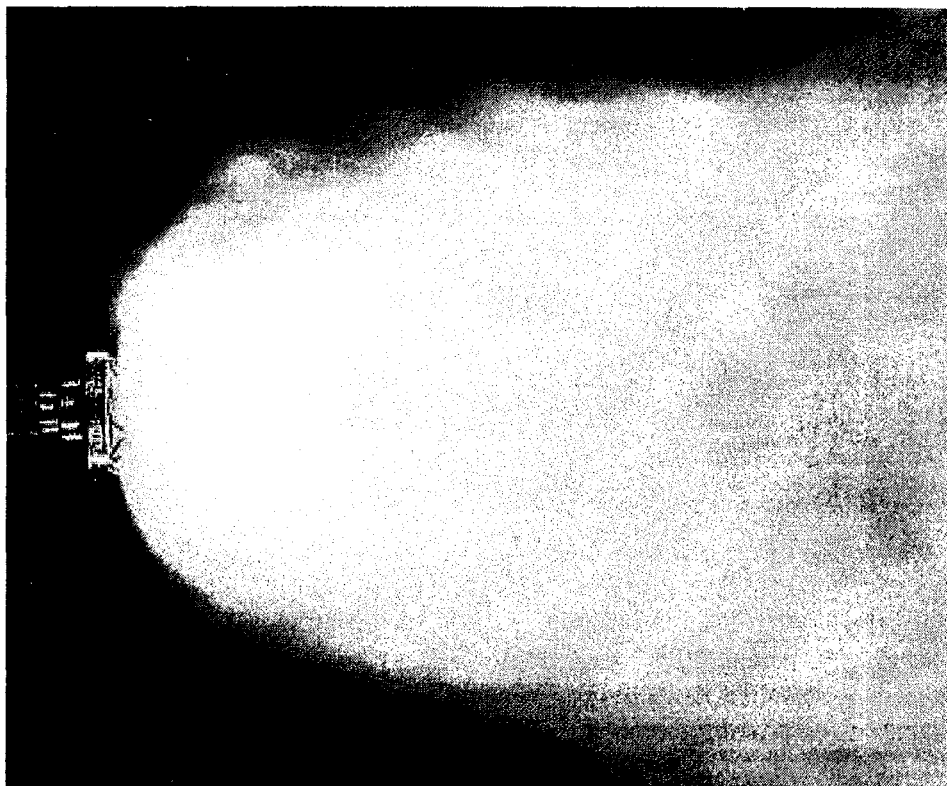
Sobre estas bases, se han diseñado dos tipos de dispositivos:

- El primero de ellos utiliza una roseta de pulverizadores de agua de tipo neumático (asistidos por aire) en una configuración determinada, y que funcionan a baja presión de agua y aire (máximo 10 bar), lo que permitiría su conexión directa a las redes de aire y agua de la mina.



**Figura 6.:** Primer Prototipo (pulverizadores neumáticos).

- El segundo prototipo se basa en la utilización de pulverizadores hidráulicos (sólo agua) que trabajan a altas presiones (hasta 120 bar). Esto obliga a utilizar como alimentación una botella previamente cargada de agua presurizada con Nitrógeno, pero al mismo tiempo tiene una mayor movilidad al no requerir mangueras de conexión.



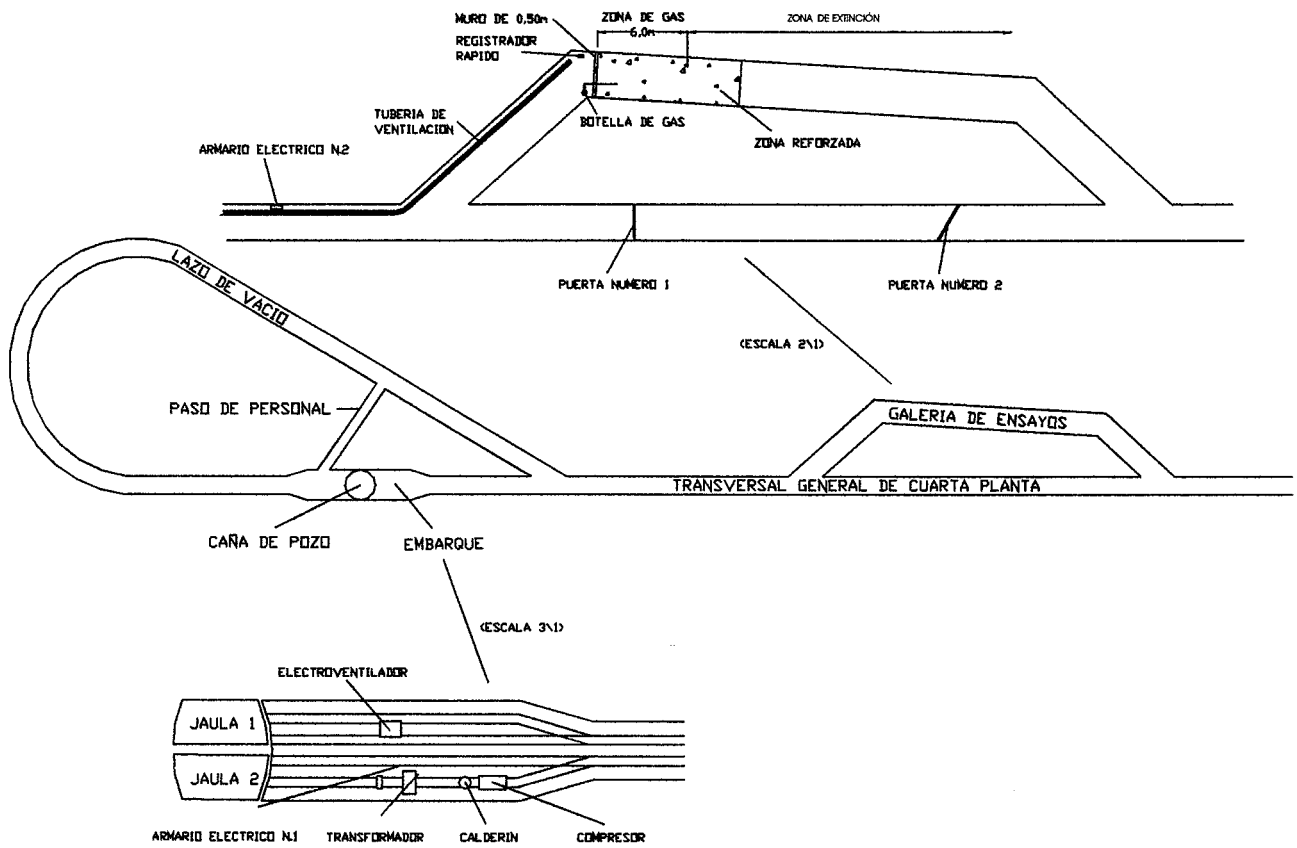
**Figura 7.:** Segundo prototipo, descarga típica (Hi-fog).

### **3.- CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UNA GALERÍA DE ENSAYOS**

Para poder llevar a cabo ensayos de explosión en condiciones controladas, es necesario disponer de un emplazamiento adecuado y de los sistemas necesarios para la realización de ensayos (gas, venteo, instrumentación de medida, etc.). Para ello, se ha preparado específicamente una galería de ensayos en el Pozo Barredo, que actualmente está fuera de producción pero sigue abierto por motivos de mantenimiento y desagüe.

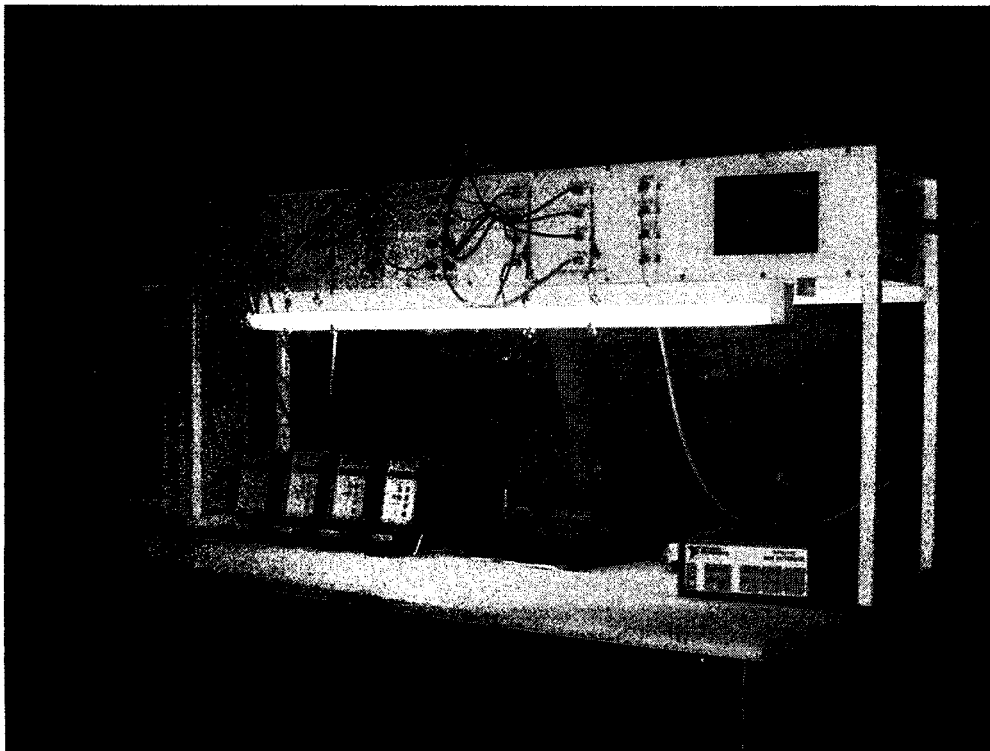
La galería de ensayos se ha ubicado en la antigua sala de baterías de 4ª Planta, la cual se encuentra a unos 100 metros del embarque, y tiene una sección útil mínima en torno a 9 m<sup>2</sup>, y una longitud de unos 50 m, lo cual la hace asemejarse al tipo de galerías utilizadas en las explotaciones por subniveles.

Para adecuar esta galería, ha sido necesario realizar una serie de obras de diversos tipos (sostenimiento, ventilación, instalaciones, ...) así como dotarla de la instrumentación de medida necesaria y de un completo sistema de adquisición y registro de datos, así como de todos los elementos necesarios para manejar la instalación a distancia y de una forma segura.



**Figura 8.:** Esquema general de la galería de ensayos del pozo Barredo.

Toda la información generada durante los ensayos se recoge en un sistema de adquisición de datos de alta velocidad y posteriormente se transmite a la sala de control situada en el exterior, en la que se procede al almacenamiento seguro y posterior procesado de la información.

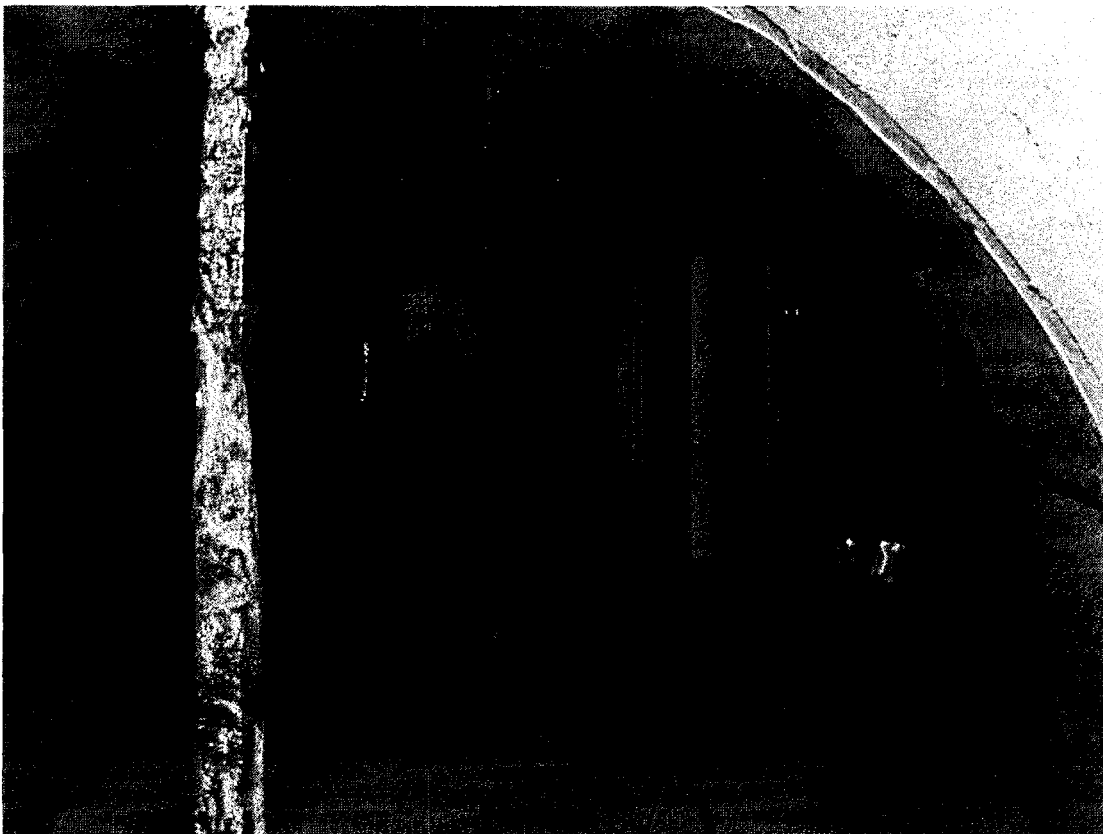


**Figura 9.:** Mesa del sistema de registro de Alta Velocidad.

Toda la instalación tiene carácter permanente, y es configurable para la realización de diversos tipos de ensayo

#### 4.- ENSAYOS DE EXPLOSIÓN

En un extremo cerrado de la galería de ensayos se preparan mezclas precisas de aire y metano mediante aporte de gas y aire comprimido, hasta alcanzar la concentración deseada. Una vez alcanzada la concentración prevista, se procede a la ignición del gas por medio de un inflamador pirotécnico, simulando de esta manera una explosión de grisú en un subnivel. La barrera a ensayar se instala previamente a la explosión, dependiendo su situación exacta y su disposición del ensayo concreto a realizar.



**Figura 10.:** Cámara de explosión de la galería de ensayos del pozo Barredo.

En total, se han realizado más de 70 ensayos de explosión, con los diversos prototipos desarrollados y con distintas configuraciones.

Los resultados obtenidos indican que el primer prototipo de barrera no es efectivo frente a explosiones débiles (en estado incipiente) debido a fundamentalmente al tamaño de gota de la nube que origina (unas 150 micras), que es demasiado grande. En el segundo prototipo, sobre el que aún se están realizando pruebas, se ha conseguido reducir el tamaño de gota de la nube a menos de 50 micras, obteniéndose unos resultados en principio más satisfactorios, aunque es necesario continuar los ensayos para confirmar su validez.

## 5.- CONCLUSIONES

Como conclusiones y resultados principales de los trabajos realizados, pueden establecerse los siguientes:

- Se ha avanzado considerablemente en el conocimiento de los procesos de explosión y extinción, y en el uso de herramientas de modelado que permiten simular y caracterizar explosiones en distintas situaciones y bajo diferentes condiciones de contorno. Todo ello ha sido fundamental tanto para el diseño de la barrera como para el de la propia instalación experimental del Pozo Barredo.
- Se ha construido una instalación experimental en el Pozo Barredo que permite la realización de ensayos de explosión en condiciones controladas y próximas a las reales, y que es utilizada para el ensayo, puesta a punto, y pruebas sistemáticas de los prototipos de barreras desarrollados.
- Se ha diseñado dos prototipos de sistema de contención de explosiones, que han sido y continúan sometidos a pruebas de caracterización y funcionales, mediante numerosos ensayos de explosión a escala real.
- Los resultados obtenidos con el primer prototipo (sistema neumático a baja presión) muestran que el sistema no resulta efectivo en las condiciones que se planteaban (explosiones en estado incipiente), pero sí podría serlo en otras condiciones, como por ejemplo en explosiones más desarrolladas o como cortafuegos, aunque esto supondría iniciar una nueva línea de investigación en ese sentido.
- Con el segundo prototipo (sistema hidráulico a alta presión), los resultados iniciales son más positivos, pero deben ser confirmados con un mayor número de ensayos.

El proyecto por tanto continuará todavía activo durante algún tiempo con el objeto de terminar los ensayos sistemáticos de explosión con el segundo prototipo de barrera desarrollado, de forma que se determine completamente su efectividad.





**Ciemat** Centro de  
Investigaciones Energéticas,  
Medioambientales  
y Tecnológicas

---

**Miner**