



e. n. adaro

PREPARACION DE GALERIAS EN ROCA Y CARBON
TOMO II

ESTUDIO SOBRE LAS MEJORAS EN EL EMPLEO DE LOS EXPLOSI-
VOS, TANTO EN SU EFECTIVIDAD COMO EN LA SEGURIDAD

COMISION DEL P.E.N.
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

JUNIO, 1983

empresa nacional adaro de
investigaciones mineras, s.a.
enadimsa

50164

TITULO	PREPARACION DE GALERIAS EN ROCA Y CARBON TOMO II ESTUDIO SOBRE LAS MEJORAS EN EL EMPLEO DE LOS EXPLOSI VOS, TANTO EN SU EFECTIVIDAD COMO EN LA SEGURIDAD
CLIENTE	COMISION DEL P.E.N. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
FECHA	JUNIO, 1983

Referencia : P8-21-001

Departamento : Minería de ENADIMSA, con la colaboración
de Explosivos Río Tinto, S.A.

ESTUDIO SOBRE LAS MEJORAS
EN EL EMPLEO DE LOS EXPLO-
SIVOS TANTO EN SU EFECTI-
VIDAD COMO EN LA SEGURIDAD

1.- Seguridad de los distintos tipos de explosivos ante el grisú y medidas para aumentarla.

1.1. Evolución y desarrollo de los explosivos de seguridad.

1.1.1. Grisú. Inflamación.

El grisú es una mezcla de metano y aire en proporciones variables, normalmente aparecen en él otros gases tales como nitrógeno, anhídrido carbónico, hidrógeno... aunque en porcentajes muy pequeños.

Es un gas inodoro e incoloro por lo cual no es detectado por los sentidos. Además, no tiene efectos tóxicos sobre el organismo. Al ser el metano más ligero que el aire, con una densidad relativa respecto a éste de 0,56, se acumula en las partes altas de las galerías y explotaciones. El desprendimiento puede ser de tres tipos:

- 1) Continuo y uniforme en todo el frente.
- 2) A través de fallas o de roturas en el carbón.
- 3) Instantáneo, siendo proyectadas grandes cantidades de carbón.

De estos tres tipos, el más peligroso por sus consecuencias, es el tercero.

Hay un conjunto de factores que influyen de manera notable en la cantidad de grisú que se desprende:

- a) La antigüedad de los carbones, habiéndose comprobado que los más antiguos son los que contienen más gas.

b) La profundidad de las minas, ya que cuanto más profundas son, más grisú producen.

c) Las fallas y los anticlinales, que favorecen los desprendimientos.

d) La edad de las minas, comprobándose que las antiguas son más pobres en gas que las modernas.

e) La existencia de capas inexplotadas, que hace aumentar el contenido de grisú.

Este metano presente en el grisú, es un gas combustible que forma con el aire mezclas inflamables y combustibles. El riesgo de explosión de estas mezclas metano-aire viene expresado por el triángulo de Coward, correspondiente a la presión atmosférica. La zona explosiva es la delimitada por el triángulo BEC. Puede verse que por debajo del 12% de O_2 la mezcla nunca es explosiva.

Vamos a estudiar la evolución de distintas mezclas por adición o sustracción de metano o de aire.

Las mezclas gaseosas en el campo ABEG con bajo contenido de metano pueden emigrar, por la sustracción de aire, al campo izquierdo de las líneas EF y EG, en el cual las mezclas son "no autoexplosivas" incluso aunque se les aportase fuerte cantidad de metano.

Si a la mezcla inicial del campo ABEG se le aporta, por el contrario metano, o se saca aire, la mezcla emigraría de este campo explosivo al de la derecha de CE y EF. Este último campo es el de las mezclas gaseosas no explosivas, pero

que por diluición con aire, pueden serlo. Una mezcla Z situada en este campo puede evolucionar en cuatro direcciones:

a) con el aporte de metano se produce un desplazamiento hacia abscisas paralelo a la recta AC.

b) con la supresión de aire se produce un desplazamiento hacia las abscisas sobre la recta AZ.

c) con el aporte de componentes inertes (productos de retardadores de la explosión y productos inertizantes) se produce un desplazamiento hacia el punto de corte de las ordenadas y las abscisas.

d) finalmente con la diluición con aire, se produce un desplazamiento hacia el punto $O_2 = 20,9\%$ vol, $CH_4 = 0\%$ vol.

A continuación damos los diagramas de explosión standar y con aportación de ciertas sustancias que es posible encontrar en ambientes mineros como pueden ser monóxido de carbono e hidrógeno.

De estos diagramas obtenemos unos triángulos (BEC) que dan las zonas de posible inflamabilidad, para que posteriormente esta inflamabilidad se produzca son necesarios unos agentes externos que posteriormente veremos.

Mucho se ha investigado acerca de la inflamación del grisú sin que todavía se haya llegado a ninguna conclusión definitiva.

La primera teoría que se enunció fue la francesa de 1.890, dada a conocer por Mallard y Le Chatelier. Se la sue-

DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS
Diagrama estandar

CH_4 , CO 5,5 Vol %, $\text{H}_2 = 0$

Caso normal

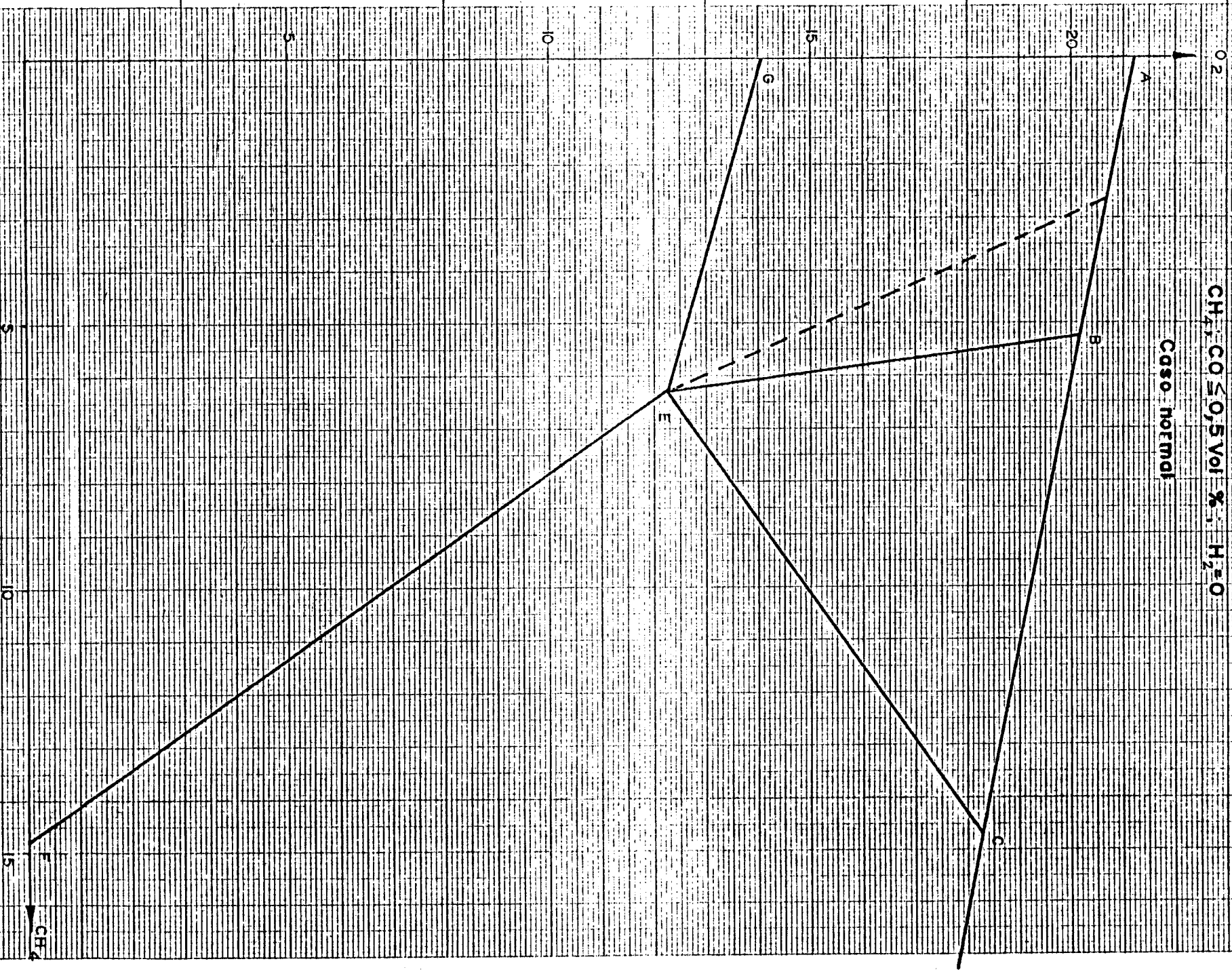


DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS

CH_4 ; $\text{CO} = 0,6 - 2,0$ Vol. %; H_2O

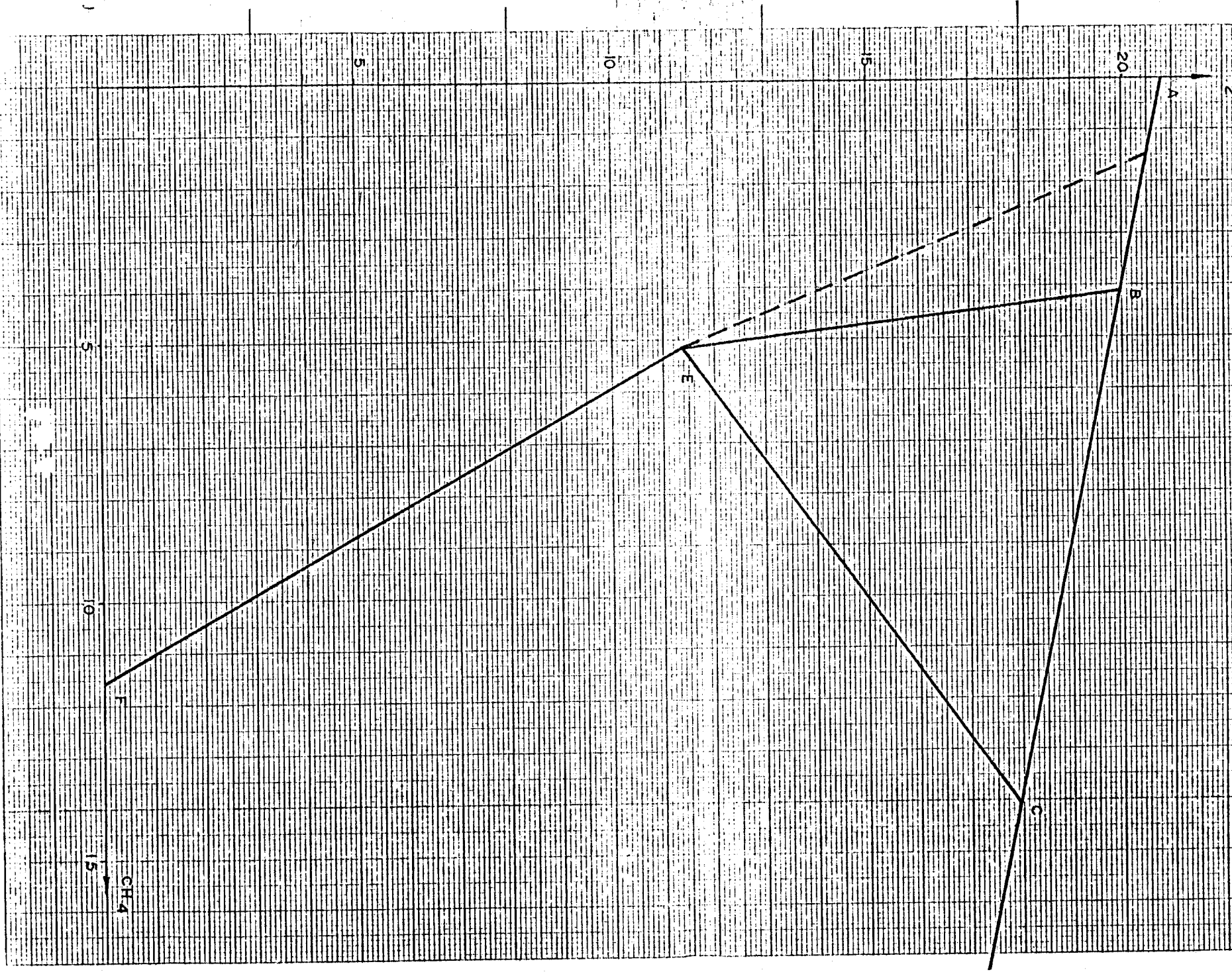


DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS

$$\text{CO} \leq 2 \text{ Vol } \% : \frac{\text{H}_2}{\text{CH}_4} \leq 0,1$$

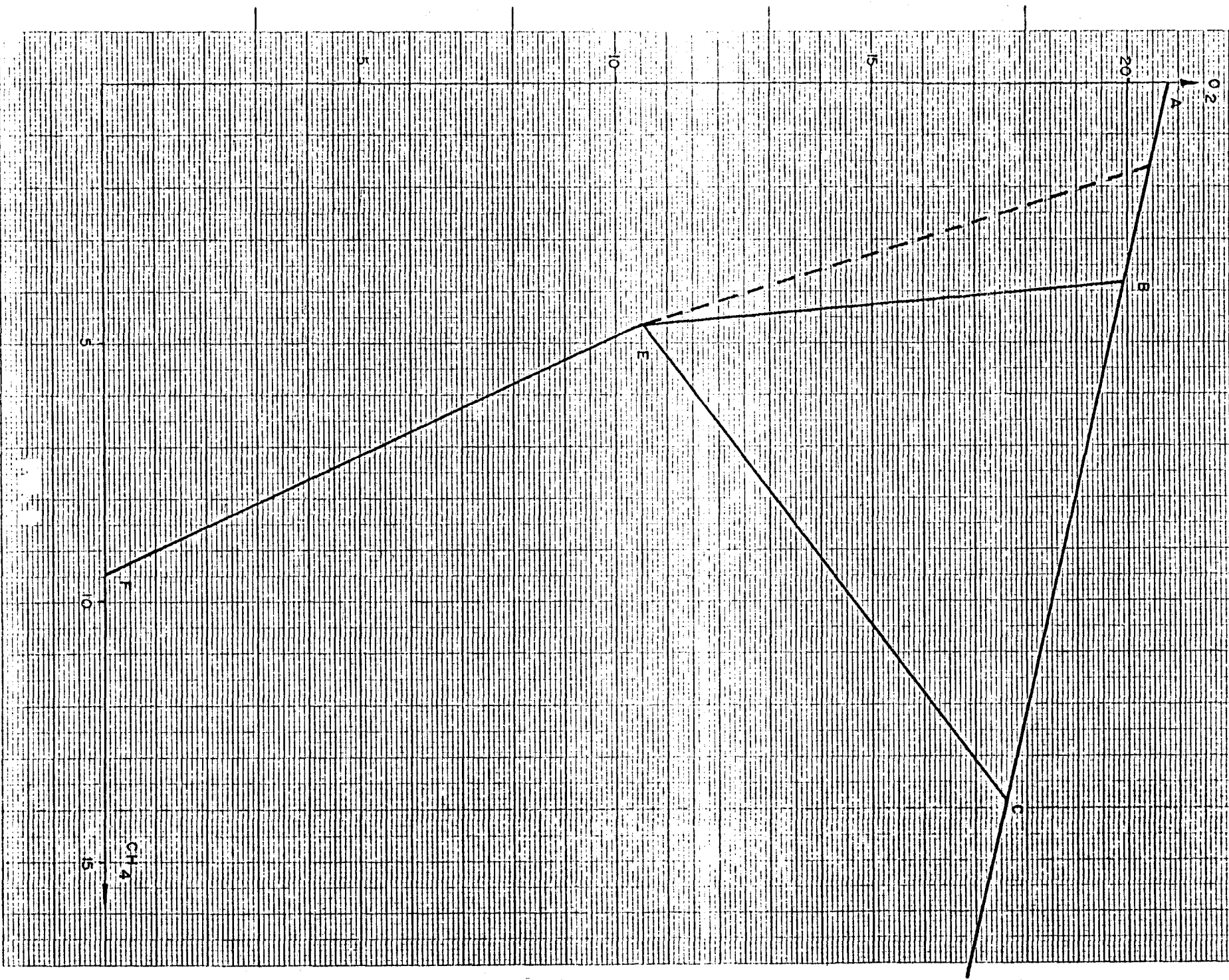


DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS

$$\text{CO} \leq 2 \text{ Vol. \%}; \frac{\text{H}_2}{\text{CH}_4} \leq 0,3$$

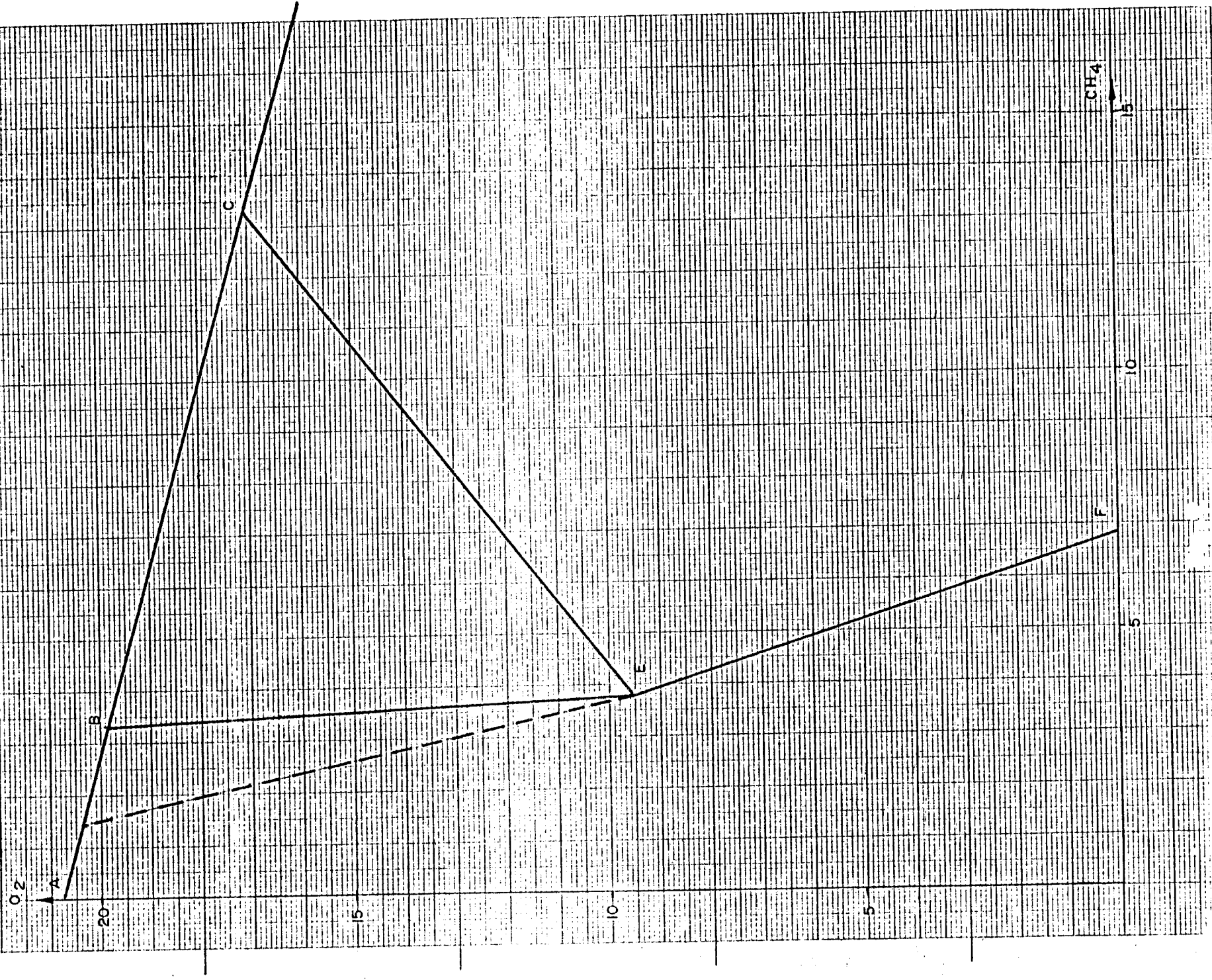


DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS

$$CO \leq 2Vol \% ; \frac{H_2}{CH_4} \leq 0,5$$

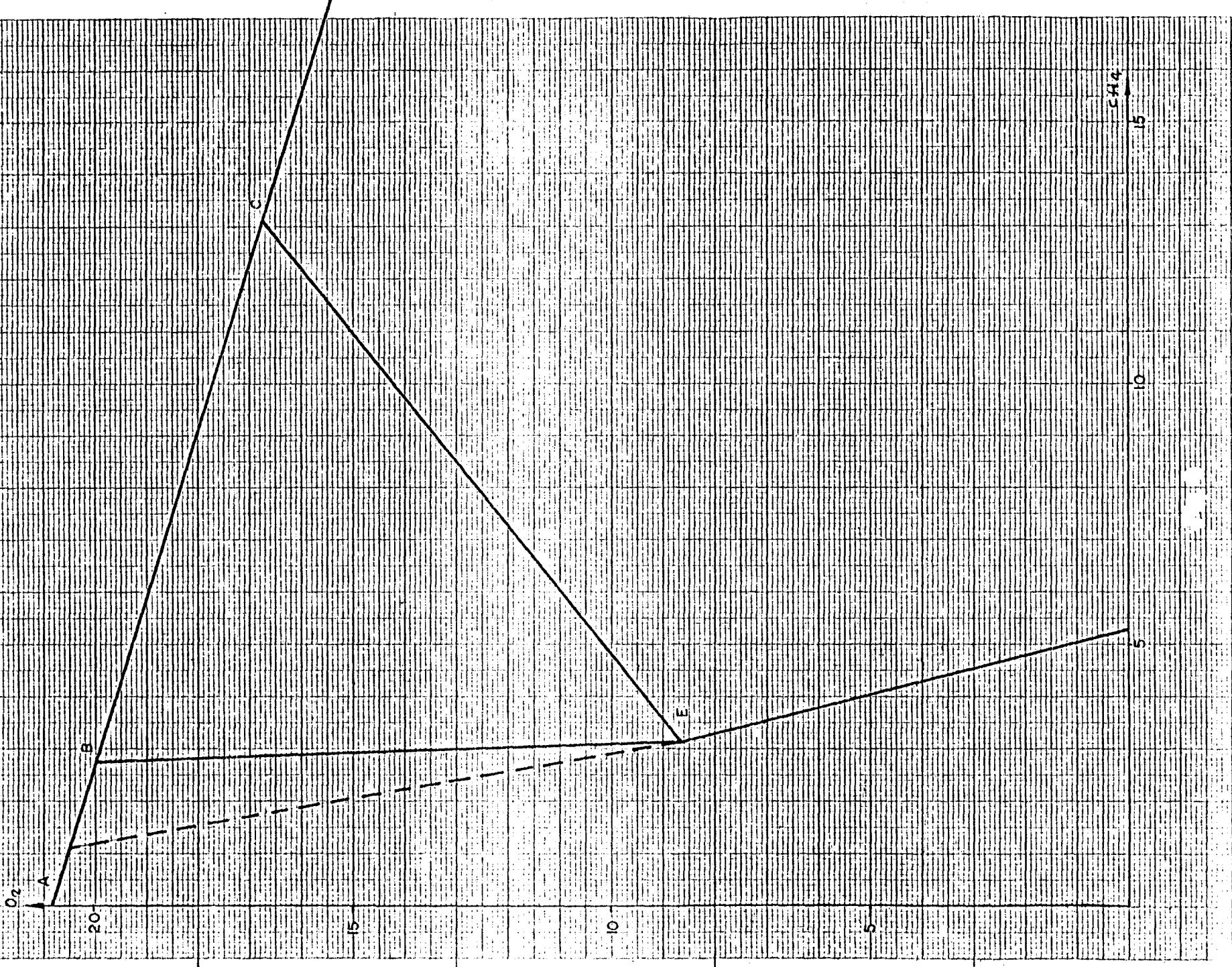


DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS

$$\text{CO} \leq 2 \text{ Vol\%}, \frac{\text{H}_2}{\text{CH}_4} \leq 0,9$$

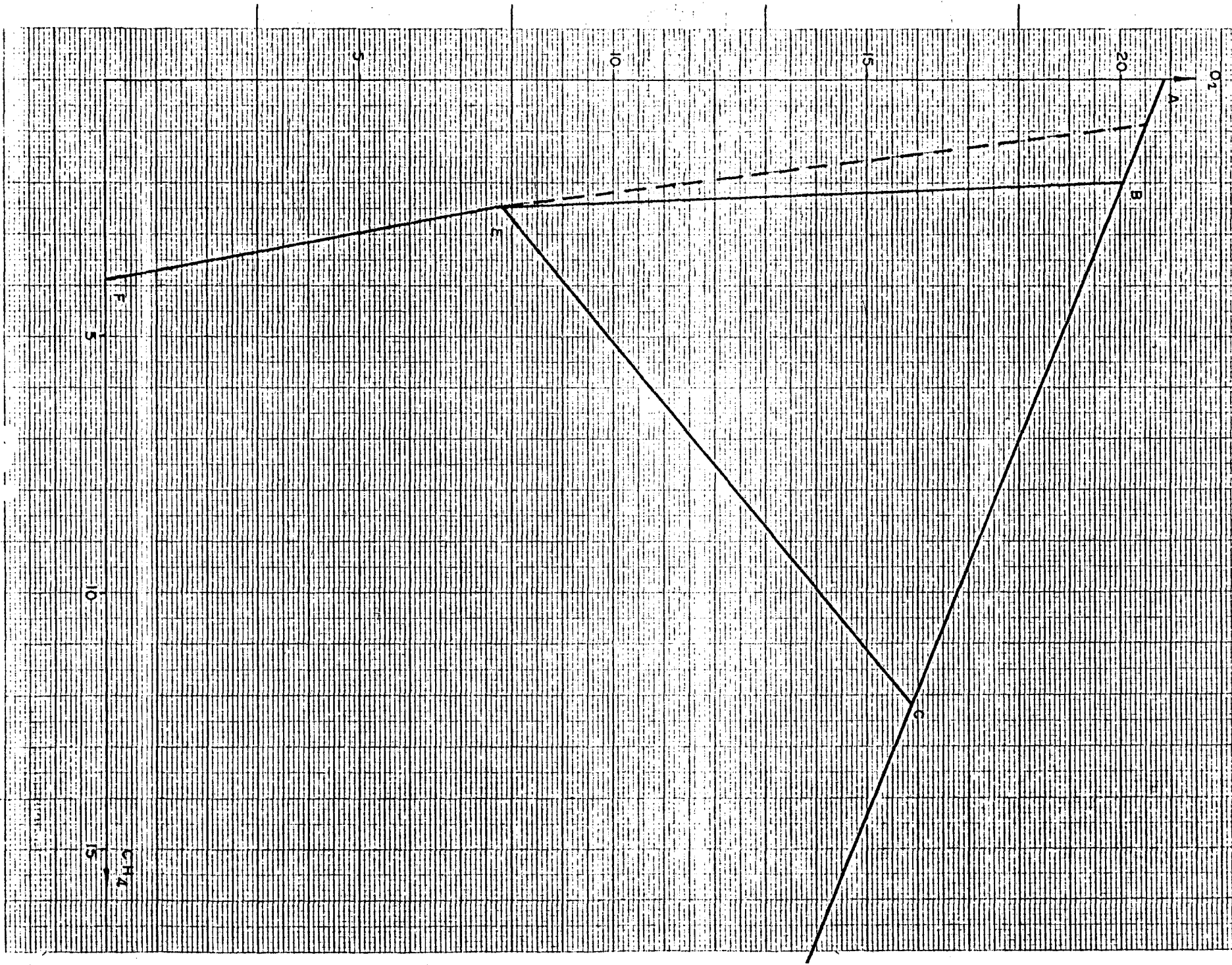


DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS

$$CO \leq 2 \text{ Vol } \% \quad \frac{H_2}{CH_4} \leq 1,5$$

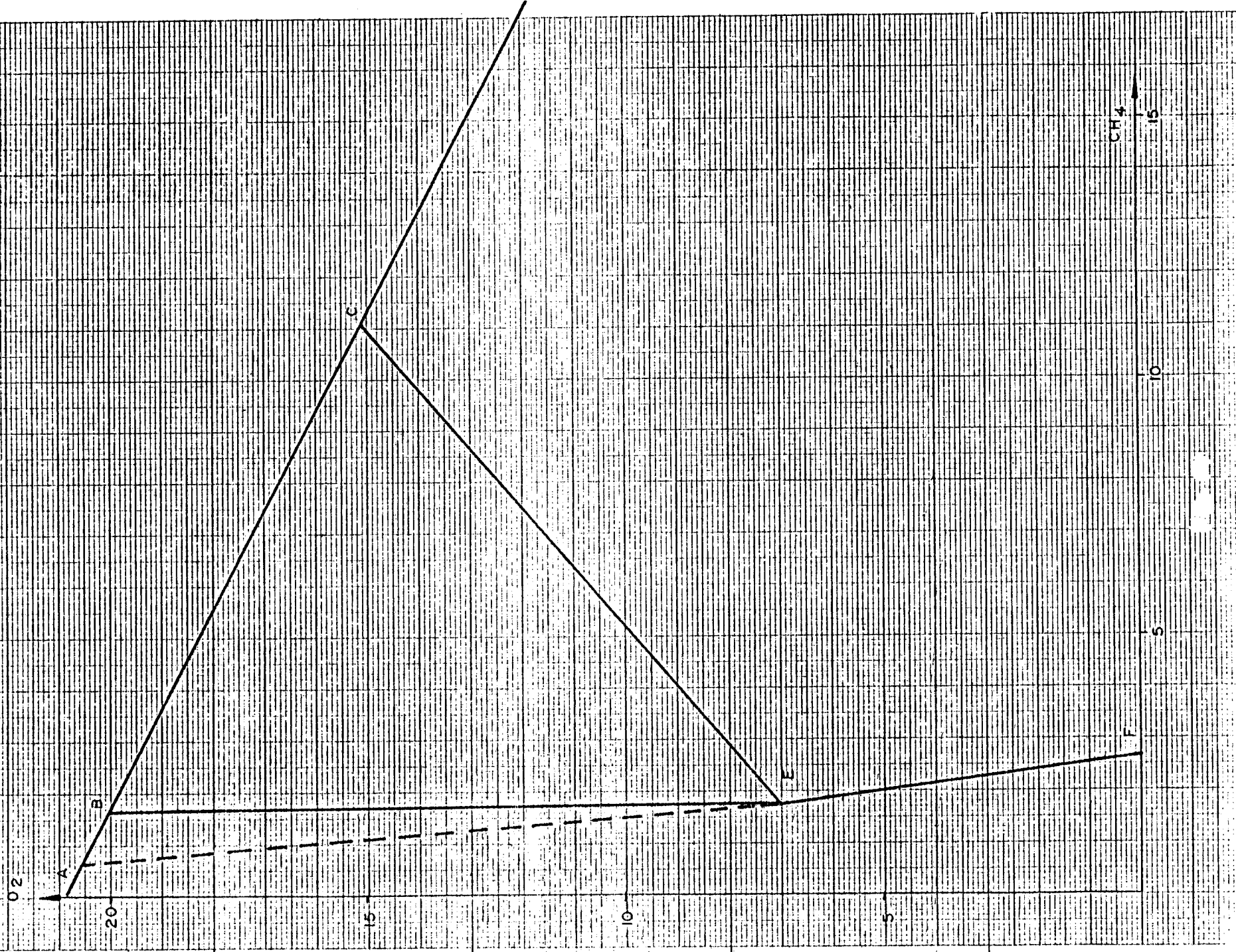
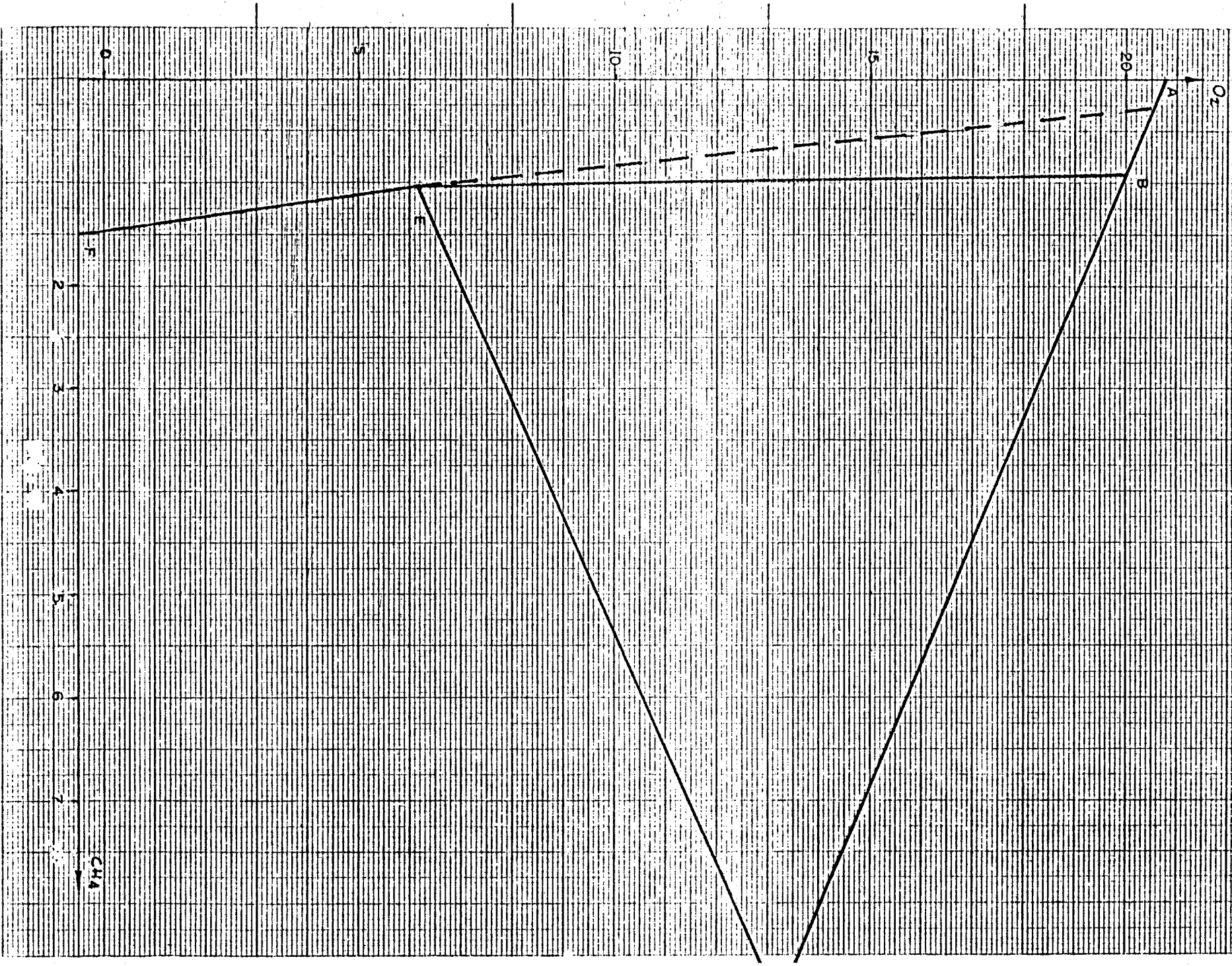


DIAGRAMA DE EXPLOSION DE MEZCLAS GASEOSAS



le llamar teoría térmica pues considera que para inflamar el grisú basta con someterlo durante un cierto tiempo a una temperatura superior a la de inflamación; ésta no es constante sino que depende de la composición de la mezcla metano-aire; comprobándose que disminuye al hacerlo el contenido de metano del grisú. En general, la influencia de la composición es pequeña y se acostumbra a tomar como temperatura media de inflamación la de 650° C.

Se observó también que para inflamar el grisú era necesario mantenerlo por encima de su temperatura de inflamación un cierto tiempo que recibió el nombre de "retardo a la inflamación", éste es función de la temperatura y de la presión del gas, aumentando cuando estos disminuyen. Así, - por ejemplo, el grisú se inflama.

- 1) A 650° en algunos segundos (unos 10 seg.)
- 2) A 600° en algunos minutos
- 3) A 500° en algunas horas.

Los productos resultantes de la explosión están a alta temperatura, pero al expansionarse muy rápidamente - (del orden de milésimas de segundo) experimentan un brusco enfriamiento, descendiendo su temperatura por debajo de 650° antes de que el grisú haya tenido tiempo de inflamarse. Esto explica que Mallard y Le Chatelier considerasen de "seguridad" aquellos explosivos de temperaturas de detonación relativamente bajas (inferiores a 2.200° C).

En todo lo dicho se basó el Reglamento francés de 1.890 al fijar como temperaturas máximas de explosión 1.900° y 1.500° para explosivos-roca y explosivos-capa respectivamente, comenzando el uso, desde entonces, de los explosivos de seguridad.

Sin embargo, desde el primer momento se comprobó que la temperatura no era el único factor que provocaba la inflamación del grisú, existiendo otros tan importantes como aquel, que a continuación estudiaremos.

1.1.2.- Causas de la inflamación del grisú por explosivos.

Como hemos dicho el único agente causante de una inflamación del grisú no es la temperatura, sino que existen una serie de ellos entre los que podemos citar los gases calientes de la detonación, la onda de choque y la llama de la misma, las partículas incandescentes etc. No se puede decir que todos ellos sean independientes, sino que se interfieren, con lo que la inflamación del grisú suele resultar de la combinación de varios de ellos. En el caso de que el explosivo sea detonado por ejemplo al aire libre los factores que más influyen son la llama que acompaña a la onda de detonación y la onda de choque, por el contrario, si la explosión tiene lugar bajo confinamiento, los causantes de la inflamación suelen ser las reacciones secundarias, los productos gaseosos calientes y la onda de presión de la detonación.

En esta última línea de conjugación de causas, se encuentra la teoría de Audibert, quién atribuye la oxidación del metano a una reacción en cadena en la que se producen como intermediarios átomos y radicales libres, que él llamó "gérmenes", susceptibles de actuar sobre las moléculas gaseosas.

Para que la inflamación se inicie en un punto y se propague a toda la masa es necesaria una concentración suficiente de estos gérmenes, que se producen por chispas eléctricas, reacciones químicas secundarias, llamas etc.

Según Audibert, al detonar un explosivo en presencia del grisú este puede inflamarse por las siguientes causas:

a) Gases calientes de la explosión

La detonación de un explosivo se caracteriza por una transformación casi instantánea de los componentes sólidos del mismo en productos gaseosos a una presión y temperatura elevadas. Estos gases calientes se mezclan con la atmósfera con aporte de calor y gérmenes, ya que siempre se producen reacciones secundarias (fuera del barreno) que precisan un cierto tiempo para su reacción completa, como por ejemplo la oxidación del CO y del hidrógeno. Debemos además tener en cuenta que si los gases reciben durante su expansión un aporte de calor igual a una fracción de la cantidad total de la energía liberada por la descomposición completa, su temperatura sería más elevada que la que se obtendría calculando la expansión adiabática de los productos de la explosión hasta la presión atmosférica.

b) Llamas proyectadas por la boca del barreno

Las llamas proyectadas por la boca del barreno ponen de manifiesto que una cierta fracción del explosivo no ha reaccionado totalmente al paso de la onda de detonación, continuándose las reacciones químicas incompletas fuera del barreno, en el seno de los productos gaseosos de la explosión. Al ser la mayor parte de estas reacciones de carácter exotérmico, se producen llamas susceptibles de inflamar las mezclas metano-aire.

En un explosivo de seguridad, normalmente se aprecian dos tipos distintos de reacciones. Algunas se producen al paso de la onda de detonación y son las que sirven de soporte a la misma, mientras que, hay otras más lentas cuya realización tiene lugar con posterioridad al paso del frente de onda y que son las que frecuentemente se completan entre

los productos de la detonación. Estas reacciones secundarias o retardadas pueden pararse totalmente al producirse la expansión de los gases pero son capaces de reanudarse violentamente en ciertas circunstancias, por ejemplo, cuando la masa gaseosa en movimiento choca contra una superficie sólida.

En general, todos los investigadores coinciden en conceder gran importancia a dichas reacciones retardadas en el fenómeno de la inflamación del grisú por la acción de los explosivos.

c) Partículas incandescentes

Mediante fotografías se comprobó que ciertos explosivos, cuando detonaban producían una proyección de partículas sólidas que procedían a la onda de choque y que en principio se consideraron constituidas por gránulos sólidos o de carbón, incandescentes.

Los trabajos de Audibert evidenciaron que era posible evitar la inflamación del grisú por estas partículas deteniéndolas cuando todavía estuvieran a corta distancia de la boca del barreno. En un principio supuso que la ignición era causada por el calor radiado por dichas partículas, rectificando posteriormente al enunciar la teoría de los "gérmenes".

Se ha observado que los barrenos desprovistos de taco proyectan más partículas sólidas que los atacados normalmente y que por consiguiente pueden inflamar el grisú más fácilmente.

d) Onda de detonación

La detonación da lugar a una onda de presión que se propaga a través de la atmósfera grisosa comprimiéndola adiabáticamente. Esta compresión calienta el gas de acuerdo con la expresión $T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$ en la que γ es la relación

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

entre los calores específicos del gas.

En una fila de cartuchos, con el detonador en uno de los extremos, la compresión de la atmósfera en dirección radial, como consecuencia de la explosión, es constante en toda la longitud de la fila, por el contrario, en dirección axial, aquella es máxima en el sentido de propagación de la onda explosiva y proporcional al número de cartuchos de la fila. Por tanto, es lógico pensar que la compresión adiabática provoque la inflamación del medio, al rebasarse una cierta carga límite. La gran velocidad de la onda de choque, junto con la inercia de las moléculas y con la viscosidad de éstas son los causantes de que la presión aumente en la capa gaseosa que rodea a la onda explosiva, pudiéndose llegar a la inflamación del grisú si el número de cartuchos es suficientemente grande, como ya hemos dicho antes. La comprobación práctica de esto la hicieron en 1.935 Dixon y Harwood al inflamar mezclas de metano y aire, con contenidos del primero entre un 2 y un 75%, mediante un pistón que deslizaba por el interior de un cilindro de acero.

e) Llama que acompaña a la onda de detonación

En esta llama se desarrolla una temperatura elevada y es capaz por consiguiente, de iniciar la inflamación del grisú. Este factor no es demasiado importante excepto cuando el explosivo detona al aire libre.

1.1.3.- Factores que afectan a la inflamación del grisú.

Vistas las causas que producen la inflamación del grisú, vamos a ver ahora una serie de factores internos y externos al propio explosivo que hacen variar las condiciones de inflamabilidad. Estos factores son los siguientes:

a) Agentes inhibidores de la inflamación

La inflamabilidad del grisú puede ser modificada grandemente mediante determinados productos. Algunos hacen disminuir la temperatura mínima de inflamación como por ejemplo el amoníaco, el peróxido de nitrógeno, etc., este mismo efecto se consigue con ciertas sustancias sólidas en suspensión tales como la magnetita o el óxido de cesio y de este modo es posible obtener inflamaciones a la temperatura ordinaria.

Por el contrario existen algunos cuerpos que hacen la inflamación más difícil, recibiendo por ello el nombre de sustancias inhibidoras.

Se ha observado que:

1) La acción inhibidora es tanto mayor cuanto más fino es el polvo.

2) Para polvos de una misma finura, la acción inhibidora depende esencialmente de la naturaleza de la sustancia.

Por su importancia, vamos a hacer una enumeración de las diferentes clases de inhibidores:

Compuestos alcalino-halogenados

Los más eficaces son los fluoruros, cuya clasificación en orden decreciente es: fluoruro de litio, de sodio, de potasio, etc... Los cloruros también van en el mismo orden, pero su acción inhibitoria es menor que la de los anteriores, finalmente, están los bromuros y yoduros teniendo estos menos importancia.

Sales Hidratadas

Fundamentalmente son: carbonato, sulfato y nitrato sódicos y nitrato cálcico.

Derivados órgano-sódicos

Se trata de carbonatos, bicarbonatos, formiatos, oxalatos, citratos, acetatos y benzoatos, siendo el mejor el bicarbonato sódico.

Oxidos

El más interesante es el óxido de plomo, pero todos ellos han demostrado tener poco poder inhibitor.

Sulfatos

Conviene destacar los sulfatos de amonio, potasio, sodio y calcio.

Carbonatos

Han sido probados gran número de ellos: de litio, sodio, potasio, magnesio, calcio, bario, amonio... comprobándose que la capacidad inhibitoria dependía fundamentalmente de dos factores:

a) del porcentaje de anhídrido carbónico desprendido, en relación con el peso de la sal.

b) del calor absorbido al descomponerse los carbonatos en óxido y anhídrido carbónico.

Derivados amoniacaes

Nitrato, cloruro, fluoruro, sulfato, fosfato, etc... amónicos. Los mejores son los fluoruros y los fosfatos.

Para terminar diremos que el poder inhibidor consiste en una absorción de parte de la energía liberada por el explosivo, que corresponde al calor específico del producto, más su calor de fusión, más el calor de volatización o de descomposición, en caso de que éstas se produzcan.

b) Velocidad de detonación

Se considera que una alta velocidad de detonación va siempre unida a una mayor probabilidad de inflamación del grisú por el explosivo.

La Teoría Hidrodinámica de la Detonación ha contribuido a aclarar la influencia de la velocidad de detonación en la incendividad del grisú. Esta teoría, descrita por Paterson en la obra de J. Taylor "Detonation in Condensed Explosives", está relacionada con la onda de choque plana que atraviesa los cartuchos de diámetro suficiente para despreñar las pérdidas laterales de energía, se basa en las propiedades físicas del explosivo, y a partir de ellas puede calcularse la temperatura y la presión de detonación así como la velocidad que coincide con bastante aproximación con la determinada experimentalmente para los explosivos simples. Sin embargo, el análisis

teórico de la detonación de mezclas explosivas, tales como los explosivos industriales, es bastante complejo.

c) Taco

No hay duda de la favorable influencia que tiene en la seguridad del disparo el que el barreno tenga un buen taco. Numerosos investigadores coinciden en afirmar que si el taco es defectuoso, aumenta la peligrosidad del disparo. Audibert da una explicación a este hecho. Si la expansión de los gases de la detonación es muy rápida (taco inexistente), estos se enfrían a gran velocidad de forma que al ponerse en contacto con el grisú las reacciones químicas secundarias se han parado. En el caso de expansión muy lenta, las reacciones secundarias tienen tiempo de realizarse totalmente antes de que los gases entren en contacto con la atmósfera inflamable. Por el contrario, existe un caso intermedio (taco débil), que es el verdaderamente peligroso, y que es aquel en el que al final de la explosión las reacciones secundarias no se han realizado completamente y la temperatura de los gases es la suficientemente alta para que dichas reacciones se completen fuera del barreno.

d) Cebado

Experiencias hechas en las Galerías de Ensayos con el mortero sin atacado han puesto de manifiesto que la frecuencia de inflamación es mayor con el cebado posterior que con el anterior. Sin embargo todas las Reglamentaciones prescriben como obligatorio para las minas de carbón el cebado posterior de los barrenos. Ello es debido a que presenta claras ventajas con respecto al anterior en el caso del disparo con detonadores de tiempos. Efectivamente, la parte delantera de un barreno puede ser afectada por las detonaciones de los vecinos, siendo

arrancada y lanzada al escombros. Si el cebado es anterior, - la carga así proyectada hace explosión al aire, sin ningún - confinamiento. En el caso de cebado posterior, los cartuchos arrancados no hacen explosión, quedando entre el escombros, - lo cual siempre representa un peligro mucho menor.

e) Densidad del explosivo

Para estudiar este factor tengamos en cuenta el - concepto de "co-volumen" de los productos de la descomposi- ción de un explosivo, esto es el volumen mínimo ocupado por las esferas de acción de todas las moléculas gaseosas, o di- cho de otra manera, el volumen ocupado por el gas de explo- sión cuando se halla tan comprimido que sus moléculas están prácticamente en reposo. Si el co-volumen de los gases resul- tantes de la detonación de un cartucho de un explosivo de se- guridad es mayor que el volumen de dicho cartucho antes de - la explosión, la descomposición no puede ser total al paso - de la onda explosiva y por tanto habrá en los gases partícu- las que estén reaccionando cuando estos humos se pongan en - contacto con una atmósfera peligrosa, y entonces pueden ser - capaces de inflamar el grisú. Por tanto, si en este caso se - disminuye la densidad, la reacción de explosión puede verifi- carse por completo al paso de la onda de choque y no existirá este peligro.

Por esta razón en algunos países, principalmente en los Estados Unidos, se han empleado extensamente estos tipos - de explosivos de baja densidad.

1.1.4. Explosivos de seguridad. Evolución

Puede decirse que hasta el año 1880 el único explosivo utilizado en las minas de carbón europeas era la pólvora de - mina. Sin embargo, dado el gran número de inflamaciones de gri

sú producidas por ella, su uso siempre fue bastante limitado.

A partir de esta época empezó a dispararse con explosivos rompedores, sensibilizados con nitroglicerina, que si bien resultaron menos peligrosos que la pólvora pronto se vió que su seguridad dejaba mucho que desear. Como consecuencia de ello, en la mayoría de los países se crearon organizaciones para investigar las causas de las inflamaciones, diseñar explosivos de mayor seguridad y definir las condiciones de empleo.

La primera teoría dada sobre la inflamación del grisú fue la de Maillard y Le Chatelier, o teoría térmica que basaba la inflamación del grisú en la temperatura alcanzada en la explosión. Como todos los explosivos tienen una temperatura de detonación muy superior a 650º C parecería lógico suponer que todos ellos inflamarían inevitablemente el grisú. Sin embargo cuando un explosivo detona bajo confinamiento, la expansión de los gases es tan rápida, y por tanto, su enfriamiento tan intenso, que en ciertos casos es posible conseguir que su temperatura baje de 650º C antes de que hayan tenido tiempo de inflamar el grisú, estimando los autores de esta teoría que ello siempre ocurría con explosivos bien confinados en los que la temperatura de explosión era inferior a 2.200º C.

Como consecuencia de esto la Administración francesa acordó fijar las temperaturas límites de detonación de los explosivos de seguridad en 1.900º C y 1.500º C según fuesen para emplear en roca o capa, consiguiéndose estos límites con explosivos de gran contenido en nitrato amónico, ya que la temperatura de detonación de este producto es muy baja, aproximadamente 1.150º C., y actuaba como refrigerante de los productos de explosión del resto de los ingredientes.

Este criterio, puramente teórico y basado en que la temperatura de explosión era la única causa de inflamación del grisú, fue mantenido por la reglamentación francesa durante más de treinta años y adoptado por otros países, como España, que no disponían de Galería de Pruebas.

Esta teoría fue combatida desde su principio por Hoise, director de la estación de ensayos de Gelsenkirchen, quien comprobó experimentalmente que explosivos con temperatura de detonación inferior a 2.200^o C inflamaban el grisú cuando la carga sobrepasaba determinados límites. Este investigador también pudo comprobar que para una misma temperatura de explosión tenía una gran influencia el poder rompedor del explosivo, aumentando el peligro de inflamación con este último factor.

Hacia el año 1.914 puede decirse que la casi totalidad de los países europeos, excepto Francia y España, productores de carbón, poseían una Galería experimental donde podían comprobar la influencia de los distintos factores.

Toda esta serie de experiencias y la ocurrencia de varias inflamaciones durante el empleo de explosivos basados en la teoría de Le Chatelier, trajo como consecuencia el convencimiento general de que la temperatura no sólo no era el único factor que influía en la iniciación del grisú, sino que tampoco era el más importante.

Uno de los descubrimientos más importantes fue el realizado por Watteyne, quien comprobó que ciertas sustancias, que denominó inhibidoras, podían elevar la temperatura de inflamación del grisú.

Además se demostró que no solamente tenía gran influencia la composición química de un explosivo, sino también el estado físico de sus ingredientes, como por ejemplo homogeneidad y granulometría, observándose que el grado de seguridad de un determinado explosivo aumentaba cuanto más finos eran sus ingredientes y más homogénea la mezcla.

Como resultado de todas estas investigaciones fue generalizándose el uso de inhibidores, observándose que los mejores resultados se obtenían con sales fácilmente volatilizables, lo cual permitía mantener el nivel de seguridad aumentando la proporción de nitroglicerina.

Como resumen de todo lo expuesto hasta aquí puede decirse que hacia el año 1.914 los puntos de partida para la elaboración de un explosivo de seguridad eran los siguientes:

- a) Acción favorable de nitrato amónico y de la homogenización de los ingredientes.
- b) Acción favorable de ciertas sustancias inertes, inhibidores, al ser volatizadas por el calor de explosión.
- c) La temperatura de explosión definida por Mallard y Le Chatelier no es la única causa, ni siquiera la más importante, en la inflamación del grisú.
- d) Importancia de la granulometría de los ingredientes.
- e) Necesidad de examinar la seguridad de los explosivos en una galería experimental, determinando su carga límite al ser disparados en un mortero.

Es decir, que los explosivos de seguridad se componían fundamentalmente de nitrato amónico sensibilizado con nitroglicerina y de sustancias inhibidoras en pequeña proporción, procurando que hubiese siempre oxígeno suficiente para la oxidación completa de todo el combustible.

Se abre a continuación un periodo de tiempo comprendido entre 1.914 y 1.950 en el que el acontecimiento más importante fue la introducción en Bélgica de los explosivos enfundados, como consecuencia de las investigaciones conjuntas de Watteyne y Lemaire.

En el año 1.911 estos investigadores, no convencidos de la seguridad de los explosivos entonces en uso, iniciaron una serie de experiencias de retacado de los barrenos con polvo inerte no combustible, y su colocación en montones delante de los barrenos. El éxito de estas pruebas en la reducción de las inflamaciones de grisú con explosivos ordinarios (no de seguridad), en galerías experimentales, condujo a la extensión de esta práctica en las minas de carbón belgas. La cantidad de polvo (P) (normalmente arena, caliza, etc.), estaba relacionada con el peso de explosivo (E) por la siguiente fórmula $P = 1 + 5E$.

En el año 1.914 Lemaire mejoró este procedimiento, que resultaba molesto y en algunos casos inefectivo, enfundando los cartuchos con sustancias incombustibles. Al principio la vaina o funda de seguridad estaba constituida por las mismas sustancias utilizadas en el retacado de los barrenos, es decir, caliza, sulfato de bario, sulfato cálcico, etc., que tenían el inconveniente de hacer el cartucho demasiado grueso para que fuesen eficaces.

Por otra parte, las sales con agua de cristalización, como el carbonato sódico, sulfato sódico, sulfato de magnesio,

etc. presentaban el inconveniente de ser poco eficaces y muy costosas. Los mejores resultados son obtenidos con sales fácilmente volatilizables por el calor (cloruro sódico, cloruro potásico, fluoruro cálcico, cloruro amónico, etc.) y los cuerpos que se descomponen con el calor (sulfato amónico, bicarbonato sódico, etc.) El más empleado fue el bicarbonato sódico. Naturalmente, para una misma sustancia, la seguridad del explosivo aumentaba con el espesor de la funda.

Si bien la seguridad obtenida con estos explosivos era muy superior a la de los entonces en uso, la funda pulverulenta presentaba dos efectos importantes:

- a) Aumento considerable del calibre del cartucho.
- b) Posibilidad de quedar al descubierto el núcleo explosivo por deformación de la funda durante la carga de los barrenos.

Estos inconvenientes condujeron a la introducción en Bélgica de las fundas rígidas y semirrígidas.

Las primeras estaban constituidas por anillos de sales comprimidas de 3 mm. de espesor y 5 - 6 cm. de longitud. Más adelante se aumentó el espesor 5 mm. y se mejoró la compactación de la funda con la adición de aglomerantes. Contrariamente a las fundas pulverulentas, la seguridad de las fundas rígidas aumenta con su espesor sólo hasta cierto límite (aproximadamente 5 mm.), a partir del cual permanece constante. Esto es debido a que cuando el espesor de la funda es pequeño su fragmentación es análoga al efecto de dispersión obtenido con la funda pulverulenta, pero

cuando el espesor pasa de un determinado límite su fragmentación es muy irregular y sólo una parte de la funda actúa de manera eficaz. Sin embargo las fundas rígidas de 5-6 mm. de espesor son más seguras que las pulverulentas de las mismas dimensiones.

Las fundas semirrígidas estaban constituidas por una mezcla laminada con un 80% de sales y el resto de arcilla. Este tipo se deformaba con más facilidad que las fundas comprimidas, pero aún así, su eficacia superaba a las pulverulentas.

En Alemania empezaron a utilizarse los explosivos con funda rígida en el año 1.925. Sin embargo, con consecuencia de algunas inflamaciones durante el periodo de 1.936-1.938, se modificó la funda inactiva que fue sustituida por otra "activada", constituida por una mezcla de 10% de nitroglicerina y el resto de cloruro sódico y bicarbonato sódico. De acuerdo con las pruebas realizadas, los productos gaseosos de esta funda activa contribuían a la mejor distribución y mayor división de las sales cuando estaba constituida por sales únicamente.

Los explosivos con funda rígida también fueron introducidos en Gran-Bretaña hacia el año 1.933 y su uso se extendió rápidamente en este país, donde en un principio se consideró que su seguridad era prácticamente completa, utilizándose como inhibidor el bicarbonato sódico.

En Francia, sin embargo, nunca se utilizaron los explosivos enfundados. Según Audibert (1.922) al retacar con arena en cantidad equivalente al material de la funda, se obtenía la misma carga límite, al disparar el mortero en una mezcla aire-metano, que con los explosivos enfundados.

Además observó que se obtenía el mismo resultado utilizando un núcleo de materia inerte dentro del cartucho (o mezclando este inerte con el explosivo), que cuando se usaba una funda del mismo peso. Esto también fue comprobado más tarde en Inglaterra por Taylor (1.935) y como se verá, constituiría el origen de los llamados "Explosivos de Seguridad Equivalentes a los Enfundados".

Los explosivos franceses en este tiempo se caracterizaron por utilizar cantidades crecientes de inhibidores, generalmente cloruro sódico, finamente divididos e íntimamente mezclados con la pasta explosiva. A principios de este periodo ya los franceses habían construido una Galería de Pruebas, admitiendo que la teoría de Le Chatelier había quedado anticuada o que, al menos, resultaba incompleta.

Con las excepciones de Francia y España, puede decirse que el periodo 1.914 - 1.950 está caracterizado por el empleo en gran escala de los explosivos enfundados. Además en esta época se realizan numerosos estudios sobre la efectividad de los distintos inhibidores y la influencia de su granulometría extendiéndose mucho el uso de cloruro sódico. Se registran también numerosas controversias sobre el mecanismo de inflamación del grisú, y se generaliza el convencimiento de que no existe ningún explosivo absolutamente seguro contra el grisú. En consecuencia se reglamentan las condiciones de tiro, admitiéndose que lo verdaderamente importante es que en unas condiciones de tiro determinadas el explosivo no inflame el grisú ni el polvo de carbón, clasificándose los explosivos según su nivel de seguridad.

A partir de los años 50 comienzan a tenerse conocimientos cada vez más precisos sobre los fenómenos de la explosión apareciendo la teoría hidrodinámica de la detonación y los

estudios de Ahrens, además de los de Audibert ya publicados en el año 1947.

En Bélgica se siguen haciendo esfuerzos para mejorar las fundas rígidas y aparecen las de cloruro sódico aglomerado, que permiten introducir el explosivo directamente en su interior, sin necesidad de utilizar envoltente de papel para el explosivo que constituye el núcleo, con lo cual se reduce la posibilidad de separación de la funda durante la carga.

Una de las características más importantes del principio de este periodo es la gran extensión del uso de los detonadores eléctricos de tiempo, lo cual lleva consigo la necesidad de encontrar explosivos de gran seguridad ante el grisú y polvo de carbón, ya que en estas condiciones es prácticamente imposible asegurar la inexistencia de grisú en el frente durante la pega. Además adquieren una gran importancia los ensayos en las galerías experimentales con polvos de carbón en suspensión, tratando de imitar las condiciones de tiro con detonadores de tiempos.

En el Reino Unido se inician investigaciones para diseñar nuevos tipos de explosivos, ya que en el transcurso de los años cuarenta se producen varias inflamaciones con los explosivos con funda rígida. Por otra parte estos explosivos siguen presentando los inconvenientes ya señalados anteriormente. Como resultado de estos estudios se confirma plenamente la teoría de Audibert, hasta entonces muy discutida, y se comprueba que cuando el tamaño del inhibidor es suficientemente fino y está íntimamente meclado con el resto de los ingredientes, es posible conseguir la misma seguridad que con otro enfundado de la misma composición global (inclu-

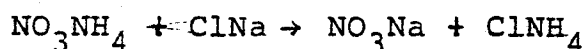
yendo los constituyentes de la funda). Siguiendo estas directrices se diseña el "Unibel" que demostró ser tan seguro como el explosivo enfundado correspondiente. Aunque la velocidad de explosión de los "Explosivos de Seguridad Equivalentes a los Enfundados", resultó más pequeña que la de los enfundados (estando este factor relacionado con el poder rompedor), el efecto de empuje era igual.

Esta misma técnica es la seguida por Francia, donde cada vez se prueban explosivos con mayor proporción de inhibidores para aumentar la seguridad ante el grisú y el polvo. Naturalmente el aumento de la seguridad siempre es a costa de la potencia del explosivo, si bien con los tipos de mayor seguridad se permiten mayores cargas límites. Con el fin de no sacrificar excesivamente la potencia a costa de la seguridad, se clasifican los explosivos de seguridad en dos grupos, capa y capa mejorada, empleándose estos últimos en las condiciones más desfavorables, es decir, en las labores más peligrosas y con detonadores de tiempo ya que su seguridad ante el grisú es muy elevada en las condiciones de tiro reales y además su eficacia ante el polvo de carbón en suspensión es prácticamente absoluta.

Se descubre, sin embargo, que a medida que se utilizan explosivos más seguros, con gran proporción de inhibidor, aumenta el riesgo de deflagración y con el fin de evitarlo se hacen notables esfuerzos para mejorar la conservación del explosivo, ya que se comprueba que el efecto de envejecimiento, o lo que es lo mismo, el riesgo de deflagración por pérdida de aptitud a la detonación, aumenta cuando el explosivo se humedece. Esta anomalía se acentúa debido a la higroscopicidad de algunos de sus elementos (las sales en general y más concretamente el nitrato amónico) y al escaso

contenido en nitrogelatina de estos explosivos. El procedimiento más generalizado para superar este inconveniente es extremar el secado de los ingredientes de la pasta explosiva e impermeabilizar la envolvente de los cartuchos, bien parafinándolos o introduciéndolos en un tubo de plástico.

A pesar de ello, la humedad propia de los ingredientes es a veces suficiente para que se produzcan reacciones entre algunos de sus componentes, en especial entre el nitrato amónico y el cloruro sódico, según la siguiente ecuación:



donde por ser más estable el par $\text{NO}_3\text{Na} + \text{ClNH}_4$ que el constituido por $\text{NO}_4\text{NH}_4 + \text{ClNa}$, a presión y temperatura normales, el equilibrio tiende a desplazarse hacia la derecha en presencia de trazas de agua y esta reacción (de cambio iónico entre un par de sales recíproco) no se detiene hasta que haya desaparecido por completo uno de los dos ingredientes. Naturalmente el fino tamaño de los ingredientes aumenta la rapidez de la reacción, que se completa en unos cuantos días - en presencia del 0,6 - 0,7% de agua. Sin embargo, en los explosivos de seguridad la velocidad de reacción disminuye (incluso con el 1-2% de humedad), por estar los granos de ambos cuerpos separados por el resto de los ingredientes o recubiertos de nitroglicerina o nitrogelatina. La transformación total puede durar entonces 5-6 meses y más aún si la humedad no pasa del 0,6%.

Posteriormente se intensifica el esfuerzo en varios países para la producción de explosivos que con potencia suficiente para el arranque del carbón y rocas no muy duras, sean incapaces de inflamar el grisú en cualquier situación que pueda producirse.

En vista de los resultados desfavorables, respecto a la aptitud a la detonación, cuando se utiliza cloruro sódico muy finamente dividido en gran cantidad, se inician en el Reino Unido ensayos para incluir el polvo de sal previamente aglomerado. Debido a su tamaño, estos gránulos tienen una superficie de contacto con la nitroglicerina mucho menor que la que le correspondería al polvo por ellos contenido. Como por otra parte la cohesión del aglomerado no es demasiado fuerte, la detonación puede desintegrarlos formando de nuevo el polvo primitivo, que contribuiría al apagado con gran eficacia. Estos explosivos han demostrado poseer una gran seguridad y al mismo tiempo un envejecimiento muy reducido.

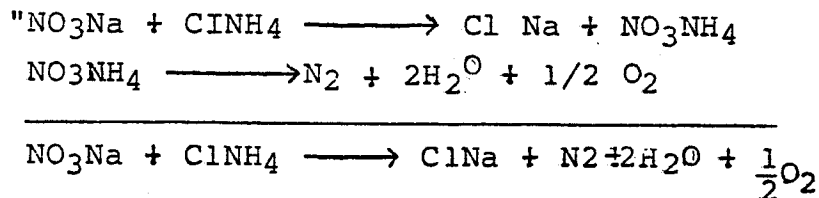
Por último en Alemania el Dr. Ahrens, en colaboración con dos fabricantes de explosivos, inicia en el año 1.950 una serie de ensayos que conducen en el año 1.954 a la introducción de los explosivos de intercambio iónico, explosivos que serán el objeto de nuestro estudio en el próximo apartado.

1.1.5. Explosivos de intercambio iónico

A diferencia del concepto normalmente seguido en los explosivos de Seguridad Capa o Reforzada de constituirlos a base de una sustancia explosiva sensibilizante (nitroglicerina), componentes oxidantes (nitrato amónico), combustibles (celulosa) o inhibidores (cloruro sódico), los explosivos de Intercambio Iónico están formados por un pequeño porcentaje de sensibilizador (10-11% de nitroglicerina), un combustible y el par salino, nitrato sódico-cloruro amónico, cuya reacción produce el oxidante (nitrato amónico) y el inhibidor en estado naciente, y por tanto extraordinariamente activo (cloruro sódico). A fin de mejorar su resis-

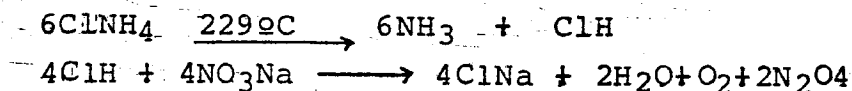
tencia a la humedad y disminuir la tendencia al rápido envejecimiento, se les suele añadir algún o algunos agentes hidrófugos.

Los explosivos de Intercambio Iónico alcanzan un grado de seguridad extraordinariamente difícil de conseguir en los explosivos que ordinariamente vienen utilizándose en las minas de carbón. El logro conseguido con estos explosivos radica en el comportamiento selectivo de la onda de detonación, es decir, la explosión tiene lugar en dos fases diferentes, la primera de las cuales la constituye la detonación del sensibilizador, mientras que la segunda es la reacción del par de sales. Esta reacción produce, por una parte, gases combustibles y comburentes que suministran la energía requerida y por otra, una sal inhibidora en estado naciente cuyo poder antiinflamatorio es máximo.



Estas reacciones, aunque aparentemente sencillas, son extraordinariamente complejas. Según Nenquin y Demelenne, lo primero que sucede es una descomposición del ClNH_4 dando ácido clorhídrico, que ataca a los granos de nitrato.

Para estos autores, la reacción primaria de la mezcla $\text{ClNH}_4 - \text{NO}_3\text{Na}$ es:



Acerca del poder refrigerante de la sal naciente, Kühn y Kaufer han dado datos muy precisos. Según ellos, este poder en la sal naciente es del orden del 90% del teórico, mientras que el de la sal contenida en el explosivo de seguridad clásico es del 30%. En efecto, la sal inerte no puede estar demasiado dispersa ya que al ser de una granulometría muy fina disminuye notablemente la detonabilidad del explosivo. Fukuyana y Kai lo comprobaron experimentalmente al comparar un explosivo de intercambio iónico con otro clásico que tenía como inhibidor ClK. Observaron que la seguridad del explosivo convencional aumentaba con la finura del grano de cloruro, pero que también la aptitud para la explosión decrecía proporcionalmente a dicha finura; en el límite, la seguridad de ambos explosivos, el convencional y el intercambio iónico, eran semejantes, pero en el primero la detonación se hace prácticamente imposible.

Las dos sales no pueden reaccionar entre sí hasta que no son motivadas, siendo la energía de activación una fracción limitada de la total (correspondiente a la reacción de la nitroglicerina). Los productos resultantes de la combinación de las sales reaccionan exotérmicamente entre sí a medida que se van formando, dando lugar a la reacción secundaria retardada, situada detrás del plano Chapman-Jouguet. Cuando no exista interferencia entre las dos reacciones, la selectividad es total, la energía producida por la explosión de la nitroglicerina, además de activar las sales, sirve para mantener el régimen de detonación.

En la explosión de un cartucho perfectamente confinado en el barreno se producen las dos reacciones anteriormente expuestas que dan lugar al mantenimiento de la onda de detonación, con el consiguiente desprendimiento de energía y a la producción de sal inhibidora en estado naciente.

Entre los casos más peligrosos desde el punto de vista de posibilidad de inflamación del grisú y del polvo de carbón por los explosivos, se encuentra aquel en el que la detonación tiene lugar al aire libre ó bajo débil confinamiento (como cuando un barreno de "bocazo" o se presentan bruscas expansiones laterales al haber sido descargado un barreno por la explosión de los anteriores). En estas circunstancias se ha comprobado que los explosivos de Intercambio Iónico detonan únicamente de manera parcial, produciéndose la descomposición explosiva de la nitroglicerina, pero no la reacción entre el par salino, que, por tanto, se comporta como un inerte con propiedades inhibitoras por la presencia del cloruro amónico, sustancia de un elevado poder inhibitor.

Es sabido que con toda mezcla que contenga un orden de sensibilizador del 10-11% y el resto sales inertes se obtiene un explosivo de elevadísima seguridad. Precisamente en la explosión inconfiada o con bajo confinamiento de un explosivo de Intercambio Iónico nos encontramos en este caso como consecuencia de la selectividad de la reacción anteriormente expuesta, lo que explica una de las ventajas de estos explosivos frente a los de concepción clásica.

De todo lo dicho se deduce que un perfecto retacado de los barrenos, que en los demás tipos de explosivos de seguridad tiene importante desde el punto de vista de la eficacia y sobre todo de la seguridad, en el manejo de los de Intercambio Iónico alcanza significado especial, ya que del mismo depende la consecución de la reacción total, y por tanto la obtención del rendimiento óptimo del explosivo.

Por sus especiales características, principalmente por el elevado porcentaje en sales inertes, la sensibilidad

a la transmisión de la detonación (propagación) de los explosivos de Seguridad Reforzada es limitada y resulta afectada por determinados factores como humedad, condiciones de almacenamiento, modo de empleo, etc. Esta situación, que supone un inconveniente práctico, especialmente en el caso de cargas de gran longitud, está mejorada extraordinariamente con los explosivos de Intercambio Iónico, como han puesto de manifiesto los resultados obtenidos en diferentes pruebas prácticas.

Es conocido el peligro que representa la deflagración de los explosivos con relación a la ignición de las mezclas grisuosas, ya que, al tratarse de una descomposición anormal del explosivo, el mecanismo de seguridad concebido para proteger la explosión o no actúa o lo hace de una forma incompleta. Ello justifica que en estos nuevos explosivos se hayan tomado diversas medidas para evitar este fenómeno, orientadas según un doble camino.

a) Aumentar la aptitud a la detonación de los cartuchos que constituyen la carga.

b) Disminuir la facilidad de combustión del explosivo.

Muy importante es, por tanto, proteger el explosivo de Intercambio Iónico contra la humedad, pues ésta produce una aglomeración de las sales, lo que lleva consigo una ~~disminución de la aptitud a la detonación~~ del mismo. Por eso, a estos explosivos se les incorpora un cierto porcentaje de aditivos hidrófugos.

A fin de disminuir la aptitud a la combustión del explosivo se adicionan a los de Intercambio Iónico aditivos

especiales que rebajan dicha aptitud. Por otra parte, dado que investigaciones inglesas llegaron a la conclusión de que uno de los factores que más favorecen la deflagración es el material celulósico, como el serrín o la pulpa de madera, en la composición de los explosivos de Intercambio Iónico se han eliminado estos combustibles habituales sustituyéndolos por harina.

Finalmente añadiremos que es norma general el que la relación en la que se añaden las sales, cloruro amónico y nitrato-sódico ó potásico, es la de 1:1, es decir, que las sales están en la proporción de mol a mol (proporción estequiométrica) que corresponde a la reacción teórica completa.

1.1.6.- Polvos de carbón

En general, las nubes de polvo de carbón son más difíciles de inflamar por un explosivo que las mezclas de aire-metano, en consecuencia, se les suele conceder menos importancia que al grisú. De todos modos es una posible fuente de accidentes y por ello vamos a estudiar los factores que afectan a la inflamabilidad y como se produce ésta.

En el fenómeno de la inflamación tenemos que distinguir entre llamarada y el golpe de polvos, que es el verdaderamente peligroso. La primera consiste en una llama que se propaga a través de una nube de polvo de carbón, que ha sido levantado y puesto en suspensión previamente. Este levantamiento y la subsiguiente inflamación pueden ser producidos por causas distintas o por la misma, como en el caso de los explosivos.

El golpe de polvos es análogo al anterior con la diferencia de que el aire que precede a la llama (y que es originado por la elevación de la presión provocada por la combustión) es el que levanta los polvos. La suspensión se puede realizar por dos procedimientos.

a) Erosión: Los polvos son levantados del depósito partícula a partícula.

b) Denudación: Los polvos son levantados por montones, dispersándose luego éstos.

Lo normal es que el golpe de polvos sea iniciado por una llamarada o por una explosión de grisú.

Hay tres teorías clásicas que explican el fenómeno de la inflamación de los polvos de carbón y de las cuales vamos a dar un breve resumen:

1) Los granos de carbón situados delante de la zona de combustión experimentan una destilación, mezclándose las materias volátiles con el aire y propagándose la combustión a través de esta mezcla gaseosa inflamable.

2) Las partículas que se encuentran delante del frente de combustión se calientan y destilan, rodeándose de materias volátiles que se mezclan con el aire, produciéndose la ignición de la mezcla cuando la temperatura llega al punto de inflamación. Aquí la propagación es por el gas, al igual que en el caso anterior, pero con la diferencia de que no hay propagación de una llama sino un conjunto de re-inflamaciones sucesivas.

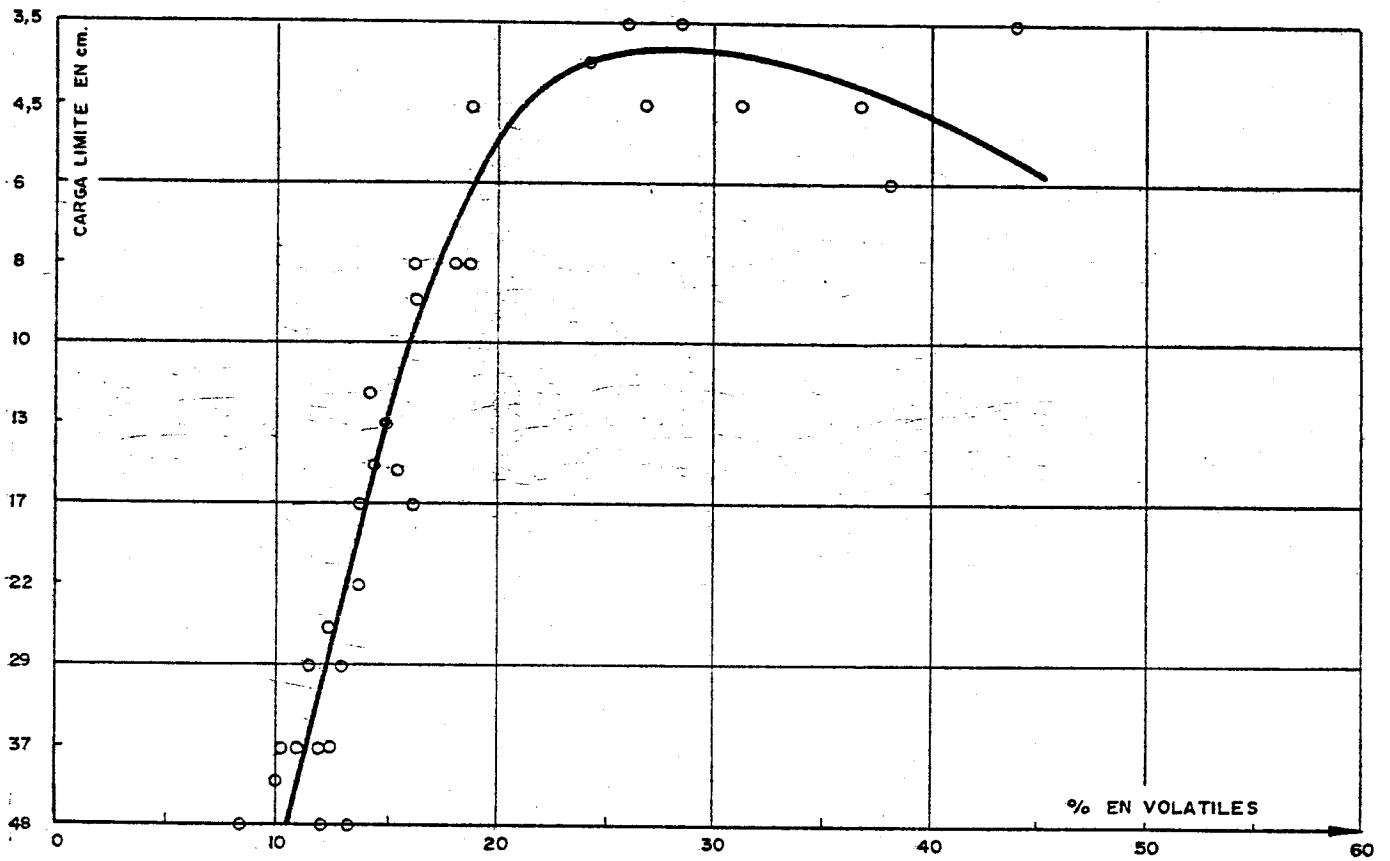


Fig-1.- CARGA LIMITE EN FUNCION DE LA CANTIDAD DE MATERIAS VOLATILES EN SECO

3) La partícula en el frente de la llama se calienta, comenzando la oxidación; ésta desprende calor y la reacción se acelera llegándose por este procedimiento a la combustión viva. Esta teoría difiere bastante de las otras dos, pues la aceleración de la reacción precede al desprendimiento rápido y a la inflamación de las materias volátiles.

Según las dos primeras teorías la inflamabilidad viene fijada por las características de las materias volátiles y por su velocidad de desprendimiento; en la última, por el contrario, interviene fundamentalmente la reactividad del carbón.

De todo esto se deduce que las explosiones de polvo de carbón se consideran, ya como una reacción en la superficie sólida y no modificada de la partícula, ya como una reacción de las materias volátiles, ya como una combinación de las dos. Lógicamente, las velocidades de desprendimiento del gas de las partículas de carbón y de la reacción de combustión en la superficie sólida de las mismas, deben aumentar rápidamente cuando el diámetro de las partículas disminuya.

Vistas estas teorías sobre la inflamabilidad vamos a enumerar brevemente los factores que intervienen en esta inflamabilidad.

a) Naturaleza del carbón

La inflamabilidad va creciendo con el contenido en volátiles hasta que éstos llegan al 20-26%, por encima de este porcentaje ya no hay aumento, aunque a veces se pasa por un máximo y luego se disminuye ligeramente. (Ver figura 1).

b) Granulometría del carbón

La inflamabilidad de los polvos de carbón aumenta con la finura de éstos; la explicación está en que el calor radiado por las partículas es tanto mayor cuanto más finas sean éstas; por otra parte, al ser más pequeñas, se calientan más rápidamente. (Ver figura 2).

c) Concentración

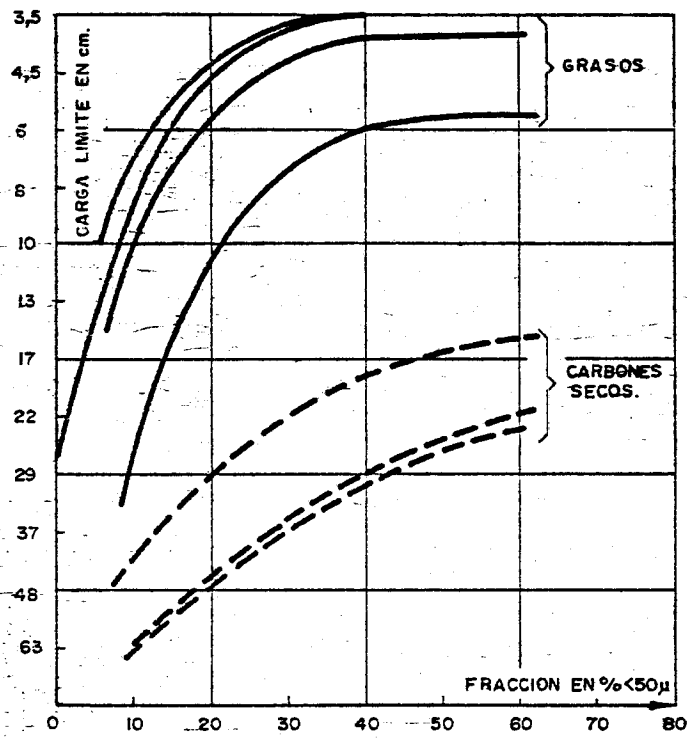
Con el aumento de la concentración de polvo, la inflamabilidad crece hasta alcanzar un máximo, a partir del cual disminuye. La llamada concentración límite, por debajo de la cual no hay propagación, es tanto menor cuanto mayores sean la violencia de la causa inicial, la fisura del carbón y el contenido en volátiles. X

d) Estéril

Absorbe parte del calor emitido, bajando la temperatura de la llama y frenando el calentamiento de las partículas de carbón. La acción del estéril es tanto más intensa cuanto más fina es su granulometría y cuando experimenta alguna transformación endotérmica, como por ejemplo deshidrataciones, vaporizaciones, etc;

e) Humedad

El agua posee una eficacia muy superior a la del estéril; haciendo falta para neutralizar una cierta cantidad de polvo, un peso de 4 a 10 veces menor al necesario de estéril, en general, un contenido de agua del 50% puede ser considerado como un margen de seguridad suficiente.



**Fig. 2.- INFLUENCIA DE LA FINURA DE POLVOS
SOBRE LA CARGA LIMITE**

f) Grisú

Cuando la atmósfera polvorienta también presenta grisú, aumenta el riesgo de la inflamabilidad.

1.1.7.- Explosivos de seguridad en nuestro país

El problema de la inflamación de las mezclas grisuosas no se empezó a considerar seriamente en nuestro país hasta principios de este siglo y esto explica que en el primer reglamento español de Policía Minera, dado el 15 de julio de 1.897, no se haga ninguna referencia a los explosivos de seguridad.

Una serie de accidentes ocurridos en 1.904, hacen que se modifique el artículo 75 por medio de una orden del 12 de julio de ese mismo año, indicando qué explosivos se pueden emplear y cuáles no.

Esta reglamentación se basa en la francesa, que es a su vez fruto de los trabajos de Maillard y Le Chatelier, que limitan la temperatura máxima de explosión.

Se fijó de esta forma para los explosivos de seguridad roca una temperatura máxima de explosión de 1900°C y para el explosivo de seguridad capa 1500°C.

Hasta el año 1.934, se venía empleando el Explosivo de Seguridad llamado nº 5 de base de:

Nitroglicerina	25%
Nitrato de sosa	34%
Serrín	19,50%

Harina	20%
Nitrato de Barita	1 %
Carbonato sódico	0,5%

Desde esta fecha se suprime este explosivo, cuyo balance de oxígeno es deficitario, y aparecen los nuevos tipos de explosivos guiados por la nueva técnica que aparece en Europa dando entrada al N. Amónico en sustitución de los nitratos alcalinos, de esta forma salen al mercado el explosivo nº 2 para Roca y el nº 7 bis para capa que llevan como los franceses la adición de celulosa y además un 6% de ClK. Son más seguros que los franceses y se acercan a la seguridad de los alemanes. El explosivo nº 11 o Sabulita B tiene la misma composición o muy parecida a su homónimo belga, llevando en lugar de sensibilizadores a base de nitroglicerina perclosato potásico.

Las composiciones de estos explosivos son las siguientes:

	<u>Nº 2</u>	<u>2 bis</u>	<u>Nº 7</u>	<u>7 bis</u>
Nitroglicerina	28,5	29,10	11,76	11,76
Nitrocelulosa	1,00	0,90	0,24	0,24
N. Amónico	70,50	62,00	88,00	80,00
Serrín	--	2,00	--	2,00
Sal común	--	6,00	--	6,00

Estos tipos de explosivos el 2 y el 7 bis, se han ido utilizando en los diversos trabajos de las minas de carbón hasta hace pocos años. En 1.961 fueron incluidos en la lista oficial los Explosivos de Seguridad Reforzada, el 14SR que no tuvo excesiva difusión debido a sus defectos de envejecimiento y poca resistencia al agua. Por tal motivo en 1.965 se solicitó la aprobación de tres nuevos explosivos de Seguridad Reforzada, 14SR-I, 15SR y 20SR aprobación

que se concedió en 1.968. El 14SR-I, con un 51% de ClNa, presenta mejores condiciones contra el envejecimiento, que el 14SR, al haberle añadido impermeabilizantes. El 15SR tiene un contenido medio inhibidor de 37,5% y el 20SR es ya de Intercambio Iónico.

Paralelamente se han realizado desde 1963 intensos estudios sobre la nueva técnica de preparación de los explosivos capa, explosivos dotados de una velocidad de detonación y gran poder rompedor. Este tipo de explosivos, con fuerte contenido en Nitroglicerina gelatinizada y también un alto contenido en Sulfato de bario, están dotados de gran velocidad de detonación, superior a los 4000 m/s, de una gran densidad de carga (1,6 a 1,7 g/cm³), gran resistencia al agua y gran poder rompedor.

Estos explosivos son el nº 9, nº 10, EBA-1 y el EBA-2 de los cuales han quedado incluidos en la lista oficial el nº 9 y el EBA-1.

Por último y como consecuencia de los estudios llevados a cabo entre los años 1.973-1.977 mediante un Plan Concertado para explosivos de seguridad, se obtiene una nueva composición de seguridad reforzada que recibe el nombre de Explosivo de Seguridad 30 S.R.

Resumiendo toda esta evolución, los explosivos que actualmente figuran en catálogo corresponden a cada uno de los tres grupos siguientes:

GRUPO I	— Explosivo seguridad roca	- nº 2 bis
GRUPO II	- Explosivo seguridad capa	- nº 9 y nº 12
GRUPO III	— Explosivo seguridad reforzada	- nº 20SR y nº 30SR

De estos explosivos citaremos únicamente sus características más notables:

- E.S. nº 2 bis.- Por sus características de composición, ya que está pensado para labores definidas como de primera o segunda categoría en el R.P.M., tiene escasa seguridad en atmósferas grisuosas y polvorientas. Lleva en composición un pequeño porcentaje de inhibidor (ClNa) su consistencia es gelatinosa y su densidad, potencia y resistencia al agua son altas.
- E.S. nº 12.- Se trata de un explosivo pulverulento de baja densidad, potencia inferior a un explosivo normal, mala resistencia al agua y buena calidad de humos.
- E.S. nº 9.- Tiene consistencia gelatinosa, densidad muy alta, potencia inferior a un explosivo normal, alta velocidad de detonación, buena resistencia al agua y buena calidad de humos.
- E.S. nº 20SR.- Explosivo de alta seguridad frente al grisú y al polvo de carbón. Se trata de un explosivo pulverulento, de baja densidad, poca potencia, mala resistencia al agua y buena calidad de humos.

Cumple los requisitos exigidos para su iniciación con detonadores de retardo microretardo y está concebido para labores en carbón, aunque puede también utilizarse en roca blanda.

- E.S. nº 30SR.- Como en el caso anterior, se trata de un explosivo de alta seguridad frente al grisú y al polvo de carbón. Es también un explosivo pulverulento, de baja densidad, poca potencia, poca velocidad, mala resistencia al agua y buena calidad de humos.

Cumple los mismos requisitos en cuanto a iniciación con detonadores que el 20 S.R.

Las características prácticas más interesantes de estos explosivos de seguridad, quedan reflejados en el siguiente cuadro resumen:

Clase de explosivo	Nombre Comercial	Potencia relativa %	Densidad de encartuchado g/cm^3	Velocidad de detonación m/s	Energía específica Kgm/kg.	Resistencia al agua
ROCA	Expl. seg. 2 bis	68	1,35	4000	72.170	Buena
CAPA	Expl. seg. 9	45	1,50	4500	49.150	Excelente
	Expl. seg. 12	55	1,01	2500	58.310	Mala
CAPA DE SEGURIDAD REFORZADA	Expl. seg. 20SR	40	1,15	2500	36.650	Mala
	Expl. seg. 30 SR	37	1,10	2.000	30.190	Mala

1.2.- Mejoras en su fabricación y control de calidad Ensayos en galería de pruebas.

1.2.1.- Mejoras en la fabricación

La fabricación de los explosivos de seguridad ha experimentado grandes avances con el transcurso de los años. De una parte hemos de citar los referidos a la introducción de nuevas teorías sobre la forma de ignición del grisú que han llevado a una evolución de los explosi-

vos, que ya hemos citado en anteriores apartados, y de otra parte mejoras en la fabricación de cada tipo en concreto de explosivo. Es a estas últimas, a las que vamos a dedicar nuestra atención en el presente apartado.

Estas mejoras se pueden dividir en dos parcelas distintas. Una de ellas es la referida al capítulo de materias primas, donde actualmente en el campo de los sólidos integrantes de explosivos se ha conseguido una gran homogeneidad en cuanto a granulometría, grado de pureza y humedad de los diferentes constituyentes y lo mismo podría decirse de los constituyentes aportados en estado líquido. De estos para el más importante, y a la vez de fabricación más peligrosa, la nitroglicerina, se ha conseguido un método de fabricación en proceso continuo que confiere una gran seguridad en cuanto a riesgo de explosión durante el proceso de fabricación además de poder realizar un estricto control de la calidad de este producto.

Todo esto unido a un riguroso control de calidad, de calidad en la recepción de estas primeras materias, hacen que se llegue al proceso, propiamente dicho, de elaboración en óptimas condiciones. Este control de calidad es llevado a cabo por el laboratorio de fábrica con una pre-determinada periodicidad.

La otra es la relativa al manufacturado del explosivo en el que se ha conseguido una automatización total desde el dosificado de los correspondientes componentes que es realizado en básculas de pesada automática en la que se introduce previamente la composición adecuada según el tipo de explosivo que deseemos, pasando por el amasado

del explosivo que también se realiza automáticamente en amasadoras de paletas de rotación vertical para el caso de explosivos gelatinosos y en amasadoras de paleta de rotación horizontal para los explosivos pulverulentos, hasta llegar a la última operación del encartuchado, encartuchado que también es realizado por distinto tipo de máquina según se trate de un explosivo gelatinoso o un pulverulento, pero en cualquier caso de forma automática y control por circuito cerrado de televisión.

Esto lleva como consecuencia de una parte el que el producto resultante de estas operaciones mantenga unas características prácticamente constantes en cuanto a composición, peso, dimensiones, humedad, potencia, velocidad, etc. y de otra el que la fabricación de explosivos aún considerando una actividad peligrosa no arroje un elevado número de accidentes laborales, como era frecuente en tiempos pasados.

1.2.2.- Control de calidad

La fabricación de explosivos está sometida a un muestreo que permita asegurar la calidad de los productos obtenidos. Así todo tipo de explosivo sufre con posterioridad a su fabricación una serie de pruebas con una mayor o menor periodicidad dependiendo de la importancia de cada una de ellas.

Estas pruebas prácticas se suelen dividir en tres grupos:

- a) Pruebas generales
- b) Pruebas específicas de seguridad para el manejo y transporte
- c) Pruebas específicas para los explosivos de seguridad ante el grisú y polvo de carbón.

A las pruebas del grupo A, son sometidos todos los Explosivos Industriales y entre los más corrientes e interesantes citaremos:

- Estabilidad química
- Determinación de la humedad
- Determinación de la densidad de encartuchado
- Valoración de la potencia
- Valoración de la velocidad de detonación
- Valoración del poder rompedor
- Valoración de la preparación
- Sensibilidad a la iniciación
- Calidad de los humos de explosión

Dado que los Explosivos Industriales no solamente han de reunir una serie de características importantes para su rendimiento sino que también los explosivos han de ser manipulados durante su utilización, y no muy bien en muchos casos, por lo tanto es preciso dotarlos de unos márgenes de seguridad, probando su sensibilidad al choque, al roce, al calor y a la iniciación, como más importante. Este es el conjunto de pruebas que hemos indicado en el apartado b.

Por último el apartado relativa a las pruebas específicas de seguridad ante el grisú y polvo de carbón serán desarrolladas más adelante, una vez descrito el lugar donde se realizan que es la galería de pruebas.

Vamos a continuación a hacer una breve descripción de en que consiste cada una de las anteriores citadas.

Estabilidad química. Se comprueba la estabilidad de los explosivos sometiéndolos a un baño de 80°C durante 1

hora. En este tiempo no tienen que desprenderse vapores nitrosos que viren el papel iodo-iodurado.

Determinación de la humedad. Para ello se somete una cantidad de muestra pesada a una desecación en un desecador de cloruro cálcico, durante 48 horas, o bien se realiza por el procedimiento de Karl-Fischer. La humedad en cualquier caso se expresa en tanto por ciento sobre la muestra, y no debe sobrepasar el 1%.

Determinación de la densidad de encartuchado. Se realiza por pesado y comprobación de medidas con varios cartuchos. También se puede realizar la densidad al agua para explosivos gelatinosos y para el caso de explosivos pulverulentos realizando el llenado de un tubo de cinc de dimensiones conocidas.

Valoración de la potencia. La potencia es una de las características más importantes de los explosivos, o por lo menos la que en un momento dado puede interesar, que incluso clasificaba a los mismos a efectos fiscales.

Son varios los métodos existentes para poder valorar esta característica, todos ellos muy discutidos por los especialistas en la materia, por defectos que presentan y repercuten en los resultados.

La más antigua de las pruebas para medir la potencia fue establecida oficialmente hacia los años 1.902-1.903 y se denomina prueba TRAUZ. Es utilizada por su gran sencillez, pero ha sido y es duramente criticada por lo excesivamente cara, por el coste del plomo, puesto que al precisar éste de repetidas fusiones para la construcción de nue-

vos bloques pierde características el plomo, que obligan a su cambio, de lo contrario repercute de forma muy directa en los resultados, por la pérdida de elasticidad, que en muchos casos dá lugar a roturas interiores de los bloques, con el falseamiento de los resultados.

En la prueba Trauluz se mide el hueco creado por 10 gr. de explosivos en un bloque de plomo de dimensiones las indicadas en la figura 3. Tiene el inconveniente de que a medida que el explosivo es más potente, debilita progresivamente las paredes del bloque con lo que se puede introducir un error debido a que el confinamiento que ofrece el bloque es progresivamente menor.

Con el fin de eliminar de la prueba Trauluz un factor de error tan importante como el de la pérdida de elasticidad del bloque de plomo debido a la mayor o menor potencia de los explosivos, que dan lugar a cavidades superiores o inferiores a las debidas, el grupo Técnico del Cerchar (Francia), ideó el sistema de comparar pesos de explosivos para volúmenes iguales, en lugar de comparar volúmenes para pesos iguales. Este sistema se denomina C.U.P. (coeficiente de utilización práctica). Presenta este sistema el inconveniente de que se deben utilizar varios bloques de plomo en cada prueba, lo que le hace más costoso aún que el Traulz.

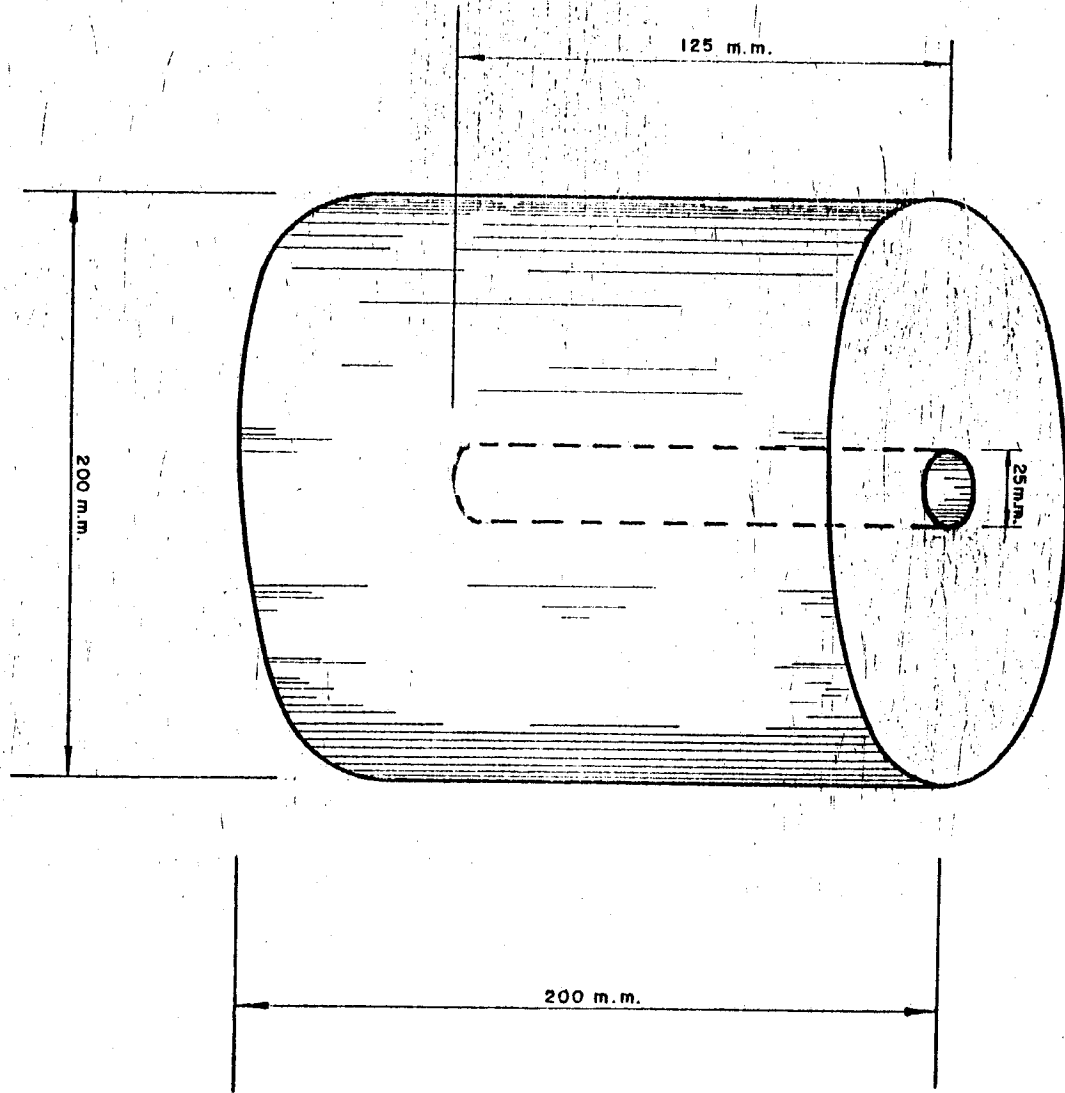
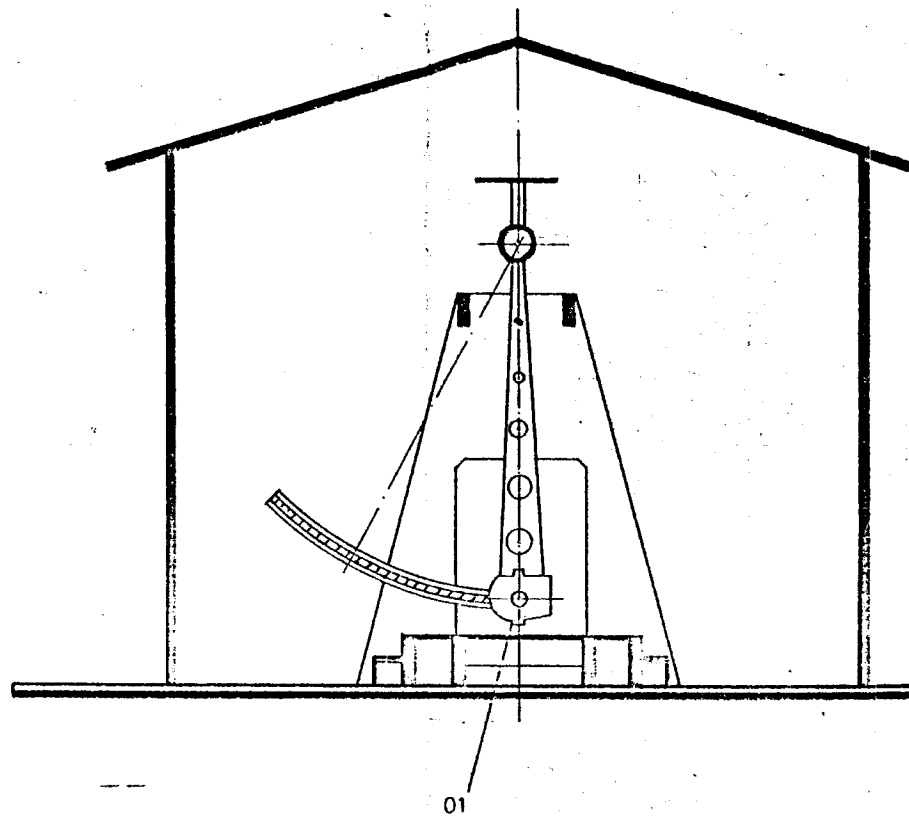


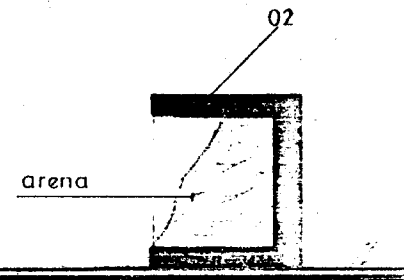
Fig. 3



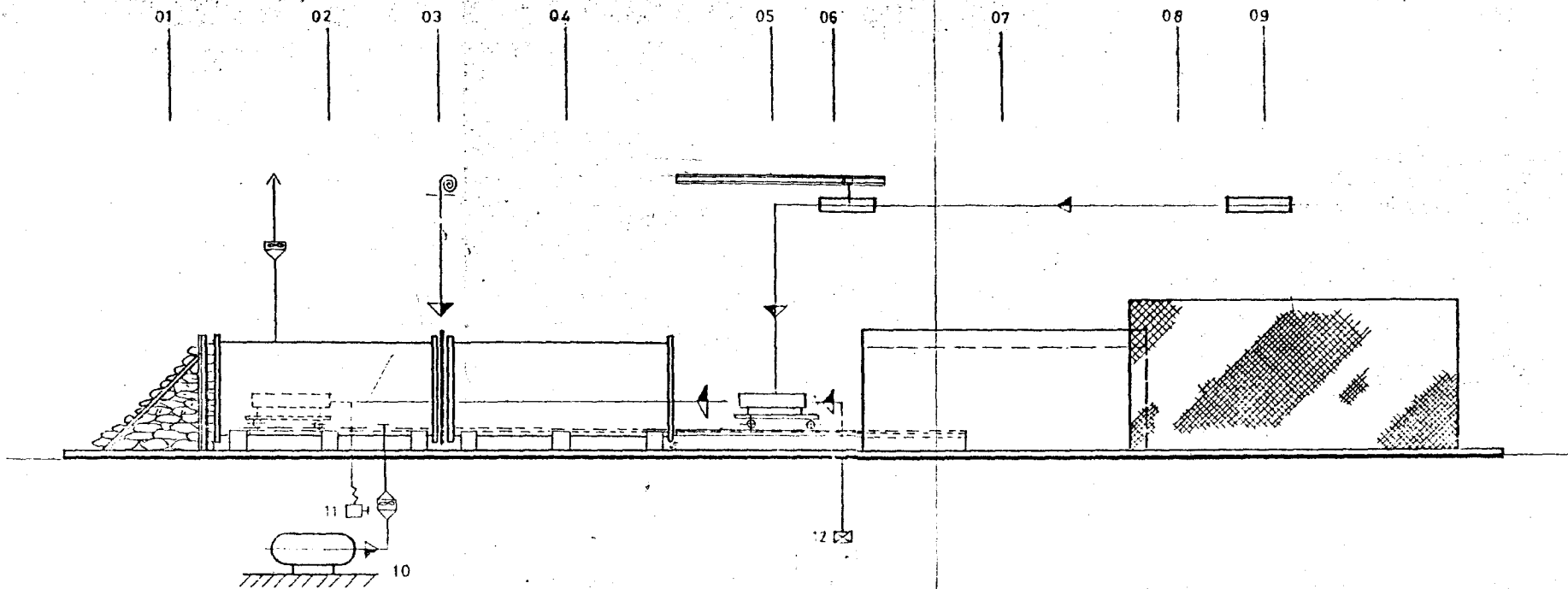
LEYENDA

01—Péndulo balístico

02—Amortiguador de impacto



B A		Denominación	Norma dibujo n.º	Material	N.º de orden	Semiproducto Modelo n.º	Estampa n.º	Part. n.º y pieza
Dibujado	Fecha	Nombre		 UNION EXPLOSIVOS RIO TINTO, S.A. Fábrica de Galdácano				
Comprob.	3-10	Mellado						
Norma								
Escola			CAMPO DE TIRO			G-21.871 VG -1.484		
%			PENDULO BALISTICO			Sustituye a:		



LEYENDA

- 01 Tepe
- 02 Camara de explosión calorifugada
- 03 Papel de cierre
- 04 Camara de expansión
- 05 Carro de transportes
- 06 Mono-carril
- 07 Tunel de tiro
- 08 Jaula de protección
- 09 Mortero
- 10 Depósito de metano
- 11 Mando explosor
- 12 Carga explosiva para pruebas

B A		Denominación	Norma dibujo n.º	Material	N.º de orden	Semiproducto Modelo n.º	Estampa n.º	Res. Res. l.º
E.º planis								
I. 977		Fecha	Nombre					
Dibujado		19-Sep	R. Mellado		Fábrica de Galdácano			
Comprob.								
Norma								
Escala		CAMPO DE TIRO					G-21 866 VG-1.481	
/		GALERIA DE PRUEBAS						
		Sustituye a:						

El procedimiento que se suele utilizar normalmente por su fiabilidad y economía para la medida de la potencia es el péndulo balístico.

El aparato es de hecho un péndulo compuesto, consistente en un mortero de acero colado, suspendido en un cuadro rígido de placas ligeras de aluminio. Está concebido de manera que la explosión de una carga lanza un proyectil. El retroceso sufrido por el mortero es registrado en un cursor por un testigo que alcanza el recorrido máximo del péndulo, quedando fijo. El peso de todo el conjunto es de unos 470 kg.

Por este procedimiento se comparan los trabajos realizados por el explosivo tipo, goma pura y el explosivo en estudio.

Este procedimiento es muy exacto y cómodo y permite realizar numerosos ensayos durante el día, mientras que tanto el Traulz como el CUP, limitan el trabajo al número de cilindros disponibles. Permite una sustitución gradual tanto de los proyectiles como de la camisa del mortero, tan pronto como se aprecie el mínimo desgaste, límites de tolerancia perfectamente definidos.

La disposición general del péndulo balístico se encuentra reflejada en el plano adjunto.

Velocidad de detonación. Es una de las características más importantes a la hora de la elección de un explosivo para un fin determinado. La velocidad de detonación de un explosivo es la velocidad de reacción, por lo tanto según se desarrolle esta reacción, de forma rápida o lenta, los efectos que se consigan con él serán muy distintos.

Un explosivo potente que detona lentamente, va ejerciendo o desarrollando su energía de forma progresiva, consiguiendo con su esfuerzo, mover grandes bloques, mientras que el mismo explosivo dotado de una velocidad de detonación alta, como el desarrollo de la energía es instantáneo, provocará una voladura espectacular, troceando la roca totalmente.

La velocidad de detonación de los explosivos está influenciada por varios factores que es preciso tenerlos en cuenta, como son: temperatura, densidad de carga, confinamiento, calibre, iniciación, y por último el envejecimiento del explosivo.

Los métodos para la medida de la velocidad de detonación más importantes son: el Kodewimeter, el del Cronógrafo o contador de microsegundos y el clásico Dautriche.

El método Dautriche se basa en la comparación de la velocidad del explosivo (desconocida) con la velocidad perfectamente contrastada de un cordón detonante.

En la disposición indicada en la figura 4 al iniciarse el explosivo mediante un detonador óctuple, aquél inicia a su vez las dos ramas del cordón detonante

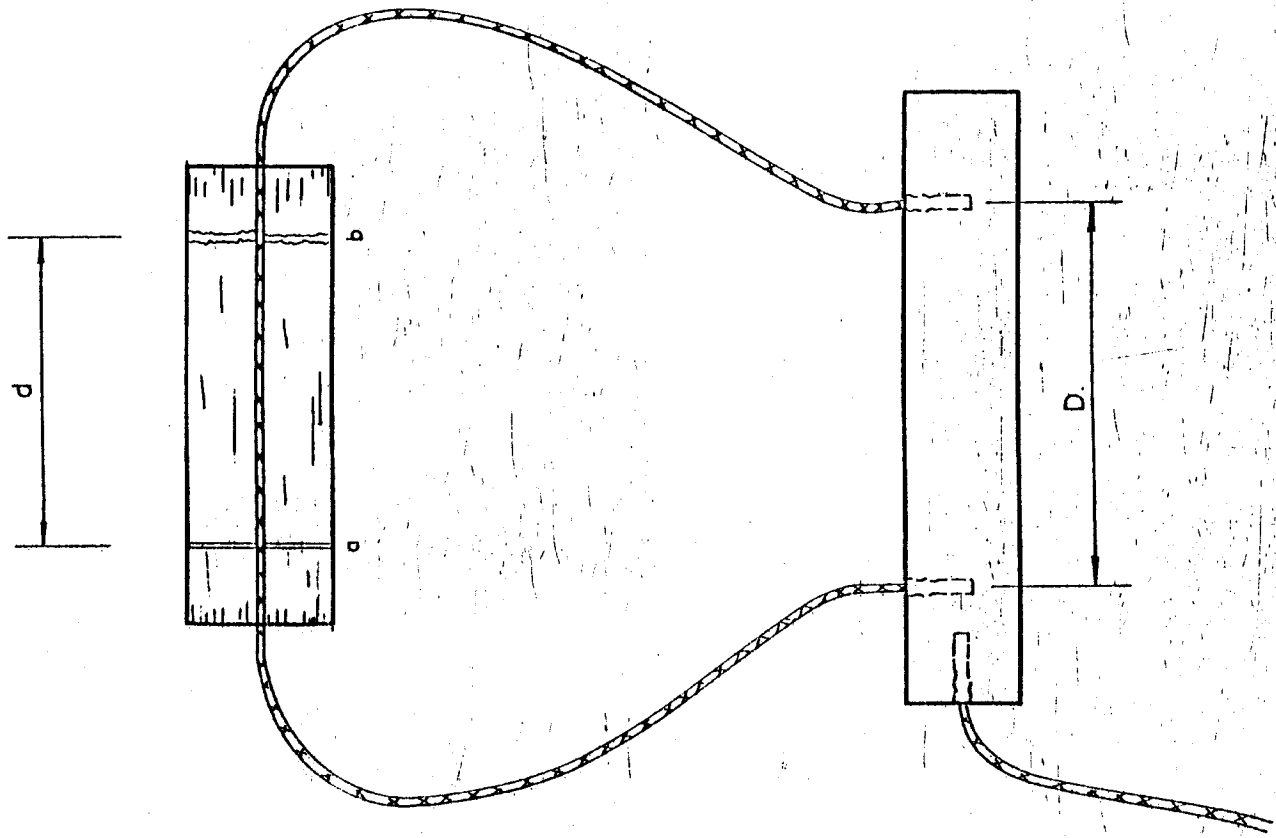


Fig. 4.

cuyo punto medio se ha hecho coincidir con a; al encontrarse las dos ondas de choque crean una hendidura (b) en la placa de Pb.

Una vez conocidas las distancias d y D y la velocidad del cordón V_c por una igualación de espacios reconocidos por la onda de choque tendremos la velocidad de detonación del explosivo.

$$V = \frac{D}{2d} V_c$$

El método del cronógrafo consiste en medir mediante un contador de microsegundos el tiempo que tarda en desplazarse la onda de detonación entre dos puntos de los cuales conocemos su distancia. La determinación de la velocidad se hace por un simple cociente entre espacio y tiempo.

La medida de la velocidad por el procedimiento del Kodewimeter es un tanto complicada, si bien nos permite medir de forma única la velocidad de una carga completa incluso colocada en el barreno midiendo al propio tiempo la velocidad de cada cartucho si llegara a interesar.

Está basado este sistema en la variación de la resistencia de una sonda que se introduce a lo largo de la carga explosiva, variación que se registra en un oscilógrafo a través del Kodewimeter. El Kodewimeter es un aparato que sirve para mantener constante la intensidad de una corriente aplicada a un medio, el cual varía constantemente de resistencia. El Kodewimeter se dispone en combinación con una sonda de resistencia al objeto de medir velocidades de detonación eléctrica y continuamente por medio de un oscilógrafo que se conecta a sus bornes.

El esquema de conexión sería el indicado en la fig. 5.

La velocidad de detonación sería conocida por cociente de la longitud de la sonda y del tiempo tardado en destruirse que ha sido recogido por el osciloscopio.

Poder rompedor. El poder rompedor de un explosivo viene representado por la potencia y velocidad de detonación del explosivo. Dos explosivos igualmente potentes, será más rompedor el de mayor velocidad de detonación. Los procedimientos más usuales para la determinación de esta característica son el de Kast y el de Hess. El de Kast, método más científico se basa en el aplastamiento producido por una carga de explosivo sobre un cilindro de cobre de 10,5 mm. de altura por 7 mm. de diámetro, el de Hess, basado en lo mismo o sea, en un aplastamiento, pero en este caso de un cilindro de Pb de 40 mm. de diámetro por 65 mm. de altura. En ambos casos se mide la pérdida de altura del cilindro de cobre o plomo.

Valoración de la propagación.- Se basa el estudio de esta característica en determinar la máxima distancia en que un cartucho cebo, hace explotar a otro cartucho receptor, colocados en línea siguiendo el eje axial. Son muchos los sistemas empleados para esta prueba, desde los ensayos sobre tierra, arena, plomo, hierro a los realizados en tubos de cartón, de hierro, plástico y al aire. Los más corrientemente utilizados son los realizados sobre hierro y al aire, para el control diario de esta característica.

Esta característica determinada de una u otra manera, aumenta considerablemente cuando se desarrolla dentro

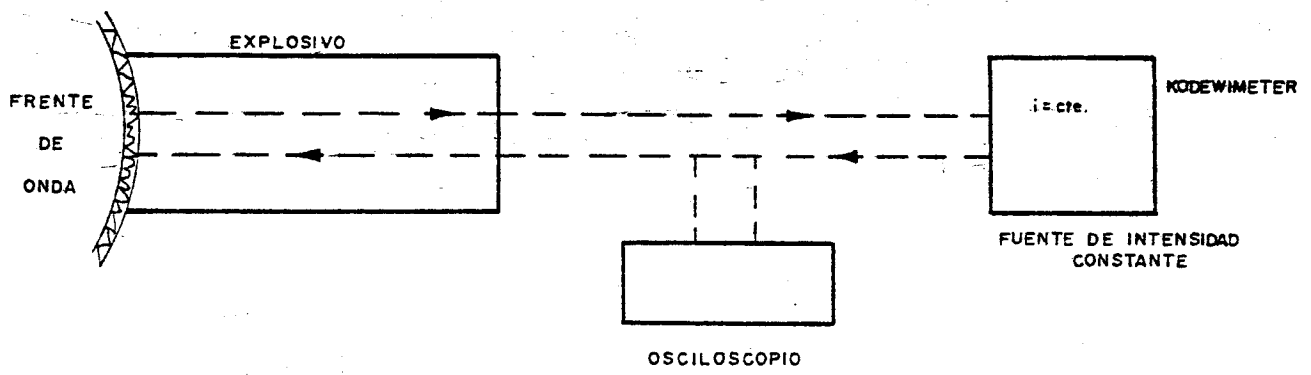


Fig. 5

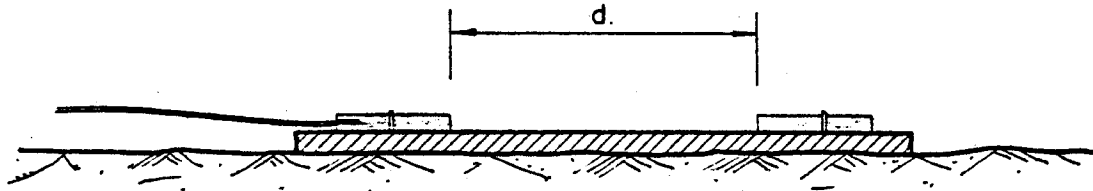
del barreno, pero los resultados obtenidos bien al aire o sobre placa de hierro, nos servirán para comprobar el grado de sensibilidad del explosivo antes de su utilización. En el caso de la propagación, son varios los factores que intervienen modificando sus resultados, como son: envejecimiento, calibre de los cartuchos y sistema utilizado.

Con el envejecimiento decrece rápidamente la propagación. En los pulverulentos la simple aglomeración de la pasta origina una pérdida de propagación, que es fácil de corregir ya que por simple presión del cartucho entre las manos se recupera, pero no así con los gelatinizados que es preciso reamasarlos y por lo tanto para evitar este inconveniente se agregan a la pasta ingredientes capaces de mantener esta característica por tiempo ilimitado.

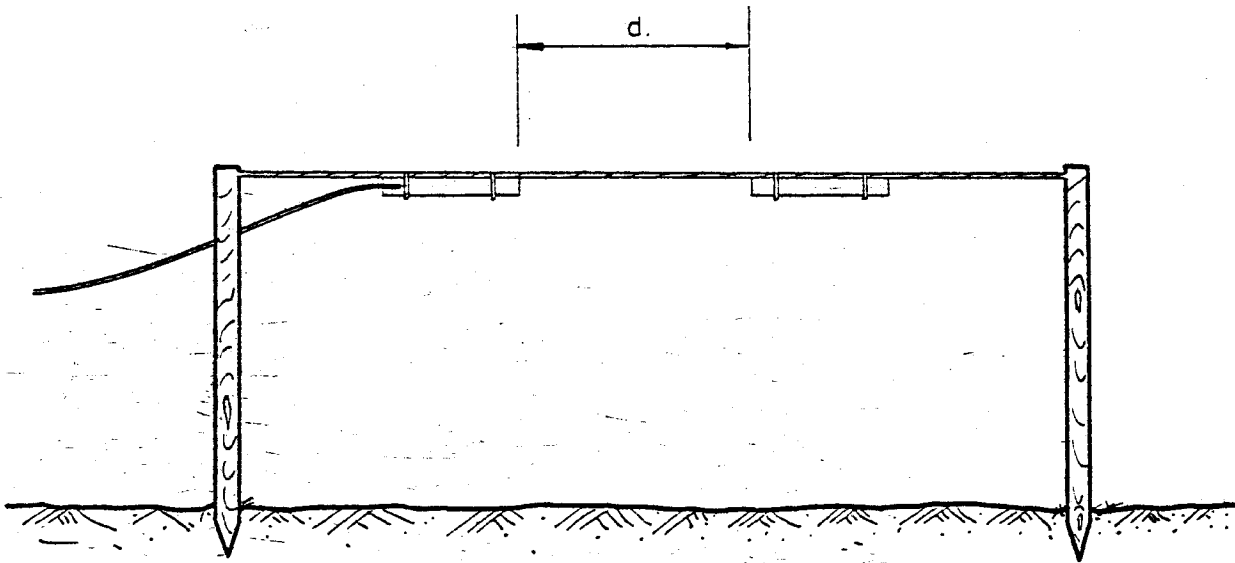
La masa del explosivo, por tanto el calibre, influye directamente sobre los resultados de la propagación. En general aumentos de calibre producen aumentos de la distancia de propagación.

Los resultados de la propagación de un explosivo no son los mismos según el sistema adoptado, al aire, sobre hierro o en un tubo de hierro ó cartón etc. por lo tanto al dar un resultado de estas características es conveniente siempre indicar el método empleado.

Normalmente se hacen ensayos sobre placa de hierro y al aire libre disponiendo el explosivo como se indica en la figura 6.



Ensayo sobre placa.



Ensayo al aire.

Fig. 6

En el sistema al aire se cuelgan los cartuchos, coincidiendo sus ejes axiales de un alambre tenso separado 1 m. del suelo y de longitud 1,5 m; en el ensayo sobre placa de hierro se colocan sobre la placa dos cartuchos haciendo coincidir sus ejes axiales.

El valor de la propagación se expresa en centímetros d y representa la máxima distancia de separación a la cual son indicados los dos cartuchos.

Sensibilidad a la iniciación. La prueba de iniciación es importante con el fin de poder conocer las necesidades de cada explosivo, para que desarrolle sus máximos efectos.

Hoy día casi exclusivamente se viene utilizando el detonador nº 8 (óctuple) en todos los casos, pero no obstante es interesante conocer el grado de sensibilidad del explosivo.

Las pruebas se realizan sobre cartuchos de 26x200 ó 130 iniciándolos con detonadores de 2, 1,75, 1,50, 1,25 y hasta de 0,25 g. de fulminato.

Calidad de humos. La calidad de los humos de la explosión se comprueba realizando ensayos en la galería de pruebas y realizando tomas de muestras de gases en distintos tiempos. Por su importancia será tratado este punto en el apartado relativo a gases de la explosión.

Las pruebas relativas al manejo y transporte que es normal realizar son la sensibilidad al choque, al rozamiento y a la temperatura.

La sensibilidad al choque se realiza sirviéndonos de un martillo de caída, donde un peso que puede ser de 10,5, 2, 1 ó 0,5 kg., cae guiado, sobre un yunque sobre el cual se ha colocado una pequeña cantidad de explosivo, generalmente entre 10 y 50 mg.

Una vez determinado el peso y la altura, el resultado se expresa dando la energía.

$E = mgh$; donde m. es la masa del martillo, g el valor de la gravedad y h. la altura a la cual se produce la iniciación

en julios, especificando el peso del martillo, que produce la iniciación del explosivo.

La sensibilidad a la fricción es la aptitud que presenta un explosivo al deflagrar o explotar por rozamiento. Aun cuando han sido varios los procedimientos para determinar esta calidad el más utilizado es el de JULIUS PETER, en el cual se somete el explosivo a un proceso de rozamiento entre dos superficies ásperas de porcelana sin barnizar, para apreciar después si ha existido carbonización, deflagración o explosión.

La prueba al calor o temperatura de explosión se encuentra reseñada en la norma UNE 31-017.

Son dos las pruebas que suelen realizarse en este caso, observar el proceso de descomposición del explosivo por calentamiento progresivo, y determinar la temperatura a que hace explosión un explosivo cuando se le vierte a un recipiente caliente.

1.2.3.- Galería de pruebas. Descripción

El cálculo de las características teóricas de un explosivo nunca da una idea exacta del comportamiento que este va a tener en la práctica, adquiriendo este problema especial importancia en el caso de los explosivos de seguridad, en consecuencia, los principales países hulleros han montado galerías de prueba para la experimentación de dichos explosivos.

En España la única que existe comenzó a funcionar a principios de 1.963 y está situada en la Fábrica de Gal-dácano de Unión Explosivos Río Tinto. Haremos una descripción de ella.

Consta de tres partes:

- a) Cámara de explosión
- b) Cámara de expansión
- c) Tunel de expansión

Cámara de explosión

Es un cilindro horizontal de chapa de acero de 10 m/m de espesor con un diámetro de 1,70 m. y una longitud de 5 m. uno de cuyos extremos está cerrado y protegido por un enrejado formado por barras de hierro, con el fin de recibir los impactos y el otro extremo está libre, si bien se puede producir en él un sellado de la cámara de explosión mediante un anillo de cierre de doble hoja en el que se coloca una hoja de papel. Este anillo de cierre tiene, en la parte superior un carril por el que se desliza perpendicularmente a la galería y se sitúa debajo de un

rollo de papel de las medidas adecuadas, una vez colocado el papel se vuelve a posicionar el anillo entre las dos cámaras (explosión y expansión) y por medio de un sistema neumático, queda adosado a la cámara de explosión, produciendo un cierre hermético.

La instalación lleva un compresor para mover las válvulas que sirvan para abrir o cerrar el anillo de aire, para mover las válvulas del circuito de homogeneizado del metano, de ventilación de las tuberías y de ventilación total de la galería una vez efectuado el disparo.

El sistema de homogeneizado del metano consiste en una tubería paralela a la cámara de explosión con entrada por la parte superior de la cámara y salida por la inferior del extremo contrario a la entrada, con un ventilador en su interior que hace circular la mezcla aire-metano hasta conseguir su homogeneidad. Una vez conseguida ésta se produce el cierre de todas las válvulas de la cámara.

La cámara de explosión dispone también de un sistema calefactor que permite realizar pruebas en galería a diferentes temperaturas.

La cámara de expansión es otro cilindro de chapa de 10 m/m de espesor, forrado exteriormente de madera y coaxial con el anterior. Su diámetro es también de 1,70 m. y su longitud de 7,5 m, entre esta cámara y la de explosión va situado el citado anillo de cierre.

La misión de esta cámara es dirigir la onda explosiva producida en la primera, mientras va perdiendo intensidad.

Por último se encuentra el túnel de expansión que está formado por hormigón armado, y de dimensiones 3 m de alto por otros 3 m de ancho y que sirve para protección y para que los gases acaben de expandirse en él. A continuación de este túnel existe un cierre de red metálica para cortar la llama y evitar la proyección de papeles ardiendo en caso de una inflamación.

Con el objeto de facilitar el transporte y manejo de los morteros por el interior de la galería, existen unas vías que recorren las cámaras de explosión, expansión y túnel de expansión.

Para la preparación de los ambientes grisosos se dispone de una instalación de bombonas para almacenado del metano y de un gasómetro entre las botellas y la cámara de explosión en el que se mide la cantidad necesaria para introducir en aquella.

1.2.4.- Accesorios de la galería

La galería de tiro de E.R.T. fue construida según las normas alemanas, que coinciden con las inglesas y belgas, en cuanto a la colocación de los morteros cilíndricos que van situados en la parte externa de la galería, con su boca apoyada en el fondo de ésta. Sin embargo en Francia el mortero se coloca en el interior de la galería con su boca hacia el fondo cerrado; dado que las condiciones de tiro aprobadas por la Administración española son semejantes a las francesas, se ha debido realizar una transformación para adaptarla a estas normas. Como resultado de esta transformación en la actualidad se pueden realizar en la galería pruebas tanto del tipo francés, como alemán o inglés, únicamente varían los accesorios de la voladura o su colocación en la galería.

Para las pruebas españolas se utilizan el mortero corto con placa y el mortero largo sin atacado.

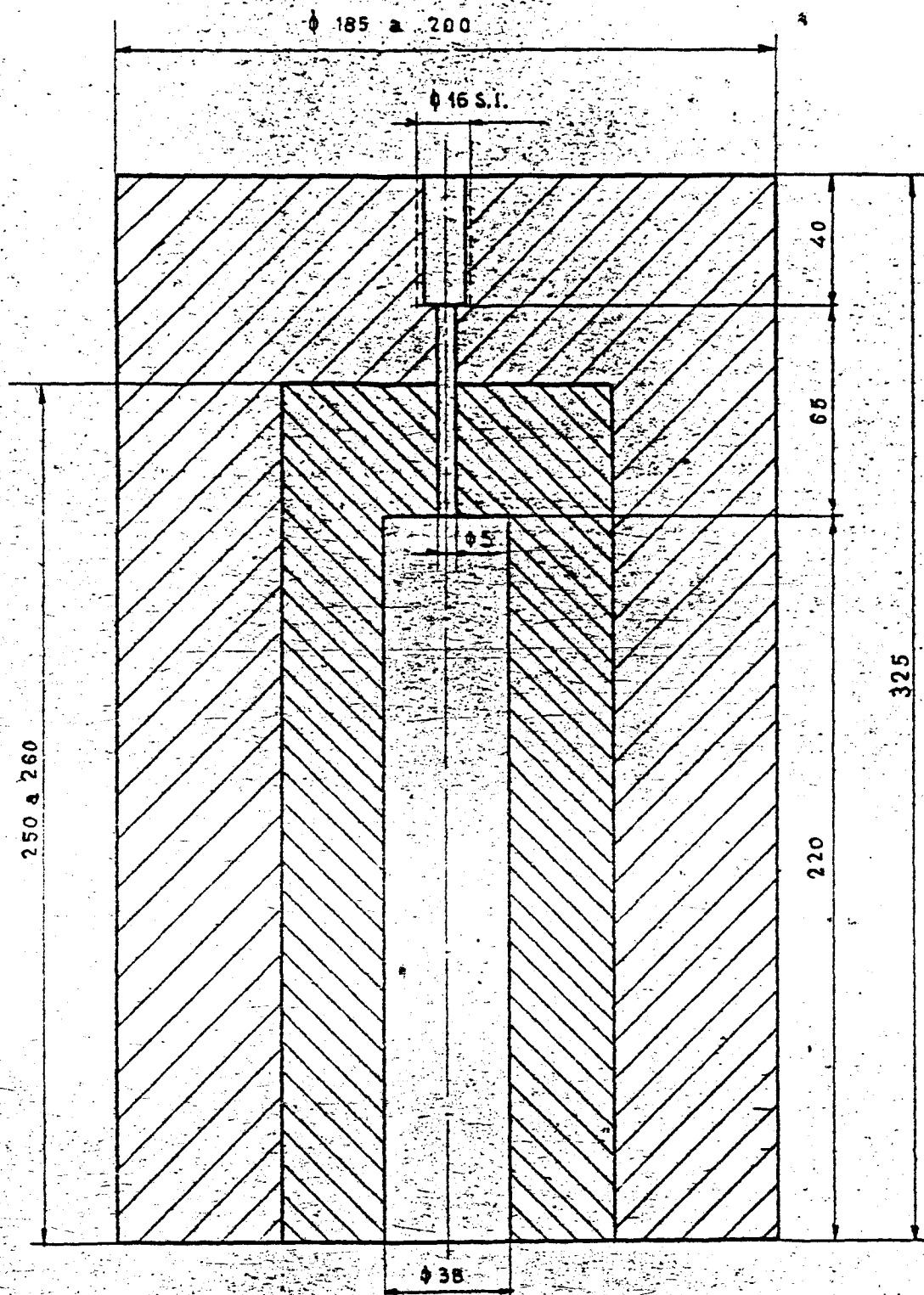
El mortero corto se trata de un cilindro de acero montado sobre una vagoneta, en el que se ha perforado un orificio cilíndrico de 38 mm de diámetro y 220 mm de longitud. La placa es de espesor variable, siendo el espesor límite de 10 mm. Este mortero representa el caso de un barreno descabezado y con un atacado débil.

El mortero largo tiene 2.400 mm de longitud y el diámetro del orificio es igual a 38 mm, siendo su profundidad 2.000 mm., reproduce el caso de un barreno que dé bocazo.

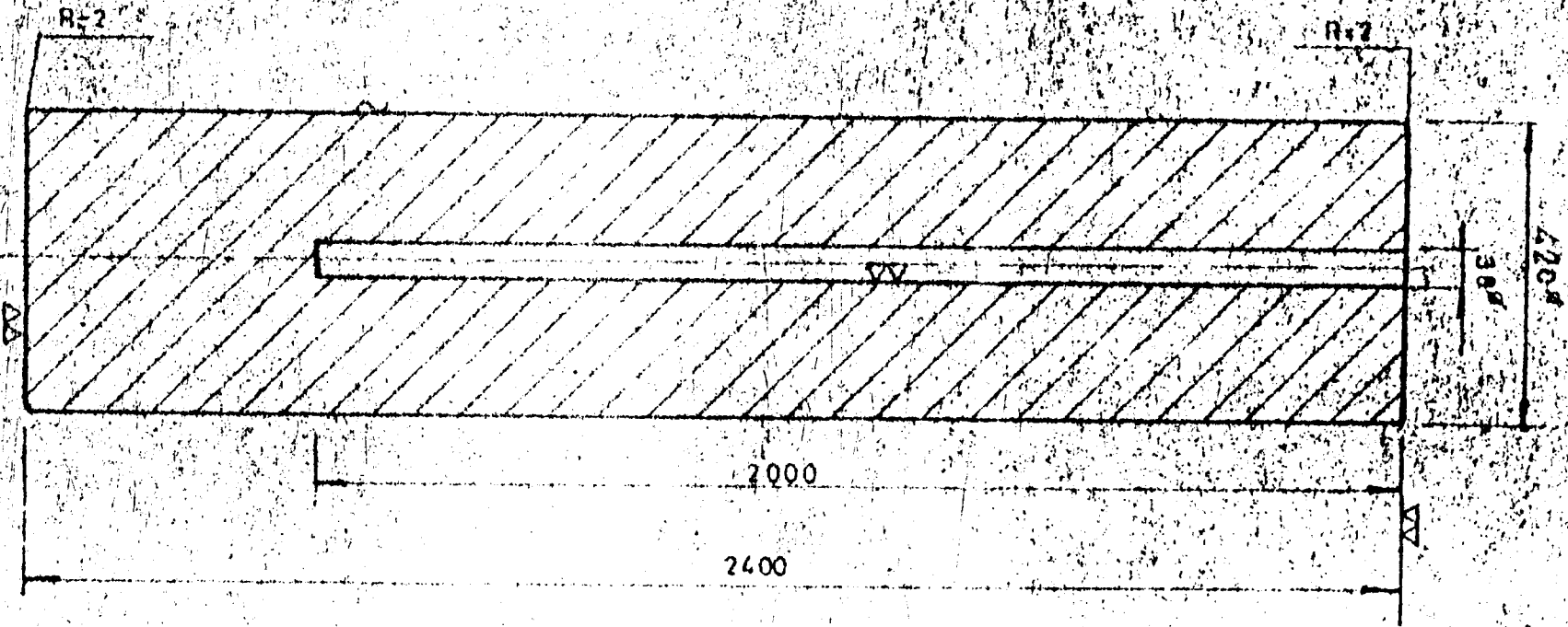
Para las pruebas alemanas, se utiliza el mortero de esquina, éste tiene una longitud de 2.000 mm y 230 mm de diámetro, posee una ranura lateral a todo lo largo cuyas caras forman un diedro de 90°. La anchura de las caras que forman la ranura es de 90 mm. Se utiliza en este ensayo una placa reflectora de 2 x 1 m y de un espesor de 20 mm, puede ir colocada a distancias variables del mortero habiéndose comprobado que la distancia más peligrosa es de 20 a 30 cms.

El diedro del mortero puede adoptar distintas posturas, siendo la prueba más dura cuando una de las caras del diedro del mortero es horizontal y perpendicular a la placa.

En el caso de las pruebas inglesas contemplan tres situaciones extraordinarias peligrosas:



	FECHA	NOMBRE	Unión Explosivos Río Tinto.SA Fábrica de Galdácano
DIBUJADO			
CALCADO	29.MAR.71	J.N.Tutor	
COMPR.			
ESCALA	MORTERO STANDAR		G.-2.737.-V.G.-870
1:2	38 x 220		Sustituye a:
			Sustituido por:

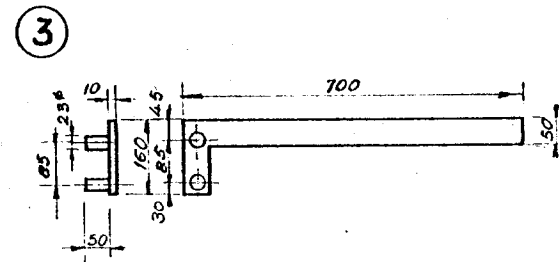
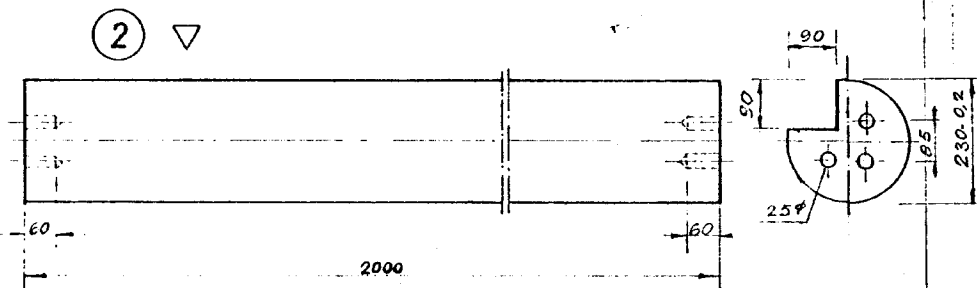
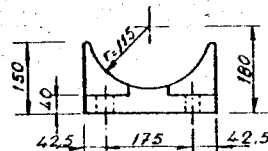
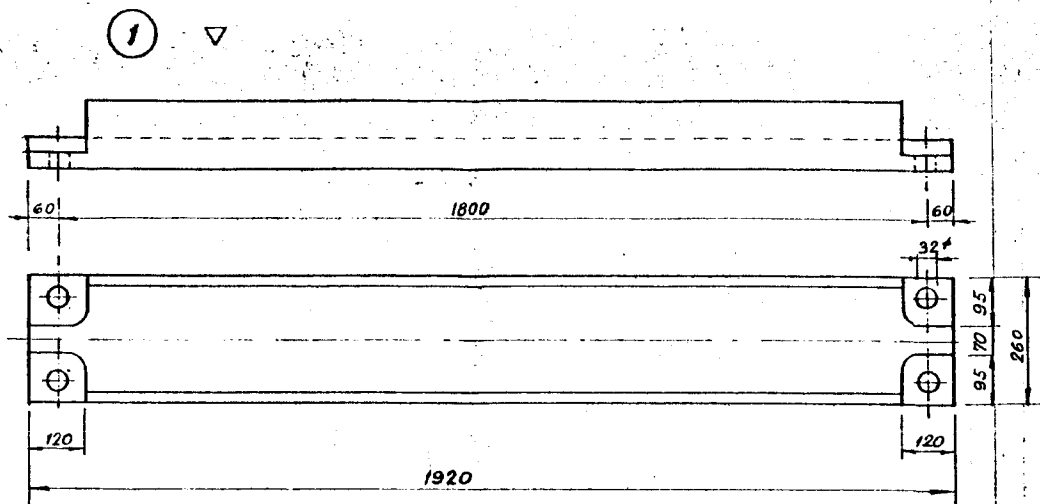


Material	
F-127	
Designation	Quantity
K.S. 90	1 piece
Comments	



UNION
EXPLOSIVOS FMO TRINITO, S.A.
FABRICA DE CALDACAÑO

Campo CAMPO DE TIRO ATXE MORTERO LARGO DE 39 m/m	Suav JG-831 Rev
--	-----------------------



2	Palanca angular		Acero	3			
1	Mortero esquinial		Acero	2			
1	Cama de mortero		Acero	1			
B/A	Denominación	Norma dibujo n.º	Material	N.º de orden	Semiproducto Modelo n.º	Estampa n.º	Nu.º de hojas

Pos 2: Acero Cr-Va marca Wilten CV42 tratado para 70-80 Kgs. de resistencia.

Dibujado	Fecha	Nombre	
Comprob.			
Norma	18.463M	Garay	
Escala	CAMPO DE PRUEBAS DE ATXE.-		G21.043 VG-541
1:10	MORTERO ESQUINAL		
Sustituye a:			

a) Se puede producir una grieta vertical que corte al barreno de forma que el explosivo detone hacia dicha grieta.

b) Se puede producir una grieta en el plano del barreno. En este caso el explosivo detona en el interior de la grieta, estando totalmente expuesto al grisú.

c) Se puede producir una grieta vertical que corte al barreno, pero a través del explosivo. El explosivo hace explosión parcialmente expuesto al grisú que rellena dicha grieta.

Con el fin de reproducir experimentalmente estas condiciones lo más exactamente posible, se han ideado los tres ensayos que aparecen representados en la figura adjunta nº 7.

El primero recuerda un poco al ensayo del mortero pequeño con placa, aunque siendo este menos severo. El segundo es segundo, es casi igual a la prueba alemana del mortero de esquina y placa reflectora.

Con este conjunto de accesorios, mortero corto, mortero largo, mortero de esquina y las anteriores pruebas inglesas y disponiendo de una galería de ensayos se está en condiciones de chequear cualquier explosivo de seguridad en condiciones de uso similares a las de las minas:

1.2.5.- Ensayos en galería

Describiremos en este apartado las pruebas a que son sometidos los explosivos de seguridad capa y los ex-

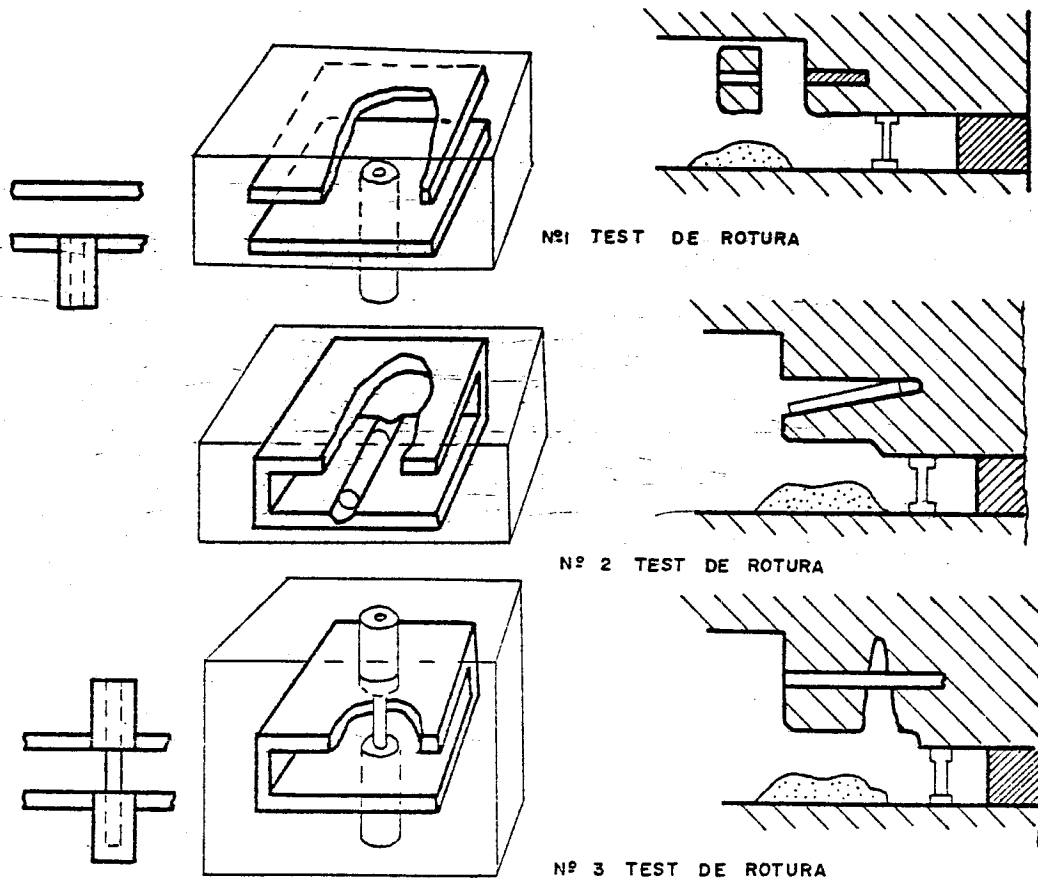


Fig. 7

sivos de intercambio iónico, con interpretación de los resultados para el caso de la normativa española que es la que nos ocupa.

Previamente describiremos qué se entiende por cartucho Verneuil, cartucho que es utilizado en algunas pruebas. Es un cartucho de 30 mm de diámetro y longitudes variables según se prepare para las pruebas del mortero corto o largo, al que se da en el momento de hacerlo un ligero retacado.

Este encartuchado se prepara de esta forma especial, con el fin de asemejar en lo posible las condiciones de las pruebas a las de las minas, entendiéndose que los artilleros retacan ligeramente el explosivo, consiguiendo una mayor densidad de carga con lo cual las pruebas resultan más severas.

Las pruebas en la galería son las siguientes:

Explosivos de seguridad capa

- a) Mortero corto más placa más el 9% de metano
Placa límite de 10 mm.
- b) Mortero largo polvos no suspendidos 8 kg carbón
- c) Mortero largo más el 9% de metano.

Como prueba facultativa, se realiza la del mortero largo más polvos suspendidos 8 kg.

Explosivos de intercambio iónico

Como pruebas obligadas para este explosivo se realizan las siguientes:

- a) Mortero corto más placa
- b) Carga suspendida, polvos suspendidos más el 3% de metano.
- c) Mortero largo y carga suspendida
- d) Mortero largo con el 9% metano

Descripción de las pruebas para los explosivos capa

Mortero corto más placa.- Se utiliza el mortero corto ya descrito, en el cual se coloca un cartucho de 30 x 180 mm. El mortero se coloca dentro de la galería con la boca hacia el fondo de la misma que está formada por una gran rejilla de chapas de hierro superpuestas formando espacios de 20 mm. y sobre este fondo de chapas horizontales va colocado otro enrejado de chapas en sentido vertical, que ocupa el centro de la pared del fondo de la galería en una superficie de 1,2 m x 1 m. cuyas rejas son recambiables cuando por efectos de los disparos y, sobre todo por las chapas de retacado, rompen alguna de ellas.

Este emparrillado en el fondo de la galería hace de las pruebas que en la galería se realizan, que sean más exigentes con el explosivo en cuestión.

Una vez colocada la carga en el interior del mortero, se obtura la boca mediante una placa de distintos espesores y diámetro ligeramente inferior al de la boca del mortero, sujeta a la misma mediante un papel adhesivo. Cuando el diámetro del agujero del mortero alcanza los 45 mm. es preciso recambiarlo. La duración de un mortero de este tipo es de 4 a 8 disparos, según el tipo de explosivo probado.

Los resultados deben ser con placa de 10 mm.
0/5 inflamaciones, resultado bueno (o inflamaciones de 5 disparos)

1/5 inflamaciones continuas hasta 10 disparos

2/5 inflamaciones repetir

Al repetir el ensayo;

1/5 inflamaciones, resultado bueno

2/5 inflamaciones, rechazar

Se admiten hasta en 2/10 de inflamaciones. Normalmente se empieza a disparar con la placa de 7,5 mm. con el fin de poder trazar la curva de inflamabilidad que sin duda alguna es muy interesante, ya que según sea el descenso brusco o suave indica la mayor o menor seguridad del explosivo respectivamente.

Mortero largo más polvos de carbón no suspendidos.-
Se utiliza el mortero de 38 mm. por 2.000 mm. de longitud.

Empleando cartuchos de 30 x 300 se utilizan cargas de:

300 mm. de longitud

900 mm. de longitud

1.800 mm. de longitud

Se utilizan 8 kg. de carbón de las características siguientes:

Materias volátiles (en seco) 25%

Cenizas	10%
Granulometría (Tamiz de 0,80 mm)	
pasa el	60%

El mortero se sitúa dentro de la cámara de explosión con la boca hacia afuera, con una inclinación sobre la chapa en que se sitúa el polvo de carbón de forma que la boca queda a 15 cm. del suelo y a un metro del montón de polvo de carbón (8 - 9 grados aproximadamente).

El cebado es posterior y se disparan series de cargas de 300, 900 y 1.800 mm. de longitud con el fin de comprobar la longitud de máxima inflamabilidad, ya que en muchos casos la carga más larga puede no ser la más peligrosa. La carga se mete siempre hasta el fondo del mortero.

Ensayos:

Cargas de 300 mm.	0/2
Cargas de 900 mm.	0/2
Cargas de 1800 mm.	0/2

No admite ninguna inflamación.

Mortero largo con el 9% de metano.- Se utiliza el mismo mortero largo de 38 x 2.000 mm. Cargas de 300 y 600 mm. en cartuchos de Vernveil, cebado posterior y carga en el fondo. Mortero largo situado en el interior de la galería y con la boca hacia el fondo emparrillado.

Interpretación de resultados:

Cargas de 300 mm.	0/5	Resultado bueno
600 mm.	0/5	

Pero si resulta:

300 mm.	0/5	Bueno
600 mm.	1/5	
300 mm.	1/5	Repetir
600 mm.	2/5	

Si al repetir resulta:

300 mm.	0/5	Bueno
600 mm.	0/5	
300 mm.	1/5	Rechazar
600 mm.	1/5	

El resultado final debe ser:

300 mm.	1/10
600 mm.	2/10

Como prueba no oficial citaremos el mortero largo y polvos suspendidos.

El mortero largo se coloca hacia el fondo de la galería, se utilizan cargas de 300-600 mm. en cartuchos Vernueil con cebado posterior y carga en el fondo, en este ensayo no se utiliza pantalla de papel. En ambos casos no se deben producir inflamaciones en tres disparos. La suspensión de los polvos se realiza por el procedimiento que se indicará.

Descripción de las pruebas para los explosivos de intercambio iónico

Mortero corto más placa.- Se utilizan cartuchos de 30 x 180 mm. o 30 x 220 mm. según la densidad, mortero

dentro de la galería dirigido hacia el fondo y con cebado posterior:

Ensayos:

Sin placa	0/10
Placa 1 mm.	0/30
Placa 2 mm.	0/10
Placa 3 mm.	0/10

Es más peligrosa la prueba con placa de 1 mm. que sin ella, y para algunos explosivos es más peligrosa la placa de 2 mm. o de 3 mm. que inferiores.

Cargas suspendidas, polvos suspendidos más el 3% metano.

Cargas de 1.500 y situadas en el eje de la galería formando un solo cartucho y mantenido rígido mediante dos guías de alambre de 3 mm. (alambre de hierro), se emplean cartuchos Vernueil de 30 mm.Ø. Para la suspensión de los 8 kg. de polvo de carbón se utilizan 30 g. de explosivo de intercambio iónico que se dispara un segundo antes que la carga.

Ensayos:

Carga de 1.500 g.	0/30 Bien
Carga de 1.500 g.	1/30 Seguir hasta 100 para determinar el % de inflamabilidad permitiendo el 22%.

Mortero largo y polvos suspendidos.- Se coloca el mortero largo hacia el fondo de la galería y se utilizan cargas de 300, 600 y 1.800 mm. de longitud en cartuchos Vernueil de 30 x 300 mm. Los 8 kg. de polvo de carbón se ponen en suspensión mediante una carga de 30 g. disparada

1 segundo antes de disparo del mortero. El cebado es posterior.

Pruebas:

Cargas de 300 mm.	0/3	No se admite
Cargas de 600 mm.	0/3	Ninguna
Cargas de 1800 mm.	0/3	Inflamación

Mortero largo más el 9% de metano.- Se coloca el mortero largo dispuesto hacia el fondo de la galería y en él cargas de 300, 600 y 1.800 mm. de longitud en cartuchos de 30 x 300 Vermueil el cebado es posterior y la carga se dispone en el fondo.

No se permite ninguna inflamación.

Hemos descrito hasta aquí el conjunto de las pruebas oficiales españolas, que son similares a las francesas, y son así mismo las que se llevan a cabo por la homologación de los explosivos de seguridad en España y para el control del producto dispuesto para la comercialización, en este último caso diariamente. No obstante este control diario también comprende pruebas no oficiales o pruebas oficiales en otros países al objeto de hacerse una idea clara de la calidad de los productos. Este control que comenzó siendo únicamente a efectos de lograr un mayor conocimiento de los explosivos de seguridad, es hoy en día totalmente necesario si pensamos que partidas de estos tipos de explosivo son destinadas a la exportación y deben cumplir la reglamentación vigente en el país de destino.

1.3.-Medidas en el empleo de los explosivos para mantener o mejorar su seguridad.

El minero que debe utilizar explosivos, y en el caso más concreto en que por las particularidades de su explotación debe utilizar explosivos de seguridad, dispone de una serie de medidas para mantener en unos casos o para aumentar en otros la propia seguridad del explosivo. Estas medidas le vendrán unas impuestas por la propia legislación vigente, y otras serán opcionales y consistirán en el empleo de ciertos elementos que mejoren la seguridad propia del explosivo.

1.3.1.- Legislación en materia de uso de explosivos en minas de carbón.

2.1.2.- La actual legislación señala una serie de limitaciones en el uso de los explosivos frente a problemas de polvo de carbón o de grisú que contribuyen cuando no a aumentar, sí a mantener las propiedades del explosivo en lo que se refiere a seguridad.

Ante el problema del polvo de carbón, el Reglamento de Policía Minera, señala que el minero dispondrá de los siguientes medios, en lo tocante al explosivo, para solventarlo:

a) Riego del frente de arranque hasta que el polvo de carbón en éste contenga, al menos, 30 por 100 de agua.

b) Colocación de un depósito o montón de polvo completamente incombustible delante de la boca de cada barreño y cuyo peso no sea inferior a un kilogramo ni precise exceder al quíntuplo de la carga de explosivos. El montón de pol-

vo suelto podrá sustituirse por una bolsa o saco de papel iquífugado lleno de dicho polvo y suspendida de la boca del barreno o montado sobre una espiga o clavija inserta en las minas.

c) Recubrimiento de los cartuchos de explosivos con una envolvente de seguridad de un tipo aprobado por la superioridad.

d) Colocación dentro del barreno y delante de la carga de un taco de polvo incombustible que tendrá, al menos, una longitud de 20 centímetros para los 100 primeros gramos de explosivo, con aumento de 25 milímetros por cada 100 gramos más, sin que sea necesario exceder de 40 centímetros. Dicho taco de polvo se complementará hacia el exterior por otro taco compacto de arcilla de $\frac{1}{3}$ de la longitud de aquél, con mínimo de 10 centímetros.

En cuanto a la presencia de grisú, la actual legislación establece por una parte los tipos de explosivos y las cargas máximas que se deben utilizar y de otra el tipo de explosivo a emplear en cada labor.

Comienza el R.P.M. en su artículo 55 clasificando los explosivos para minas de carbón en los siguientes cuatro grupos:

- Primer grupo :Explosivos capa de seguridad reforzada
- Segundo grupo:Explosivos capa de seguridad
- Tercer grupo :Explosivos roca de seguridad
- Cuarto grupo :Explosivos de uso limitado

El artículo 56 limita el tiempo de almacenamiento en seis meses para explosivos del primer y segundo grupo y en un año para los del tercer y cuarto grupo.

Las cargas límites de cada grupo son:

Primer grupo: Carbón 1500 gramos; en roca 2000 gramos

Segundo grupo: Carbón 500 gramos; en roca 1000 gramos

Estas cargas límite del segundo grupo deben reducirse a 300 gramos y 500 gramos, respectivamente, en frentes francamente grisuosos y polvorientos o simplemente polvorientos salvo neutralización eficaz de la labor en los 15 metros anteriores al frente.

Tercer grupo: Sólo en roca, en frentes de primera clase, 2000 gramos; en frentes de segunda clase 1000 gramos.

Estas cargas serán máximas, los esquemas de tiro consignarán las que racionalmente deben emplearse en cada barrenos de una misma pega para evitar que por falta de espesor de roca o de carbón pueda la carga detonar al aire.

En las minas de carbón de segunda categoría y de tercera categoría y en las sospechosas de primera categoría, las labores de todo género se clasifican en las cinco clases siguientes, a los efectos de utilización de explosivo:

Clase primera: Labores que satisfagan las condiciones mínimas siguientes:

a) Que el frente de arranque no corte carbón ni lo hayan cortado ninguno de los barrenos dispuestos para la pega.

b) Que aunque se desarrollen en sectores algo grisuosos sean labores horizontales o descendentes, y en todo caso,

con ventilación suficiente para que la concentración de grisú en la atmósfera de la labor sea inferior al 5 por 100 en el frente y en la labor misma, hasta una distancia mínima de 100 metros del frente.

c) Que aun desarrollándose en sectores de la mina considerados como polvorientos, no presenten acumulaciones de carbón ni de polvo, ni estén a menos de 30 metros de talleres de arranque o galerías de transporte de carbón, ni descubran capas o vetas de carbón en forma tal, que la superficie total de carbón descubierto exceda del 10 por 100 de la superficie total de labor y en que la localización de los tiros no pueda provocar la formación de polvo de carbón.

Clase segunda: Labores mixtas en que la superficie total de carbón al descubierto no exceda del 10 por 100 de la superficie total de la labor, pero que no satisfagan las restantes condiciones mínimas impuestas para la clase primera.

Clase tercera: Labores mixtas en las que la superficie total de carbón al descubierto exceda del 10 por 100 de la superficie total de la labor, o aquellas en que el número total de barrenos en carbón exceda del quinto del número total de barrenos.

Clase cuarta: Labores de trazado o preparación en carbón.

Clase quinta: Talleres de arranque de carbón.

Los explosivos autorizados en cada caso serán (art. 60):

En labores de clase primera, todos los explosivos de la lista oficial para minas de carbón en general.

En las labores de segunda clase, explosivos de seguridad roca, para barrenos en roca y explosivos seguridad capa o explosivos de seguridad reforzada para barrenos en carbón.

En las labores de tercera clase, explosivos de seguridad capa y de seguridad reforzada, y lo mismo puede decirse para las labores de cuarta y quinta clase.

2.1.3 1.3.2.- Anteproyecto de futura legislación

El Real Decreto 2114/1968 de 2 de Marzo que aprueba el REGLAMENTO DE EXPLOSIVOS, faculta a los departamentos ministeriales para dictar las normas complementarias en el ámbito de sus respectivas competencias, que requiera la ejecución de dicho REGLAMENTO.

Por otra parte la creciente utilización de explosivos en usos civiles y los grandes avances en la tecnología de su empleo, aconseja la actualización del Decreto 1466 de 22 de Junio de 1.962, que regula la normativa a seguir en el empleo de explosivos para toda clase de actividades civiles y constituye un capítulo del REGLAMENTO DE POLICIA MINERA Y METALURGICA.

La modificación que se propone recoge las normas complementarias del REGLAMENTO DE EXPLOSIVOS que debe observar el usuario y la intervención del Ministerio de Industria y Energía, en todo lo referente a suministro, circulación, transporte, almacenamiento y empleo de explosivos y otros productos elaborados con sustancias explosivas, buscando la

mayor seguridad en las personas y de los bienes.

Dada la importancia de este tema puesto que supone una modificación apreciable del actual Reglamento de Policía Minera hemos preferido incluir todo el articulado, si bien algunos de los puntos se apartan del capítulo de explosivos de seguridad.

ANEXO 6

1.3.3.- Mejoras de la seguridad en el empleo de estos explosivos.

El aumento de la seguridad de los explosivos de seguridad, se puede conseguir actualmente por introducción de diferentes tipos de taco como retacado de los barrenos. Los tipos de taco más comunmente utilizados, aunque unos poseen ventajas sobre los otros son:

Tacos de polvo inerte

Tacos de cloruro sódico

Tacos de gelatina

Veremos las pruebas que con ellos se han realizado y cuales han sido las conclusiones obtenidas respecto a su comportamiento.

Citaremos en primer lugar los tacos de polvo inerte que presentan algunos inconvenientes de los cuales resaltaremos solamente los dos que a nuestro entender son los más importantes:

a) El polvo inerte del taco está constituido normalmente por cenizas de combustión procedentes de centrales térmicas. Estas cenizas son extraordinariamente finas y de naturaleza silícea, provocando un empeoramiento del ambiente de la mina por aumento del contenido de polvos con el consiguiente perjuicio desde el punto de vista de las enfermedades profesionales.

b) Por otra parte, el polvo inerte de naturaleza silícea tiene una capacidad inhibidora de la inflamación del grisú y polvo de carbón muy reducida. Recordemos que en los inicios de los explosivos de seguridad aparecieron en Bélgica inventados por Lemaire, los cartuchos "enfundados" que estaban constituidos por un núcleo explosivo y una envuelta de polvo inerte,

y que posteriormente se consideró que si se cambiaba el polvo inerte silicio, calizo etc. por un halogenuro ó una sal del tipo bicarbonato aumentaba la seguridad.

De lo anteriormente expuesto se deduce fácilmente que la sustitución de los tacos de polvo inerte silíceo por otros hechos a base de cloruro sódico, presenta indudables ventajas tanto desde el punto de vista de la salud de los trabajadores como de la seguridad ante las explosiones de grisú y de polvo de carbón. Efectivamente, al eliminar el polvo silíceo de los tacos, la concentración de aquél en el ambiente será menor con la consiguiente mejora en el problema de la silicosis. Por otra parte, la sal es un inhibidor antigrisuoso muchísimo más eficaz que el polvo inerte y esto es un factor muy interesante en el caso de ciertas situaciones peligrosas (barrenos denudados , barrenos que dan bocazo, etc.)

Los tacos constan de una envuelta de papel parafinado y de un núcleo de cloruro sódico. La envuelta de papel parafinado para preservar el contenido salino, muy higroscópico, de la humedad.

—Las dimensiones de los tacos de sal son:

Diámetro del taco	26 mm.
Longitud	120 mm.
—Peso de la envuelta	5 g.
Peso de la sal	70 g.
—Peso total del taco	75 g.

Con estos tacos de sal y los de polvo inerte se han realizado pruebas en la galería de ensayos, utilizando un explosivo de seguridad capa y otro de seguridad reforzada. No entraremos en la descripción de las pruebas, por ser ya conocidas y nos limitaremos a dar los resultados obtenidos.

a) Mortero largo y 9% de metano

Con explosivo de seguridad reforzada. Se utilizó el 20 SR. en cartuchos de 32 x 130 mm. colocando dentro del mortero dos cartuchos atacados con un taco de seguridad. No se empleó un mayor número de cartuchos por miedo a que reventase el mortero.

Resultados:

Taco de sal	0 inflamaciones/5 pruebas
Taco de polvo inerte	" "

Explosivo seguridad capa. Dos cartuchos de E.S. nº 9 en 26 x 200 mm. y taco de seguridad.

Resultados:

Taco de sal	0 inflamaciones/5 pruebas
Taco de polvo inerte	" "

b) Carga suspendida y 9% de metano.

Explosivo Seguridad Reforzada. Se colocaron dos tacos de seguridad colocados en el extremo de la carga suspendida o puesto al punto de iniciación. El explosivo utilizado fue el 20 S.R. en calibre 32 x 130 mm. y la carga 1.200 g (diez cartuchos).

Resultados:

Taco de sal	0 inflamaciones/5 pruebas
Taco de polvo inerte	" "

Explosivos Seguridad Capa.- El explosivo empleado fue E.S. n) 9 en 26 x 200 mm. La carga límite de este explosivo en esta prueba es de unos 100 gramos, por ello, se usó un cartucho de este peso rodeado de tacos de seguridad, y estando todo el conjunto suspendido en el centro de la cámara.

Resultados:

Taco de sal	0/Inflamaciones/5 pruebas
Taco de polvo inerte	" "

c) Carga suspendida, 9% de metano y nube de sal o polvo inerte. La prueba es similar a la anterior, pero un segundo antes de la explosión de la carga a ensayar, se levanta una nube de 5 kg. de peso de sal o de polvo inerte finamente molido, mediante un pequeño cartucho de Expl. Seg. nº 20 S.R.

La carga está constituida por 10 cartuchos de 20 S.R. de 32 x 130 mm. (1200 g) y dos tacos de seguridad en el extremo opuesto al de cebado.

Resultados:

Taco de sal	0/Inflamaciones/5 pruebas
Taco de polvo inerte	1 Inflamación/5 pruebas

Comparando los resultados obtenidos con los tacos de polvo inerte y con los de sal, se puede apreciar que aunque los primeros también son seguros ante el grisú y el polvo de carbón, su seguridad es menos que la de los tacos de sal ya que se ha producido una inflamación del grisú en el caso de carga suspendida, 9% de metano y polvo inerte en suspensión.

En nuestra opinión, la inflamación ha sido debida a que las partículas silíceas, constituyentes del polvo inerte y previamente suspendidas, en contacto con la llamarada y los gases calientes de la detonación, se ponen en estado incandescente, dando lugar a puntos muy calientes que desencadenan la detonación del grisú.

Hasta hace unos años la tendencia generalizada era la utilización de tacos de polvo inerte y posteriormente de sal, actualmente esta tendencia se está desplazando hacia la utilización cada vez más generalizada de los tacos de base de gelatina acuosa, debido a las manifiestas ventajas que presentan. Estas ventajas son:

1.- Los tacos de gelatina acuosa tienen un efecto de fijación del polvo producido en la voladura, con la consiguiente mejora del ambiente de trabajo desde el punto de vista del peligro de silicosis.

2.- Mejora de los humos de voladura

3.- Buena adherencia del relleno y perfecto llenado del barreno. Esto se consigue rasgando la envoltura de plástico del taco antes de su introducción en el barreno, cosa que normalmente no es necesario ya que la misma suele ser rasgada por el atacados al ser introducido en el barreno y aprisionado por el mismo.

4.- No puede crear cargas electroestáticas ni deteriora los hilos del detonador.

5.- Facilidad de colocación de dicho tacos en el barreno, lo que facilita enormemente las operaciones de carga de las pegas.

6.- En la minería del carbón, estos tacos presentan la ventaja complementaria de incrementar la seguridad de los explosivos frente al grisú y el polvo de carbón. Es bien conocida la acción inhibidora que ante estas acciones tiene el agua y las sustancias con alto contenido de la misma. Estos nuevos tacos, con un contenido aproximado en agua del 90% ofrecen al usuario mucha mayor seguridad que los tacos de naturaleza arcillosa al uso hoy día. Además, llevan algo de agente inhibidor para mejorar esta acción.

Se realizaron pruebas de estos tacos de gelatina con explosivo de seguridad capa (E.S. nº 9) y con otro de seguridad reforzada (E.S. nº 20 S.R.) en la galería de pruebas.

a) Mortero largo y 9% metano

Con explosivo de seguridad nº 9 . La carga explosiva tenía una longitud de 600 mm. y un peso de 495 g. En la boca del mortero se colocó un taco de gelatina acuosa. De cinco pruebas realizadas, no se registró ninguna inflamación.

Explosivo de seguridad nº 20 S.R. Mortero lleno de explosivo (1.400 g) y taco de gelatina colocado en la boca. De cinco pruebas realizadas no se registró ninguna inflamación.

b) Carga suspendida y 9% de metano.

Con explosivo de seguridad nº 9. Carga suspendida de 100 gramos (carga límite) con un taco de gelatina en un extremo. De cinco pruebas realizadas, ninguna inflamación.

Con explosivo de seguridad nº 20 S.R. Carga suspendida de 1.400 g. de explosivo con un taco de gelatina en un extremo. De cinco pruebas realizadas, ninguna inflamación.

De las pruebas realizadas, se puede obtener como conclusiones finales la ratificación de las ventajas previamente enumeradas.

3.1. Gases desprendidos en la explosión de los distintos tipos empleados de explosivos.

3.1.1.- Agentes químicos, su influencia sobre el organismo humano.

Entenderemos por "Agentes Químicos" los compuestos químicos sin vida (a diferencia de los contaminantes biológicos) que ingeridos por el organismo originan enfermedades profesionales que obstaculizan el desarrollo normal del trabajo, dando lugar a consecuencias de carácter preclínico (agobio, mareos y náuseas, edad hipersensibilidad del obrero) o a síntomas clínicos que pueden entorpecer o anular funciones vitales, lesionar aparatos y vísceras y llegar a ocasionar la muerte.

La primera y más elemental clasificación que podríamos hacer de estos agentes, es atendiendo a su estado físico. Podemos clasificarlos entonces en:

a) Agentes en estado sólido. Estado físico normal de la materia a 25º C y 760 mm. de Hg. de presión.

Se pueden presentar en las siguientes formas:

Polvo. Suspensión en el aire de partículas sólidas de pequeño tamaño procedentes de una disgregación.

Humo. Suspensión en el aire de partículas sólidas, procedentes de una combustión incompleta o de una condensación a partir de un estado gaseoso.

b) Estado líquido. Estado físico normal de la materia a 25º C y 760 mm. de Hg. de presión.

Se puede presentar en la forma:

Niebla. Suspensión en el aire de finísimas gotículas líquidas, cuyo tamaño no es apreciable a simple vista.

Bruma. Suspensión en el aire de pequeñísimas gotículas líquidas visibles a simple vista, producidas por un proceso de condensación a partir de un estado gaseoso.

c) Estado gaseoso. Puede presentarse en dos formas:

Gas. Estado físico normal de una sustancia a 25°C y 760 mm. de Hg. de presión.

Vapor. Fase gaseosa de una sustancia, ordinariamente en estado sólido o líquido, a 25°C y 760 mm. de Hg.

Las principales vías por las cuales un contaminante químico y biológico puede penetrar en el organismo son las que enumeramos a continuación:

1) Vía respiratoria.

Se entiende como tal todo el sistema respiratorio, es decir: Nariz, boca, laringe, bronquios, bronquiolos y alvéolos pulmonares.

Es la vía de entrada más importante para la mayoría de contaminantes químicos y biológicos.

Es también la vía de entrada más estudiada por la Higiene teórica, hasta el punto que los valores standard se refieren únicamente a ella.

2) Vía dérmica

Comprende toda la superficie epidérmica que envuelve al cuerpo humano.

Es la segunda vía de entrada más importante en Higiene del Trabajo.

Los contaminantes químicos y biológicos pueden penetrar en el organismo a través de esta vía, bien directamente o mediante otras sustancias.

3) Vía digestiva

Se entiende como tal todo el sistema digestivo es decir, boca, exófago, estómago e intestinos.

Además de los contaminantes que penetran a través de la boca debemos también considerar los que puedan ingerirse disueltos en las mucosidades del sistema respiratorio.

4) Vía absorción mucosa

Habiendo englobado en las anteriores vías de entrada a las correspondientes mucosas de los sistemas afectados, nos queda únicamente en este capítulo la mucosa conjuntiva del ojo.

Es una vía de entrada muy poco importante en Higiene del trabajo.

5) Vía parental

Se entiende como tal la penetración directa del contaminante en el organismo a través de una discontinuidad en la piel.

El caso más frecuente en Higiene del Trabajo es la penetración a través de una herida abierta, pero también cabe considerar la penetración por punción o inyección.

Es la vía de entrada más grave para los contaminantes biológicos y para ciertas sustancias químicas.

A diferencia de los contaminantes químicos y biológicos, para los contaminantes físicos, no existen vías de entrada específicas, debido a que sus efectos son consecuencia de cambios energéticos que afectan a órganos muy concretos.

3.1.2. Criterios para la clasificación de los tóxicos gaseosos.

Dependiendo del criterio al que nos atengamos, podemos obtener diferentes tipos de clasificación de los tóxicos gaseosos.

La clasificación más importante es la que se realiza teniendo en cuenta los efectos fisiológicos y psicopatológicos que estos tóxicos producen. Con arreglo a ellos se pueden presentar los siguientes tipos de gases:

- a) Gases irritantes
- b) Gases asfixiantes
- c) Gases anestésicos y narcóticos
- d) Gases tóxicos químicos

Gases Irritantes

Son aquellos que producen la inflamación de las zonas del cuerpo con las que entran en contacto, particularmente de las mucosas del aparato respiratorio, provocan-

do reacciones de los tejidos, aumento de la secrección y disminución, e incluso paralización del movimiento ciliar, por lo que se obstaculiza la eliminación del exceso de mucosidad, con la consiguiente obstrucción de los conductos pulmonares. Dependiendo de la zona donde preferentemente actúan los podemos dividir en:

1) Irritantes del tracto respiratorio superior

Son sustancias muy solubles en agua; como más frecuentes podemos citar ácidos y álcalis (ClH , SO_4H_2 , NO_3H , NaOH , KOH), aldehidos (formol y acroleina), nieblas salinas (fluoruros, cromatos, etc.), óxidos de etileno, haluros de ácidos orgánicos, etc.

2) Irritantes del tracto respiratorio superior y tejido pulmonar.

Son los gases con mediana solubilidad en el agua que ejercen una acción irritante sobre todo el aparato respiratorio. En este grupo se integran los halógenos, ozono, haluros de azufre y fósforo, anhídridos de halógenos, sulfatos de dimetilo y dietilo, éter etílico, etc.

3) Irritantes del tejido pulmonar

Pertenecen a este apartado los gases poco solubles en agua, como el NO_2 , COCl_2 , Cl_3As , lewisita, hidrocarburos aromáticos, etc.

Existen excepciones a la teoría de que la solubilidad en agua es determinante de la zona irritada. Así, el vapor de cianuro de p-bromobencilo, muy poco soluble

en agua, es absorbido por la mucosa ocular provocando el lacrimo y a su vez irrita más la vía respiratoria que el tejido alveolar; excepción justificada por tratarse de un producto hidrolizable que origina alcohol p-bromobencilo, muy soluble en agua.

Casi todos los gases irritantes hacen que los pulmones se opongan con mayor resistencia al paso del aire, aumentando la contracción de la musculatura y la congestión de las mucosas, lo que deriva en una pérdida de elasticidad pulmonar.

Las experiencias con animales demuestran que las exposiciones prolongadas a irritantes respiratorios aumentan la secreción de las mucosas y originan un síndrome similar a la bronquitis crónica no infecciosa, lo que justifica que las atmósferas industriales o urbanas puedan iniciar o coadyuvar al desarrollo de bronquitis crónicas.

Gases Asfixiantes

Son los que impiden el suministro de oxígeno a los tejidos, se clasifican por su acción en:

1) Inertes o Asfixiantes simples

Su actuación es únicamente mecánica, desplaza el oxígeno del aire con lo que la concentración del mismo disminuye.

Indicaremos que las atmósferas con una riqueza de oxígeno inferior al 16% provocan alteraciones respira-

torias, si la concentración es inferior al 6% son prácticamente irrespirables, motivando la muerte por asfixia. Se estipula que la concentración de oxígeno en los ambientes industriales nunca debe ser inferior al 18%.

Se necesitan grandes concentraciones de estos gases para conseguir un desplazamiento del oxígeno tal, que la concentración de éste disminuya hasta los niveles anteriormente indicados.

Pertenecen a este grupo el CO_2 , N_2 , H_2 , los gases nobles, los hidrocarburos alifáticos saturados o no, etc. En algunos de ellos, además del carácter asfixiante habría que considerar el peligro de inflamación e incendio.

2) Gases Asfixiantes Químicos:

Estos gases impiden la aportación de oxígeno a las células por una acción química sobre la sangre. Pertenecen a este grupo el CO , nitrilos orgánicos, nitratos, amino y nitro-derivados orgánicos, SH_2 , AsH_3 , etc. Por ejemplo, el CO se une a la Hemoglobina formando Carboxihemoglobina, que es incapaz de transportar el O_2 del pulmón a la célula. El CNH y los nitritos inhiben la acción de determinadas enzimas del proceso respiratorio celular. El AsH_3 hemoliza los glóbulos rojos originando anemia y disminuyendo la capacidad respiratoria. El SH_2 actúa sobre el bulbo cerebral que regula los movimientos musculares, provocando la paralización del sistema muscular respiratorio y obstaculizando la entrada de O_2 al fondo del pulmón.

Gases Anestésicos y Narcóticos.

Estos gases deprimen el sistema nervioso originando perturbaciones mentales y de coordinación. La gravedad depende de la cantidad de tóxico que, transportado por la sangre, alcanza el cerebro. Se requiere una solubilidad relativa en agua (sangre) y en grasas (cerebro, etc.) que origine la insensibilidad celular (anestesia). La acción se gradúa en tres etapas: insensibilidad, inconsciencia y muerte.

A este grupo pertenecen todos los disolventes de grasas industriales (desengrasantes) tales como hidrocarburos lineales y aromáticos, alcoholes, acetonas, éteres, ésteres y derivados clorados.

En las series orgánicas se observan dos efectos opuestos, por una parte al aumentar el peso molecular disminuye la solubilidad en plasma, pero por otra se incrementa la acción sobre el cerebro. La sustitución de los hidrógenos por grupos hidrófilos -OH y COH disminuye la acción anestésica del hidrocarburo, pero aumenta la capacidad fisiológica de esterificación de ambas funciones. Por el contrario, si se introducen halógenos, se incrementa la capacidad anestésica, a la vez que quedan afectados otros órganos (hígado, riñón).

Gases Tóxicos Químicos

Son gases que dañan los órganos, las vísceras y los aparatos funcionales. Sus acciones más frecuentes son las de atacar las vísceras, principalmente el hígado y el riñón, deformar los glóbulos rojos, atacar al sistema nervioso y modificar el metabolismo de sustancias ex-

trañas, originando metabolitos en los que puede potenciarse la acción tóxica inicial. Hay contaminantes que producen varios efectos simultáneamente, en este grupo se incluyen varios asfixiantes químicos (CO , CNH , SH_2 ,) y anestésicos (derivados clorados concentrados)

3.1.3.— Gases tóxicos desprendidos en voladuras subterráneas

Las voladuras con explosivos en labores subterráneas producen tapones de humos visibles durante un tiempo variable. Estos tapones están constituidos por una masa gaseosa que contiene en suspensión polvos y gotículas líquidas y además de los componentes normales de la atmósfera, un cierto número de gases nocivos.

Dentro de estos gases nocivos citaremos por su importancia el monóxido de carbono, el anhídrido carbónico y los vapores nitrosos, también se pueden producir esporádicamente otros gases, dependiendo principalmente del tipo de explosivo utilizado, si bien su concentración es en general muy débil.

Haremos una descripción de los más importantes, comenzando por el monóxido de carbono.

El CO es el origen de numerosas intoxicaciones. Es el resultado de quemar carbón en una atmósfera deficiente de oxígeno. Puede formarse en cantidad más o menos considerable con todos los combustibles.

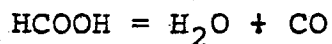
El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, sin sabor, muy poco soluble en el agua, hierve a 192°C y congela a -207°C . Su temperatura crítica es -139°C y su presión crítica de 35 atm. Su calor de formación es de 26,42 Kcal.

Su densidad con respecto al aire es de 0,967. Es pues un poco más ligero que el aire, pero esta pequeña diferencia no basta para que se localice necesariamente en las partes superiores; se encuentra repartido de una manera muy variable e imprevista. Su intervalo de explosibilidad está comprendido entre 12,5 y 74%.

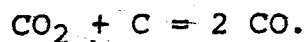
Los gases de monóxido de carbono son físicamente estables. En las minas de hierro son también químicamente estables.

En el laboratorio este gas se obtiene calentando ácido oxálico, $C_2O_4H_2$, un sólido blanco cristalino, con ácido sulfúrico concentrado, que actúa como deshidratante.

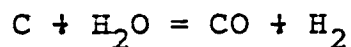
Para obtener monóxido de carbono puro, la mezcla gaseosa resultante de esta reacción, se hace pasar a través de una disolución de hidróxido potásico para absorber el CO_2 . Si por el contrario se emplea ácido fórmico, $HCOOH$, o formiato sódico, $HCOONa$, con ácido sulfúrico concentrado se evita la presencia de CO_2 .



La llama azul radiante que se observa sobre un fuego de carbón es debida al monóxido de carbono que arde y se convierte en dióxido de carbono. Cuando el dióxido de carbono que se forma por la combustión del carbón en su parte inferior se pone en contacto con el carbón al rojo de las capas superiores, se forma monóxido de carbono.



La reacción:



es muy importante desde el punto de vista comercial. La mezcla equimolecular de CO y H₂ se llama gas de agua.

El CO es un veneno directo y acumulativo. Se combina con la hemoglobina de la sangre para formar un compuesto relativamente estable, carboxihemoglobina, sustancia inútil para el transporte de oxígeno.

Cuando aproximadamente un tercio de la hemoglobina ha entrado en tal combinación, la víctima muere. El gas de CO es uno de los venenos más traidores, por su falta de olor. Un volumen de monóxido de carbono en 10000 de aire produce síntomas de intoxicación, y en 800 volúmenes ocasiona la muerte en 30 minutos.

La toxicidad del CO es función de su concentración y del tiempo de exposición de la persona al mismo. Si la concentración expresada en milésimas es C y el tiempo de exposición en segundos es t, el índice de toxicidad del medio viene dado por:

$$T = C \cdot t.$$

Henderson y Haggard indican que el riesgo mortal está en el valor $T = 5400$.

La toxicidad del CO aumenta con la presencia del anhídrico carbónico en la atmósfera. La toxicidad de una atmósfera de este tipo viene definida por Guerin con la fórmula:

$$\text{Toxicidad} = \frac{500 \cdot A \cdot B}{C} \quad \% \text{ de CO}$$

A = % de CO en la atmósfera

A. 20B

B = % de CO₂ en la atmósfera

C = % de O₂ en la atmósfera

70

El monóxido de carbono es extremadamente nocivo ya que acarrea una muerte muy rápida en concentraciones bajas.

El tiro de explosivos y los motores de explosión son las fuentes más corrientes del CO. Otras fuentes son los quemadores de gas butano o propano que en atmósfera mal ventilada pueden acarrear concentraciones importantes de CO e incluso los compresores en caso de sobrecalentamiento.

Existe raramente en estado natural, se puede no obstante encontrar en el grisú y en el gas de los pozos de aceite mineral y erupciones volcánicas.

Vapores nitrosos

Los vapores nitrosos existen en los tapones de tiro, bajo la forma de NO y de NO₂. Aunque sus densidades son muy próximas al CO y al CO₂, son menos miscibles en el aire y se observan a veces cantidades mayores en la pared que en el techo.

En las concentraciones encontradas en los tapones de tiro, los vapores nitrosos no son estables químicamente; su evolución está regida por las siguientes reacciones:

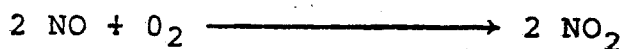


Los ácidos nitrosos y nítricos son líquidos a 13°C, forman gotitas que caen o quedan pegadas a las paredes o en los polvos calcáreos en suspensión en el aire.

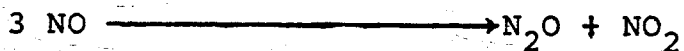
El NO (Oxido Nítrico)

Es un gas incoloro, inodoro, insípido, poco soluble en agua. Su punto de ebullición es -151,74°C y su punto de congelación -163,61°C. Su temperatura crítica es -94°C y su presión crítica, 65 atm., por lo que se licúa con dificultad.

Entre las reacciones químicas importantes del óxido nítrico se encuentran las de oxidación y reducción. La reacción con el O₂ es instantánea, formándose NO₂ de color café.



A 25°C y 1 atm., el óxido nítrico es termodinámicamente inestable. A altas presiones, se descompone rápidamente en el intervalo 30-50°C.



El óxido nítrico es una molécula impar, porque posee un electrón no apareado. Sin embargo, su comportamiento no es el típico de las moléculas impares ya que no es colo-

reado (aunque en fase líquida o sólida posee un color azul) y además, no tiene una tendencia apreciable a asociarse formando pares de electrones.

El alto valor de su constante de TROUTON, indica que, en realidad, se produce una cierta asociación en fase líquida, pero se ha demostrado que el sólido está formado por dímeros, en los cuales las dos unidades NO interaccionan débilmente entre sí.

El NO posee un comportamiento magnético singular, lo que está relacionado con su gran estabilidad, que es mucho mayor que la que podrá esperarse de una molécula impar. Estas propiedades son consecuencia de una combinación de factores que no se presentan en ningún caso más.

El electrón impar posee un momento orbital alrededor del eje molecular igual a $1/2$. El momento del spin, que también vale $1/2$, puede acoplarse con el momento orbital en forma paralela o en dirección contraria, generando un estado fundamental diamagnético o un estado excitado paramagnético. Lo que sucede en realidad es que la diferencia de energía entre estos estados es de solamente 352 cal/mol, mientras que el valor de KT a temperatura ambiente es de aproximadamente 600 cal/mol. A temperaturas suficientemente bajas, KT toma valores mayores o comparables a los de esta separación, de manera que la distribución de moléculas entre el estado diamagnético y el paramagnético es función de la temperatura, y por tanto, la molécula posee aparentemente un momento magnético dependiente de la temperatura. Consecuentemente, el diamagnetismo del sólido no implica necesariamente la existencia de interacciones intermoleculares fuertes que conducen al apareamiento de los spins.

El NO₂ (Peróxido de Nitrógeno)

Es el gas más peligroso de todos los que se originan en las voladuras. Es un líquido incoloro que se evapora alrededor de los 22°C. Sus vapores son, en principio, rojos sangrantes y se hacen cada vez más oscuros con el aumento de la temperatura, reaccionan con el agua para formar ácidos nitrosos y nítricos.

El NO₂ es una molécula impar. El electrón no apareado se encuentra principalmente localizado sobre el N. Sus propiedades (color café rojizo y fácil dimerización para dar N₂O₄ diamagnético) son típicas de una molécula impar. El NO₂ puede también perder su electrón no apareado con relativa facilidad (I = 9.91 eV) para formar el ión nitronio NO⁺₂.

Se conocen dos formas de dímero del NO₂. La más estable posee un ordenamiento O₂N-NO₂ planar. A temperaturas cercanas a la del nitrógeno líquido es posible aislar atrapándola en una matriz inerte, una forma no planar o retorcida. Aproximadamente a 40 K puede aislarse una tercera especie cuyo espectro infrarrojo sugiere una estructura del tipo ONONO₂. Mientras que no existe ninguna duda de que las moléculas O₂NNO₂ constituyen la mayor parte del (NO₂)₂ tanto en fase gaseosa como en líquida. En las condiciones comunes de reacciones químicas, podría suceder que existieran cantidades pequeñas de una forma de vida efímera del tipo ONONO₂, que jugarían un papel muy importante en las reacciones del (NO₂)₂. Sería posible justificar razonablemente numerosas reacciones del gas, suponiendo la

presencia o fácil formación de radicales NO y NO₃, que pueden ser considerados como productos de la escisión homolítica de la unión N-O del ON-ONO₂. En el caso del (NO₂) líquido, la mayoría de las evidencias químicas son consistentes con la hipótesis de la presencia o rápida formación de los iones NO⁺ y NO₃⁻. Estos iones son productos probables de la disociación heterolítica del ON-ONO₂ en el solvente moderadamente ionizante (NO₂)₂ o en (NO₂)₂ mezclado con solventes tales como el acetato de etilo.

Así, aunque su concentración en el equilibrio pueda ser muy baja, la forma ONONO₂ sirve como conexión entre el NO₂ y O₂NNO₂ y las especies reactivas NO, NO⁺, NO₃⁻, NO₃⁻. Esta hipótesis aunque es atrayente y consistente con las evidencias acumuladas, no ha sido aún corroborada experimentalmente.

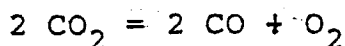
Anhídrido carbónico

El anhídrido carbónico es el producto natural de toda oxidación completa del carbono, bien sea en la combustión natural, bien sea en el metabolismo de las células. El aire natural lo contiene en un 0,027-0,036%, el aire expirado de los pulmones en un 4-5%.

Es un gas incoloro, inodoro, con sabor ligeramente ácido y fácilmente soluble en el agua. Su densidad respecto al aire es de 1,52, por tanto, se acumula en las partes bajas. No es explosivo. Su temperatura crítica es de 31,1°C y la presión crítica de 73 atm.

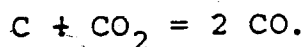
Debido a su elevada temperatura crítica, puede licuarse a la temperatura ambiente y conservarse líquido en tubos resistentes de acero. Si el líquido se deja fluir en un saco de tela, la disminución de presión hace que una parte del líquido se evapore, y como se absorbe calor como calor latente de vaporización, el resto se enfría solidificándose en una masa blanca nivea, conocida como nieve carbónica. Este sólido se sublima a la presión atmosférica a la temperatura de -78,51°C, sin fundir, y se emplea comercialmente como refrigerante para alimentos helados, en especial durante su transporte.

El dióxido de carbono es una sustancia estable; a 2000°C su disociación a la presión de una atmósfera, es tan sólo del 1,8%.



El CO_2 no arde ni mantiene la combustión de las sustancias orgánicas; debido a ello forma parte de disoluciones para extinguir incendios.

Cuando se hace pasar CO_2 a través de una capa de carbón incandescente, se forma monóxido de carbono:



El proceso es reversible. A la presión de una atm. se forma el 2% de CO a 450°C, un 23% a 600°C, un 94% a 800°C y un 100%, reacción prácticamente completa a más de 1000°C.

No es venenoso, pero si asfixiante.

Es interesante tener en cuenta que la existencia de CO₂ en la atm. baja sensiblemente el umbral de toxicidad del CO.

Así, según DECKERT en 1929 y BALTHASARD y MELISINOS en 1933, una intoxicación mortal de monóxido de carbono, sobreviene después de 4 horas con las siguientes concentraciones.

0,40%	de CO	si la concentración de CO ₂	es del	0%
0,03%	"	"	"	0,5%
0,02%	"	"	"	2%
0,01%	"	"	"	8%

El anhídrido carbónico surge naturalmente de las rocas, de la respiración de los hombres, de la combustión de las lámparas o de cualquier fuego, de la oxidación de las maderas, de materias orgánicas o de minerales de roca encajantes. También se presenta en gran cantidad, en los gases residuales de los tiros de explosión y en menor proporción en los gases de escape de los motores.

3.1.4.- Tapón de humos en voladuras subterráneas

La voladura con explosivos produce instantáneamente un gran volumen de gases, estos gases cuando se presentan en proporciones elevadas son nocivos para el organismo humano.

Así se ha calculado que 1 kg. de explosivos produce alrededor de 500 l. de masa gaseosa, que contiene polvo en suspensión, gotitas líquidas y un cierto número de gases nocivos entre los que destacan el CO, NO, CO₂ y NO₂. Los contenidos de estos gases peligrosos para el hombre se miden en p.p.m.

Los humos producidos constituyen lo que denominamos un "tapón" en la galería donde se hace el tiro. Vamos a estudiar a continuación tanto su formación como su posterior evolución, pues como veremos, no todos los gases evolucionan en la misma forma, siendo unos más estables que otros.

Comenzaremos por considerar este tapón en un fondo de saco sin ventilación, para después pasar al mismo supuesto pero con ventilación. La influencia de este importante factor, del cual sólo haremos ahora una somera referencia, será vista más adelante.

Tapón en un Fondo de Saco sin ventilación.

En un fondo de saco de 50 mts. sin ventilación, la formación del tapón dura de 5 a 10 minutos después del tiro. El frente de humos avanza a una velocidad que se ha comprobado está comprendida entre 5 y 8 m/min. hasta una longitud máxima de unos 50 mts., momento en el cual se detiene bruscamente y su velocidad se hace 0.

Es importante observar como la concentración de gases es máxima tanto en el frente de trabajo (lugar donde se produce la voladura) como en el frente de avance del tapón.

Así, un medidor situado en un punto por donde ha de pasar el frente de avance en su expansión, nos marcará una subida brusca de la concentración en el momento de su paso hasta alcanzar un máximo, para ir bajando después lentamente.

Todo esto puede observarse con absoluta claridad en las fig. 1 y 2 que nos indican los gráficos de concentraciones tanto del CO como del NO en p.p.m., en un punto situado a 30 m. del frente.

Al cabo de unos 5-10 minutos, el avance del tapón se detiene, la masa gaseosa ocupa toda la galería. Su separación con la atmósfera de la mina es muy clara, las concentraciones de gases decrecen en su extremo con un gradiente muy fuerte.

En el interior del tapón, las concentraciones se homogenizan bastante rápidamente y las oscilaciones se amortiguan en algunos minutos.

Las cantidades medias decrecen ligeramente desde el frente de trabajo hasta el extremo del tapón, pero se observa una cresta en este último punto, tal y como queda reflejado en la figura 3.

Tapón en un fondo de saco con ventilación

Con Ventilación Soplante

Si la labor está ventilada con ventilación soplante, este proceso es más rápido, tanto por la turbulencia que produce el chorro de aire, como por el empuje que éste imprime al tapón.

DATOS A 300 m. DEL FRENTE

Fig. 1

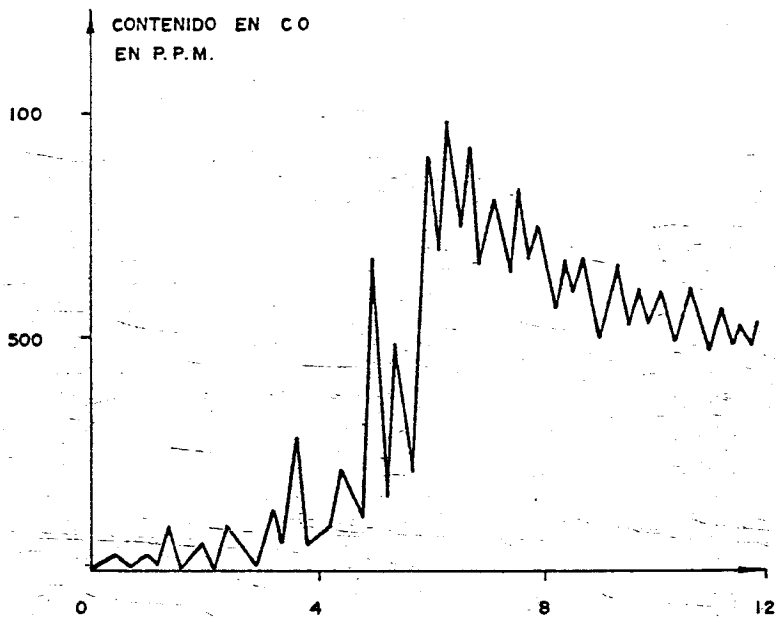
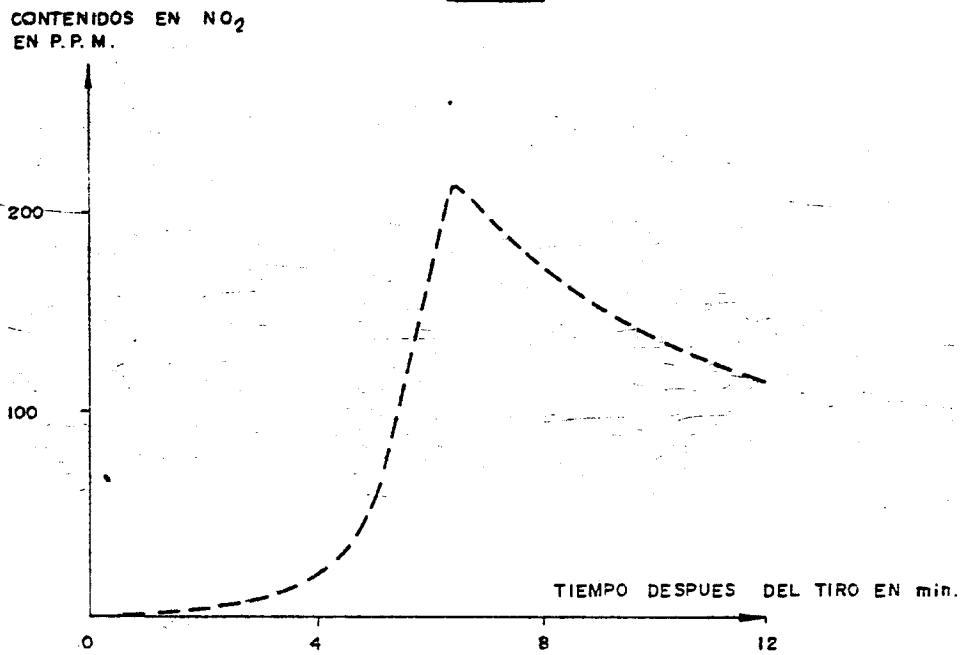


Fig. 2

CONTENIDO EN CO

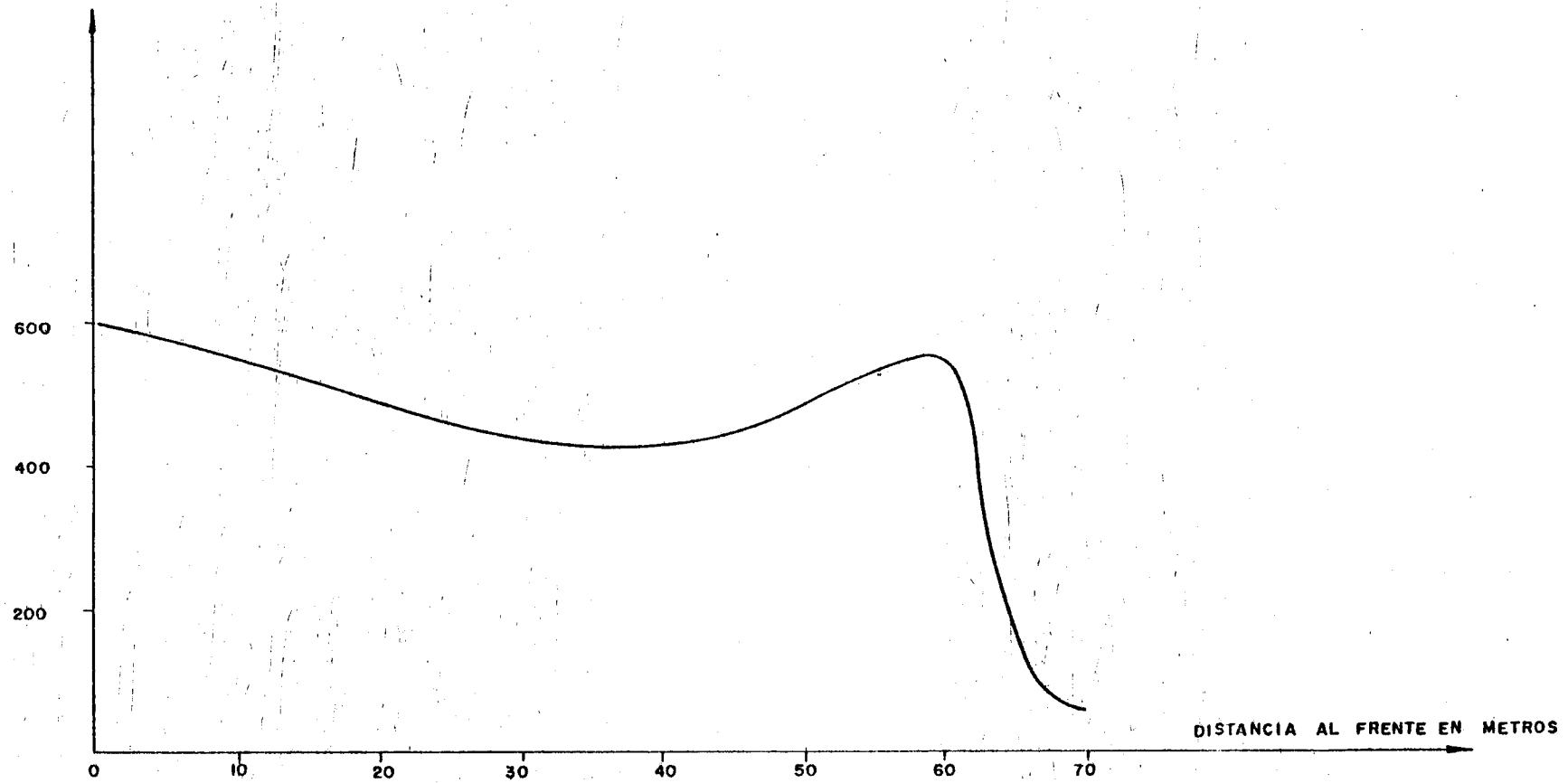


Fig. 3

La concentración máxima del tapón seguirá presentándose en el frente del mismo y dependerá fundamentalmente de la distancia de la tubería al testero. Para un mismo caudal de aire soplado Q:

- Si la distancia es pequeña, la longitud del tapón lo será también y su concentración en gases será más alta.

- Si la distancia es mayor, la longitud del tapón será también mayor y la concentración de gases menor.

Con Ventilación Aspirante.

Si la ventilación es aspirante, ayudada por otra de corta longitud soplando en el frente, el tapón inicial se extiende rápidamente hasta alcanzar la cola de la instalación soplante, deteniéndose en ese punto.

3.1.5 Evolución del tapón de humos

En las gráficas 4, 5 y 6 se puede apreciar la evolución en el tiempo seguida por el monóxido de carbono y por la mezcla nitrosa $\text{NO} + \text{NO}_2$.

La primera observación de la figura 5 es la gran estabilidad de los gases de monóxido de carbono en función del tiempo, lo que hace que puedan aún ser peligrosos, incluso después de un periodo de tiempo importante. Ciertamente no sería el primer accidente grave que se produjera al retirar los escombros y aparecer entre ellos monóxido de carbono que estaba ocluido y se había mantenido.

NO + NO₂

PERDIDA DE CONCENTRACION EN
FUNCION DEL TIEMPO

P.P.M. NO + NO₂

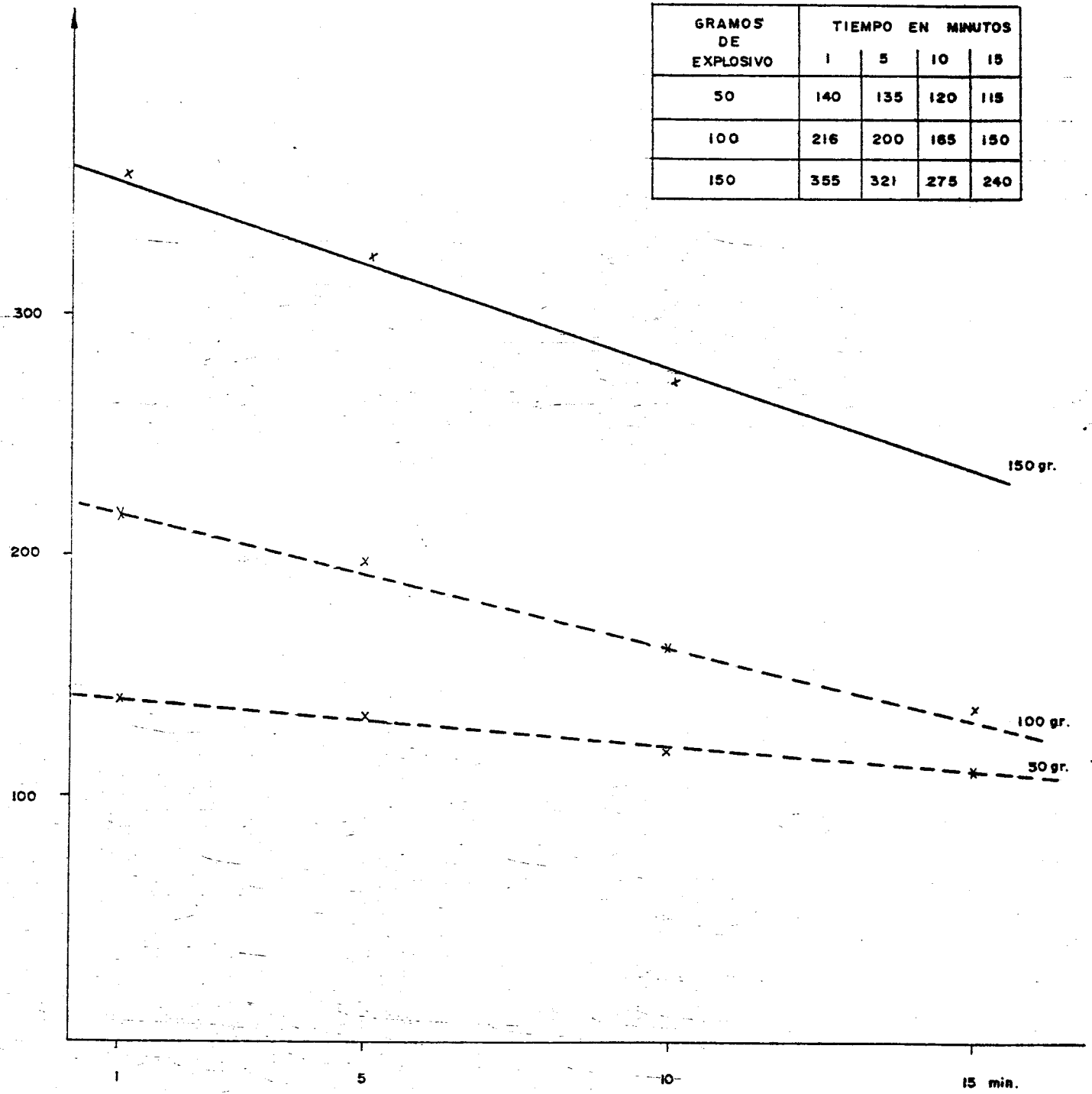


Fig. 4

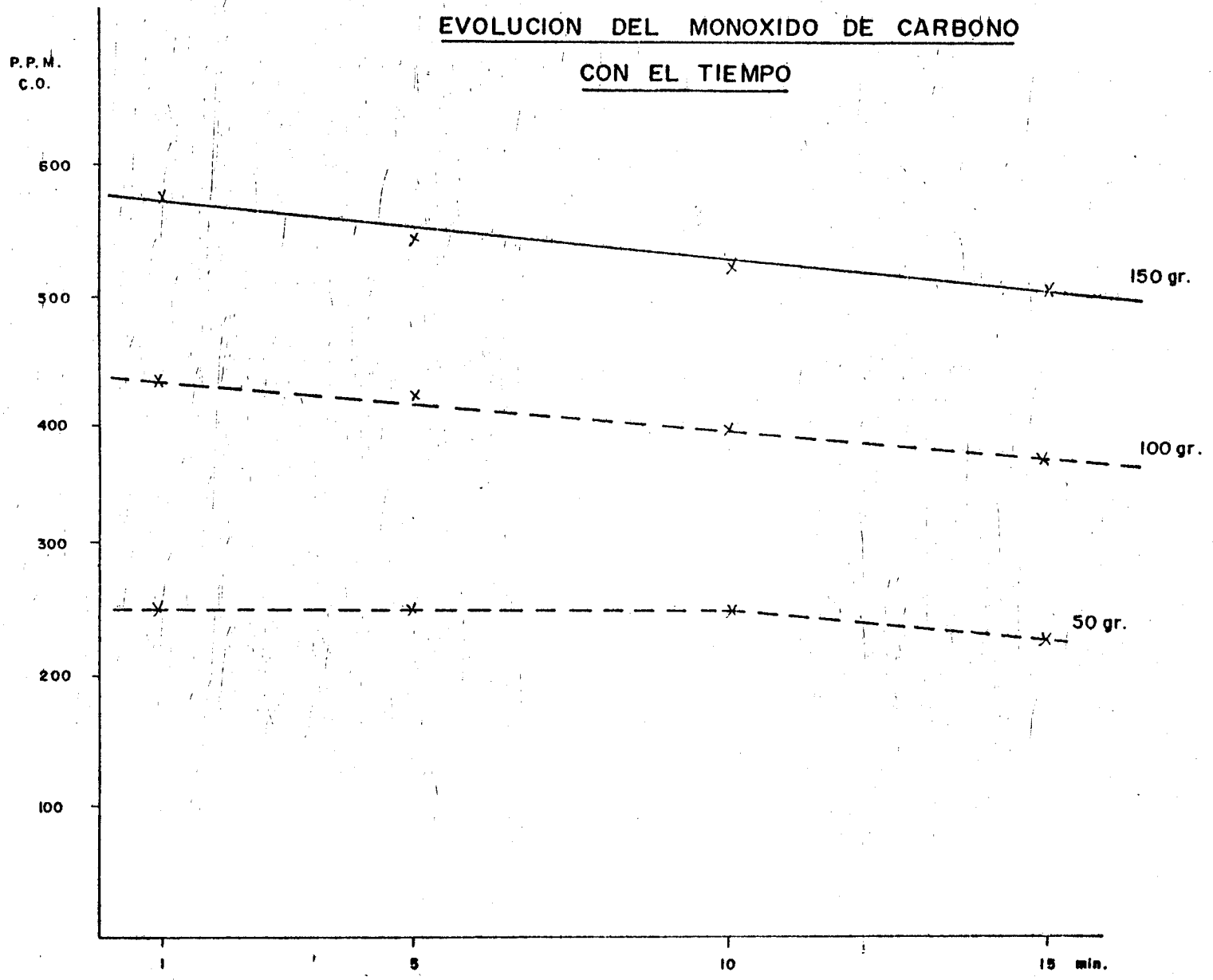


Fig. 5

VELOCIDAD DE TRANSFORMACION DE LOS
OXIDOS DE NITROGENO

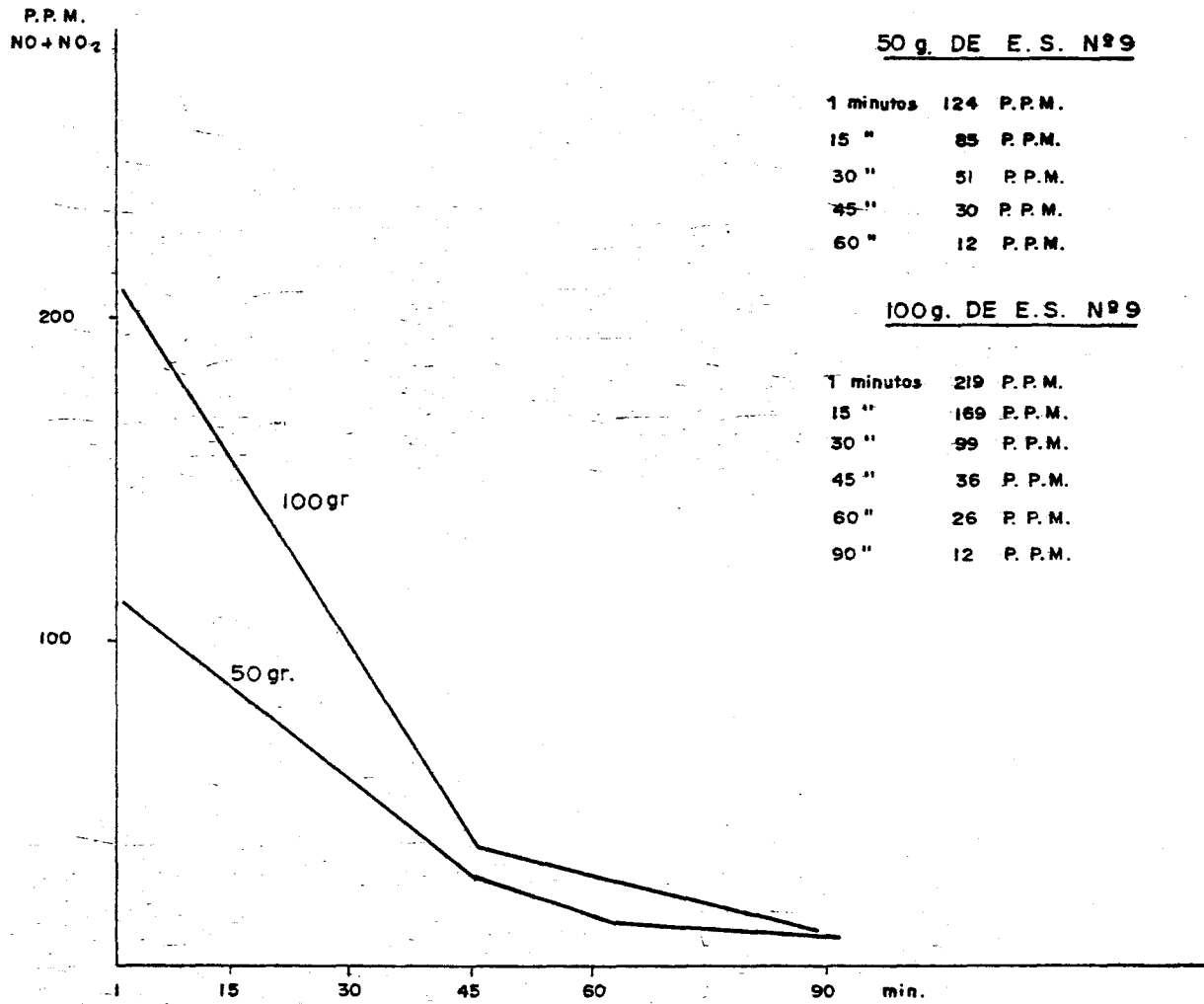


Fig. 6

por el contrario, los vapores nitrosos tan graves en su acción sobre el organismo, vemos como en un periodo de tiempo relativamente corto disminuyen su concentración hasta valores por debajo del umbral de toxicidad.

Las numerosas medidas efectuadas muestran que en todo punto, en un intervalo de tiempo determinado, los contenidos en CO se dividen por una constante.

La disminución de los contenidos sigue una progresión exponencial decreciente.

El valor de la constante (tiempo necesario para dividir por dos la concentración por ej.) cambia con las condiciones de explotación y con la evolución de la atmósfera.

Las observaciones han demostrado que las cantidades tienden a decrecer tanto más rápidamente cuanto:

- El fondo sea más corto, en efecto, a medida que se alarga la galería con la progresión de la explotación, el tiempo durante el cual la atmósfera permanece malsana se alarga.

- Mayor sea la altura de la galería; los tapones salen mal de una galería de un altura de dos metros p. ej. y por contra salen rápidamente de una galería de gran altura.

- Mayor sea la sección

- Menor sea la presión total del aire. Cuando se coloca un ventilador soplando a cierta distancia del frente, los humos permanecen más tiempo en el fondo del

saco que si el mismo ventilador se coloca en las proximidades del frente y aspirando. Ello es debido a que se disminuye la presión.

- Menor es la temperatura de la galería.

- Mayor es la temperatura del fondo de saco, cuando existe una fuente de calor (una cargadora, un jumbo o cualquier otro motor trabajando) el tapón se disipa rápidamente.

Los contenidos en vapores nitrosos evolucionan de la misma forma que los contenidos de monóxido de carbono, pero la constante de evolución exponencial decreciente es más fuerte. Esto posiblemente es debido a las reacciones químicas ya indicadas en el apartado "Vapores nitrosos".

Estas constataciones son fácilmente explicables por la existencia de corrientes de convección que tienden a homogeneizar la atmósfera y por los fenómenos de difusión gaseosa entre el tapón y la atmósfera ambiente.

Los contenidos en el tapón decrecen exponencialmente y la característica de la exponencial es más fuerte.

1) - Si la superficie de contacto es más grande (más exactamente si la galería es alta, puesto que existe entonces en ella un gradiente sensible de temperatura).

2) - Si la presión total es más débil, interesan por tanto ventilaciones aspirantes.

3) - Si hay una gran diferencia de temperatura y presión de una parte a otra de la superficie de contacto.

Aunque en la práctica sí se ha constatado la disminución en el contenido de vapores nitrosos a medida que pasa el tiempo, no se ha encontrado una constante de decrecimiento, el factor es siempre más fuerte para las cantidades altas que para las débiles.

A título de ejemplo, para lugares de trabajo donde una acción enérgica aceleraba las reacciones químicas se han encontrado las siguientes leyes.

1.- Para contenidos en vapores nitrosos comprendidos entre 150 y 30 p.p.m.

$$t = t_0 \cdot e^{-2,85 \cdot e \cdot 10^{-2}}$$

donde t y t_0 son cantidades expresadas en p.p.m. y el tiempo e viene en minutos.

Esta fórmula se utiliza cuando la concentración se reduce a la mitad en 24 minutos.

2.- Para cantidades de vapores nitrosos comprendidos entre 30 y 5 p.p.m.

$$t = t_0 \cdot e^{-1,11 \cdot e \cdot 10^{-2}}$$

Esta fórmula se utiliza cuando la concentración se divide por dos en 1 hora.

Cuando no existen acciones enérgicas que aceleren las reacciones químicas, el descenso de concentración de los vapores nitrosos es más lento.

3.2.-Indices tolerantes de dichos gases

3.2.1.- Toxicidad de los gases de la voladura

Comenzaremos por el anhídrido carbónico cuya toxicidad es muy débil y su efecto es asfixiante por anoxia.

Los efectos producidos en el cuerpo humano según Lehman y Heis se indican en un cuadro adjunto; comienzan con 0,5%, con el 5% la respiración es laboriosa, con el 10% sólo se soporta algunos minutos y con el 20% algunos segundos, y son los siguientes:

CONCENTRACIONES		EFECTOS
mg/l	p.p.m.	
10	5.500	Se soporta durante 6 horas sin síntomas.
20-30	11.000 - 16.700	Valor límite para varias horas sin síntomas.
60-70	33.500 - 39.000	Se soporta de 30 a 60 minutos sin síntomas graves. La lámpara de llama empieza a apagarse.
60-80	33.500 - 44.500	Posibles consecuencias graves después de 30 a 60 minutos de exposición. Respiración laboriosa.
90-120	30.000 - 67.000	Consecuencias mortales después de 30 a 60 minutos de exposición. La lámpara se apaga.
	10%	Sólo soportables algunos minutos. Puede producirse estado comatoso.
	20%-25%	Muerte en algunos segundos.

En el monóxido de carbono (CO) la acción tóxica del monóxido de carbono se debe a que sustituye al oxígeno en la hemoglobina, formando un compuesto, la carboxihemoglobina, mucho más estable que la oxihemoglobina, toda vez que la afinidad de la hemoglobina por el monóxido de carbono es unas 220 veces mayor que la que tiene por el oxígeno.

En estas condiciones, la sangre ya no lleva oxígeno a las células del organismo y en el protoplasma celular se producen combustiones deficientes. La toxicidad de óxido de carbono es función del porcentaje en que este gas se encuentra en el aire y del tiempo de exposición de la persona a esta atmósfera.

Henderson y Haggard, basándose en el índice de la toxicidad del medio $T = c.t.$, ya visto anteriormente, dan la tabla de peligrosidad siguiente:

Indice de toxicidad	Efectos
$T = 2160$	Efectos apenas perceptibles
$T = 3240$	Dolores de cabeza y molestias
$T = 5400$	Riesgo mortal

Las curvas $T = cte.$ son hipérbolas que determinan zonas de distinta peligrosidad cuya representación gráfica se ve en la fig. 7.

EFFECTOS DEL CO EN FUNCION DEL TIEMPO DE PERMANENCIA

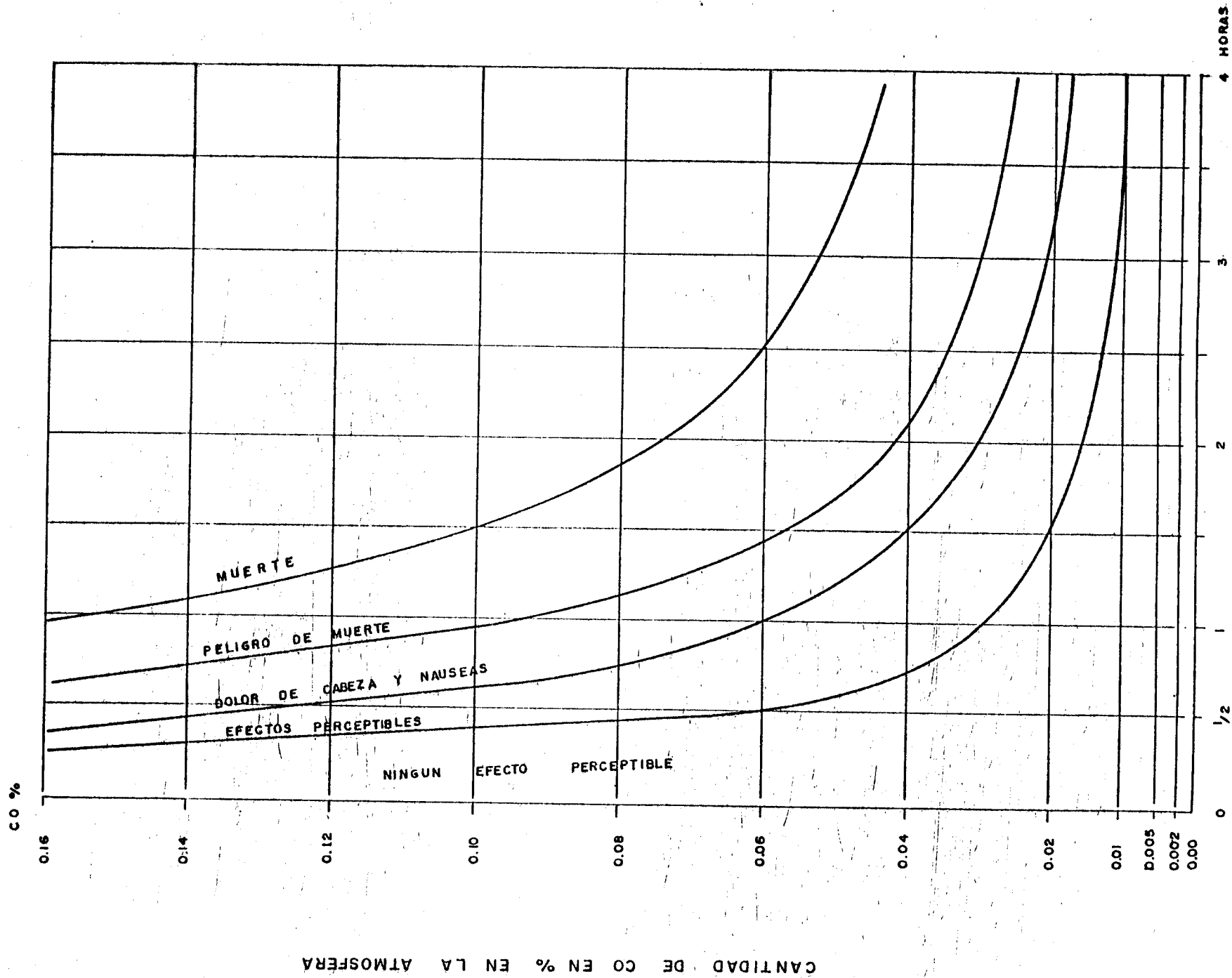


Fig. 7

Las tablas nº 1 y 2 nos ofrecen los grados de intoxicación que produce el monóxido de carbono en la persona humana en función del tiempo de exposición y/o de la concentración

Tiempo de permanencia (horas).	Contenido de CO (p.p.m.)	Efectos
8 a 10	100	Intoxicación crónica Anoxemia
3 a 4	1.000	Intoxicación grave
2 a 3	1.500	Muerte
1	2.000	Muerte
1/2	10.000	Muerte

Tabla nº 1. Según Kohn - Abrest

Concentración de CO (p.p.m.)	Efectos
100	Soportable durante algunas horas
400 a 500	Soportable durante 1 hora sin <u>con</u> secuencias
600 a 700	Después de 1 hora se empiezan a notar <u>síntomas</u>
1.000 a 1.200	Concentración que después de estar 1 hora expuesto a ella da <u>sen</u> sación desagradable pero sin <u>seña</u> les de intoxicación
1.500 a 2.000	Concentración peligrosa después de una hora de exposición
4.000	Concentración mortal a menos de 1 hora.

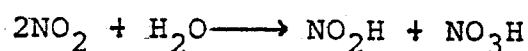
Tabla nº 2. Según Henderson y Haggard

Investigaciones realizadas por Deckert, Baltazard y Melissinos entre otros, han puesto de manifiesto que el efecto tóxico del monóxido de carbono aumenta al elevarse el contenido de anhídrido carbónico de la atmósfera.

Para el ing. Jiri Zagmen existe una interrelación de diversos factores en la intoxicación con monóxido de carbono, influenciando este fenómeno la luz solar (principalmente los rayos ultravioleta), la humedad de la atmósfera, la presión barométrica etc., señalando además

que para la intoxicación con monóxido de carbono tiene una gran importancia la sensibilidad individual de cada persona. Para aquél la sensibilidad respecto al monóxido de carbono puede expresarse de forma simplificada mediante el diagrama de fig. 8. En este además de las condiciones de la atmósfera circundante, se expresan las condiciones en las que se produce la inhalación de los gases.

En cuanto a los vapores nitrosos, el más peligroso es el debido al peróxido de nitrógeno NO_2 ; su efecto tóxico consiste en una acción corrosiva sobre las vías respiratorias debido a que reacciona con el líquido de la superficie de los alvéolos pulmonares formándose según la reacción:



ácido nítrico que ataca los tejidos. Se produce una cauterización de dichos alveolos pulmonares, los cuales se llenan de sangre, produciéndose el fallecimiento por edema pulmonar. En un principio se notan solamente pequeñas molestias (tos, ardor de garganta); al cabo de varias horas surgen molestias respiratorias y a continuación de una pequeña mejoría suele ocurrir el fallecimiento por edema pulmonar (entre 6 y 48 horas después de haber respirado los gases).

Como tratamiento médico para los casos de intoxicación se recomienda completo descanso del cuerpo, ninguna respiración artificial y tratamiento con oxígeno y cardiotónicos.

Los efectos sobre el organismo humano, según Henderson y Haggard están dados en la siguiente tabla:

EFFECTOS DEL CO. SOBRE EL ORGANISMO

HUMANO

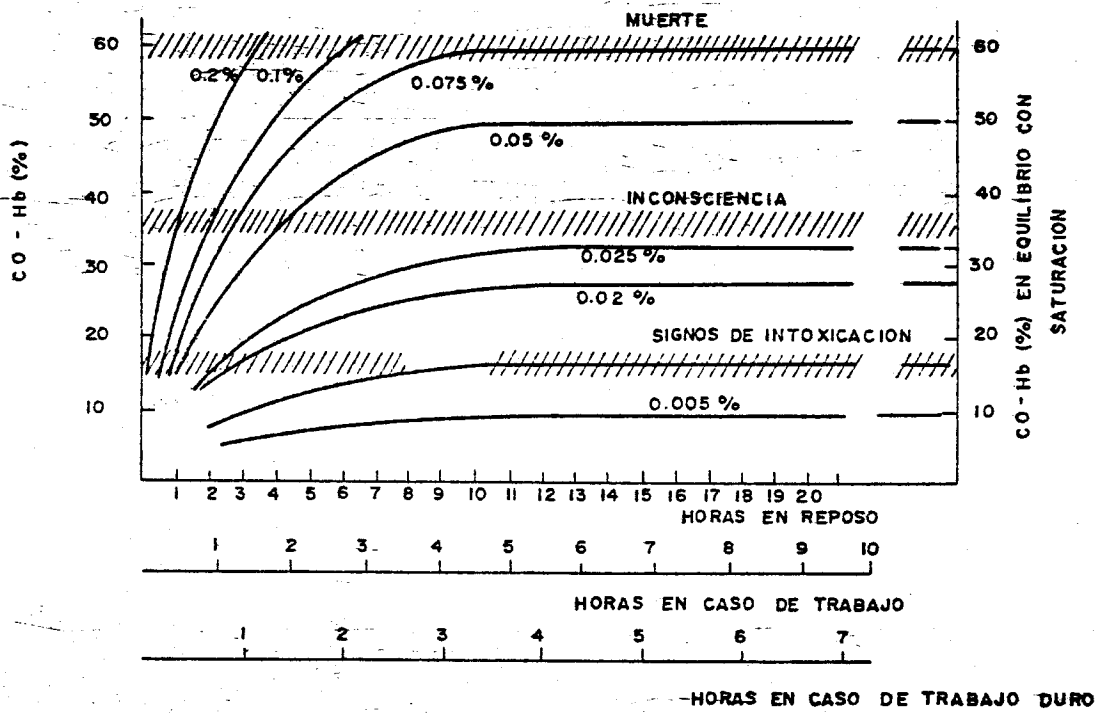


Fig. 8

Concentraciones p.p.m.	Efectos
20	Inofensivo
40	Soportable durante un tiempo pro- longado
62	Molestias en la garganta
80	Se puede soportar sin daños duran- te 3 horas
101	Tos, expectoración
117 - 154	Dosis peligrosa, incluso para un tiempo de exposición muy corto
240 - 275	Dosis mortal después de un tiem- po de exposición muy corto

Tabla nº 3

Por su lado Guerin da los siguientes índices de toxicidad:

Concentraciones (p.p.m.)	Efectos
25	Límite de toxicidad
50	Soportable de media a una hora
100	Peligroso de media a una hora
500	Mortal de 5 a 10 minutos

Tabla nº 4

Kennedy del departamento de fisiología respiratoria del City General Hospital en Stoke-on-Trent (G.B.) después de haber hecho el seguimiento de un colectivo de mineros con problemas respiratorios debidos a la introducción de un nuevo tipo de explosivo denominado "hydrox shells" realizó una serie de pruebas con animales cuyos resultados podrían resumirse de la siguiente forma:

Concentraciones por encima de 100 p.p.m. Cortas exposiciones a concentraciones de 500 p.p.m. o más durante menos de una hora y exposiciones a concentraciones de 100 p.p.m. o más por periodos de algunas horas producen la muerte por asfixia o edema pulmonar.

Concentraciones por debajo de 100 p.p.m. y cortas exposiciones. Por encima de 50 p.p.m. pueden ocasionalmente producir la muerte, por debajo de 50 p.p.m. no producen una muerte a corto plazo.

Concentraciones por debajo de 50 p.p.m. y largas exposiciones. Algunos de los resultados se muestran en la siguiente tabla. De estas observaciones se puede concluir que largas exposiciones a vapores nitrosos en concentraciones entre 10 y 50 p.p.m. producen enfisemas en conejos y ratones.

TOXICOLOGIA DE VAPORES NITROSOS EN ANIMALES

p.p.m.	Tiempo	Efectos
>1000	min.	A. Concentraciones de 100 a 1000 p.p.m.
600-800	30 min.	Muerte por asfixia y edema pulmonar
200-400	45-60 min.	
150	1 1/2 h.	
100	5 1/2 h.	
		B. Cortas exposiciones < 24 h; concentraciones < 100 p.p.m.
65-75	4 h.	Muerte en perros
65	8 h.	7/15 ratas muertas, 13/15 cerdos; 3/3 monos 1/3 conejos; 2/2 perros edema pulmonar
65	15 min.	Concentraciones límite de efectos tóxicos en ratas
55	2-3 h.	Muerte ocasional en gatos y ratones, no efecto en conejos, gatos y cerdos.
50	1-24 h.	3/10 ratas; 5/10 gatos en 24 h.; en conejos perros y cerdos no produce la muerte
30	3 h.	No produce efectos inmediatos en cerdos
28	60 min.	Límite de efectos tóxicos en ratas
25	2 h.	24 h. más tarde edema pulmonar, 4 días regeneración epitelial, 2 semanas recuperación completa en conejos
25	2 h.	No se producen muertes, pero los pulmones muestran congestión y dilatación de venas y capilares en gatos.
15-20	2 h.	Edema pulmonar inflamaciones reversibles en cerdos
		NOTA: Cortas exposiciones en > 50 p.p.m. producen muertes ocasionales, cortas exposiciones < 50 p.p.m. no producen la muerte
		C. Largas exposiciones, concentraciones < 50 p.p.m.
50	continuo	9 ratas - 1 muerta después de 20 días 6 muertas 48-68 días 2 sobrevivieron 76 días
25	13 semanas	Grandes enfisemas
12	26 semanas	Grandes enfisemas en ratas
8-12	3-4 meses	Grandes enfisemas en conejos

3.2.2.- Indices T.L.V.

Los valores T.L.V. se considera que expresan unas concentraciones de diversas sustancias en el aire, por debajo de las cuales el trabajador puede actuar día tras día sin sufrir efectos adversos. Son elaborados cada año por la AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS..

Existen 3 tipos de T.L.V. que se definen de la siguiente manera:

a) T.L.V. - Media ponderada en el tiempo (T.L.V. T.W.A.)

Concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de 8 horas a 40 horas semanales, a la cual la mayoría de trabajadores puede estar expuesta - día tras día sin sufrir efectos negativos.

b) T.L.V. - Límites de exposición para cortos períodos de tiempo (T.L.V. - S.T.E.L.).

El S.T.E.L. se considera como la máxima concentración permitida o techo, que no debe ser rebasada en ningún momento durante el citado período de 15 minutos.

c) T.L.V. - Valor techo (T.L.V. - C)

Concentración que no debería ser sobrepasada en ningún instante.

Se considera que existe un riesgo potencial derivado de la exposición a una determinada sustancia, cuando se sobrepasa uno cualquiera de los 3 tipos de T.L.V. Esto no es absolutamente cierto en el valor T.W.A. que, por tratarse de una media ponderal en el tiempo, permite desviaciones de los valores prefijados si éstos van acompañados de desviaciones en sentido opuesto durante la misma jornada de trabajo. A veces, en vez de un día, se utilizan las concentraciones promedio de una semana.

A pesar de que las concentraciones medias ponderadas en el tiempo (T.W.A.), suponen el modo más práctico y satisfactorio de controlar si las concentraciones de los agentes contaminantes ambientales se mantienen dentro de los límites admisibles, hay algunas sustancias para las que resultan inapropiadas. Ello ocurre con aquéllas que tienen efectos predominantemente agudos, cuyos límites es más adecuado fijarlos de acuerdo con este tipo de respuesta aguda. Este tipo de sustancia se controla mejor mediante un valor techo ("Ceiling Value") que supone una concentración límite que nunca debe rebasarse. Estos últimos se representan como T.L.V. - "C".

Para efectuar el análisis, la toma de muestras será distinta según sea un valor u otro. Para valores T.L.V. "C", se toma una sola muestra de corta duración. En cambio, para el T.L.V. - T.W.A., se realizan tomas en nº suficiente que permitan establecer la concentración media ponderada en el tiempo a lo largo de un ciclo o turno completo de trabajo.

Los valores techo se utilizarán para aquellas sustancias que provocan efectos agudos en exposiciones de corta duración a concentraciones que pueden encontrarse en la práctica. (fig. 9).

Vienen señalados en las tablas de T.L.V. con la anotación "C" junto a las sustancias a que se refieran, indicando que, para ellas, se han establecido valores techo cuya concentración nunca ha de sobrepasarse.

En cambio, para aquellas sustancias cuyos efectos principales son acumulativos, provocados por exposiciones repetidas a concentraciones que pueden encontrarse en la práctica, se establecen los valores T.L.V. como valor promedio para 8 horas/día y 40 horas/semana.

Se permiten fluctuaciones de la concentración por encima del valor T.L.V., estableciéndose cotas superiores a estas fluctuaciones. Con objeto de justificar el criterio que se representa posteriormente, tomaremos como base la ley Haber y estudiaremos las limitaciones de esta ley.

La ley Haber establece para un contaminante su constante $K = c.t.$, tal que se consideran situaciones isotóxicas aquellas en las que el producto concentración por tiempo se mantenga constante.

Como el valor T.L.V. expresa la concentración permisible de una sustancia para un tiempo de 8 horas/día y 40 horas/semana, se considerarán situaciones admisibles aquellas en las que el producto $c.t.$ sea menor o igual al producto del T.L.V. x 8, es decir:

$$c.t. \leq T.L.V. \times 8$$

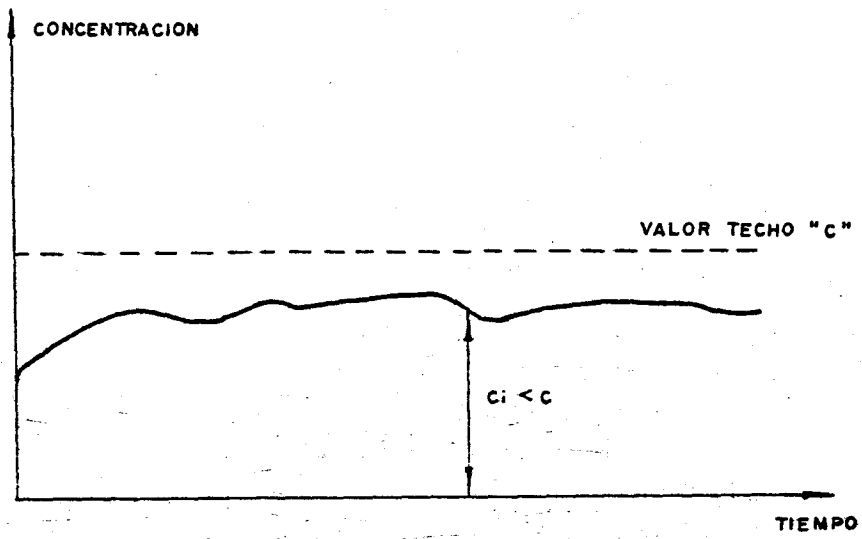


Fig. 9

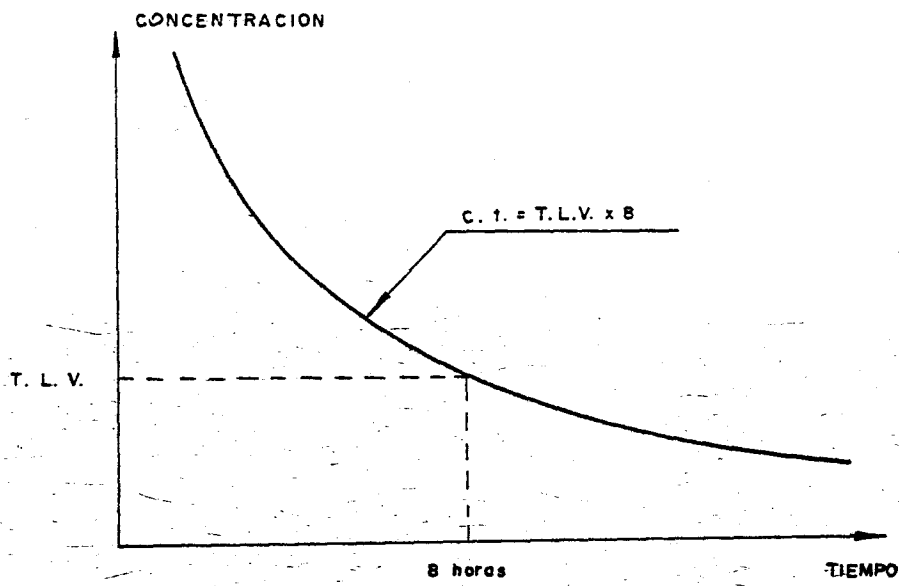


Fig. 10

Gráficamente representado, serían admisibles las situaciones inferiores a las definidas por la hipérbola que responde a la ecuación $c.t. = T.L.V. \times 8$ (fig. 10).

Según este criterio de Haber, para pequeños tiempos de exposición se admitirían concentraciones muy elevadas, que podrían ser perjudiciales.

Se hace necesario, por tanto, fijar unos límites a esta ley. Para ello se fija una cota máxima a la concentración media para cortos espacios de tiempo (del orden de 15 minutos). Aparece el T.L.V. - S.T.E.L. que viene definido por el producto del T.L.V, por un coeficiente K_e . Los valores del K_e para las sustancias, dependen únicamente del valor del T.L.V. y son los siguientes:

<u>T.L.V.</u>	<u>K_e</u>
0 - 1 (ppm o mg/m^3)	3
1 - 10 "	2
10 - 100 "	1,5
100 - 1000 "	1,25

Gráficamente representamos la limitación en la forma representada en la fig. 11.

Cabe preguntarse. ¿Cuál podría ser la máxima concentración media admisible para tiempos intermedios entre 15 minutos y 8 horas? Se acepta los que se obtienen mediante interpolación (fig. 12).

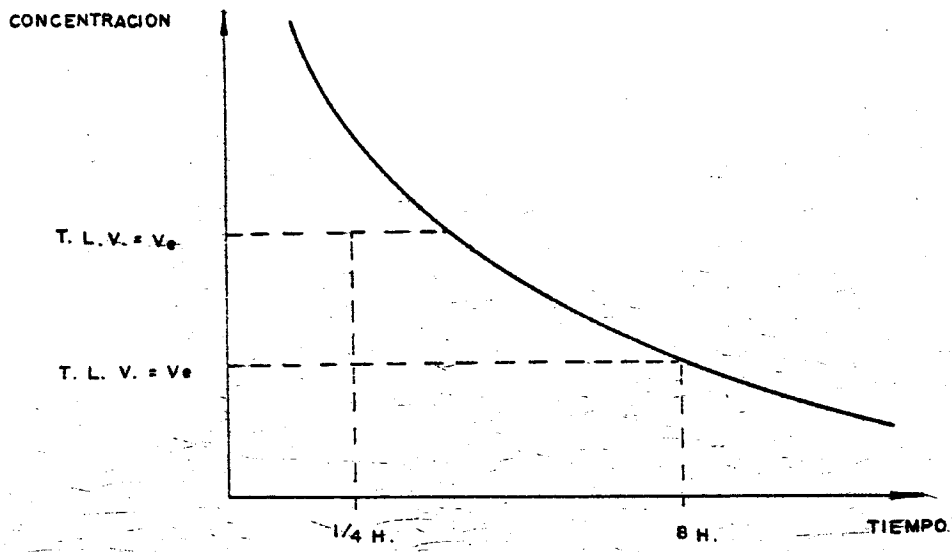


Fig. 11

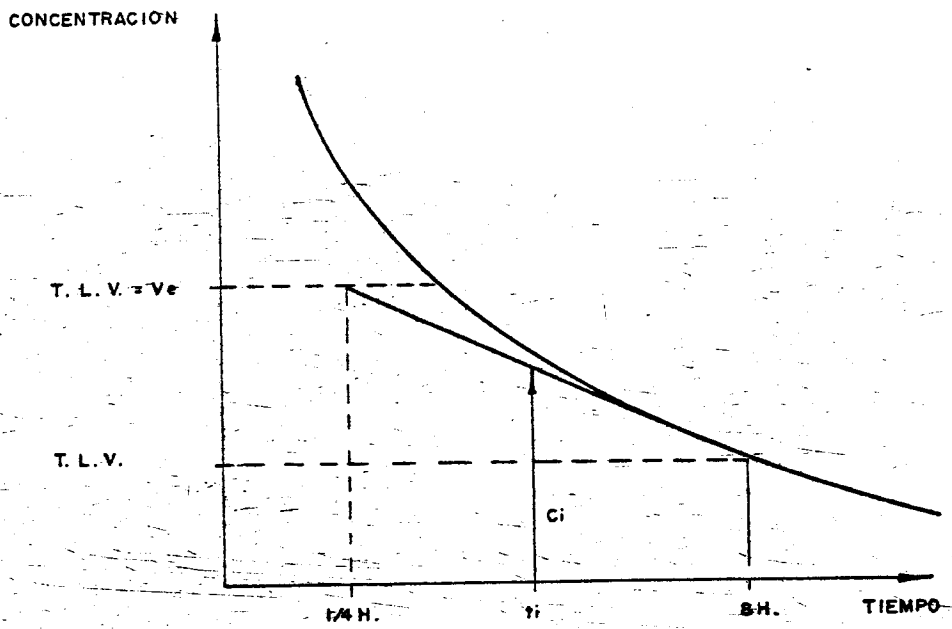


Fig. 12

El valor C_{t_i} que se obtiene de esta interpolación define una concentración media que no se debe superar en tiempo igual o superior a 1 hora.

Resumiendo, para que una concentración sea admisible debe cumplir estas 2 condiciones:

1. La dosis por cada día no debe superar a la máxima admisible. O lo que es lo mismo, teniendo en cuenta que la dosis máxima admisible por días es igual:

D.M.A. = T.L.V. x 8 y la dosis recibida
 $D.R. = C_1 t_1 + C_2 t_2 + \dots + C_n t_n = \sum_{i=1}^n C_i t_i$. El cociente
 $\frac{D.R.}{D.M.A.}$ deberá ser inferior o igual a 1.

$$\frac{D.R.}{D.M.A.} = \frac{\sum C_i t_i}{T.L.V. \times 8} \leq 1$$

2. La concentración C_i en una fase de trabajo (tiempo menor de 8 horas) no deberá superar el valor de la concentración calculada siguiendo el criterio anterior de interpolación.

$$\text{DOSIS} \begin{cases} D.R. \leq D.M.A. \\ \sum C_i t_i \leq T.L.V. \times 8 \end{cases}$$

$$\text{CONCENTRACION} \begin{cases} C_i \leq C + i \end{cases}$$

En el caso de que se hallen presentes dos o más sustancias, deben tenerse en cuenta sus efectos combinados más que sus efectos propios individuales o aislados. Los efectos de los diferentes riesgos deben considerarse como aditivos siempre que no exista información en sentido contrario.

Así, si la suma de las siguientes fracciones:

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

es mayor que 1, se está rebasando el T.L.V. de la mezcla.

En las fracciones, los C indican las concentraciones atmosféricas halladas para cada sustancia componente de la mezcla y los términos T los correspondientes T.L.V. de cada una de las sustancias.

Pueden hacerse excepciones a la regla anterior cuando existan razones de peso para creer que los efectos principales de las diferentes sustancias peligrosas de la mezcla no son aditivos, sino exclusivamente independientes. También se exceptúa cuando varios componentes de la mezcla producen efectos puramente locales en los diferentes órganos del cuerpo humano. En tales casos, debe considerarse que la mezcla excede el T.L.V. cuando, por lo menos, una de las sustancias componentes rebosa su T.L.V. específico, o sea, cuando cualquier fracción de la serie $C_1/T_1/C_2/T_2\dots$, alcanza valores superiores a la unidad.

Los valores T.L.V. para los gases de voladuras son los siguientes:

	<u>T.W.A</u>		<u>S.T.E.L.</u>	
	<u>p.p.m.</u>	<u>mg/m³</u>	<u>p.p.m.</u>	<u>mg/m³</u>
Dióxido de carbono.....	5000	9000	15000	18000
Monóxido de carbono.....	50	55	400	440
Dióxido de nitrógeno.....	5	9
	(3)	(6)	(5)	(10)
Oxido nítrico.....	25	30	35	45

Los valores entre paréntesis corresponden a valores propuestos recientemente.

- p.p.m. expresa volumétricamente (a 25°C y a una presión

3.3.- Medidas para disminuir la concentración de los gases

Vamos a ver en este apartado como influyen diversos factores, unos internos y otros externos al explosivo, en la producción de gases nocivos en los frentes de trabajo. Viendo esta influencia, en unos casos positiva y en otros negativa, estaremos en condiciones de obtener unas conclusiones en lo que se refiere a la forma de disminuir las concentraciones en gases nocivos, en una determinada labor.

3.3.1. Influencia del balance de oxígeno

El balance de oxígeno es el 1^{er} factor que vamos a tener en cuenta a la hora de analizar en el laboratorio los gases de las explosiones.

Si el balance de oxígeno es negativo, se favorece la formación de monóxido de carbono, cosa lógica si tenemos en cuenta que la combustión del carbono, en ausencia de oxígeno, origina el citado gas. Sin embargo, a medida que el balance de oxígeno va aumentando, el contenido en CO disminuye, pues la combustión del carbono da entonces CO₂, y las proporciones de óxidos de nitrógeno aumentan.

En los ensayos prácticos de laboratorio, se ensayaron 2 tipos de explosivos. El primero era un explosivo pulverulento con un contenido de nitroglicerina del 10,3%, estando constituido el resto por un combustible y un comburente (NO₃NH₄); el segundo de los explosivos probados era de tipo gelatinoso, con un 37,2% de nitroglicerina, estando formado el resto del explosivo, al igual que en el caso anterior por un combus---

*Copia de
Comunicación N.º 8
VI - Compañía Industrial*

tible y un comburente (NO_3NH_4). En pruebas sucesivas, sin modificar para nada el contenido en nitrogelatina, se fueron cambiando los balances de oxígeno a base de variar -- exclusivamente las proporciones de combustible y comburente.

Se obtuvieron de este modo dos series: una de explosivos pulverulentos y otra de explosivos gelatinosos, - con los siguientes balances de oxígeno: -10%, -7,5%, -5%, -2,5% -0%, + 2,5%, + 5%, + 7,5%, + 10%.

En cada ensayo se disparó un cartucho de 26 mms. de diámetro, de 100 grs. de peso y con envuelta de papel parafinado, estando cebado mediante un detonador eléctrico instantáneo de potencia óctuple. El cartucho se colocó suspendido mediante unos alambres, paralelamente al suelo de la cámara y a unos 40 centímetros de él, aproximadamente.

En las tablas número 5 y 6, se pueden observar los resultados obtenidos, estando expresadas en p.p.m. las concentraciones de monóxido de carbono y de óxidos de nitrógeno; la tabla nº 5 corresponde a la serie de explosivos pulverulentos y la nº 6 a la de gelatinosos.

Cada uno de los valores que aparecen en las tablas representa el valor medio de numerosos ensayos.

Complemento de estas 2 tablas son las curvas I de las figs. 13, 14, 15 y 16, en las que se expresan las concentraciones de óxidos de carbono y de nitrógeno en función del balance de oxígeno.

De todo esto, deducimos las siguientes conclusiones:

1o) El contenido de óxido de carbono de los gases de explosión, varía linealmente con el balance de oxígeno y va disminuyendo a medida que éste último se va haciendo positivo, cosa lógica puesto que el oxígeno disponible para oxidar el carbono va aumentando.

2o) En los gases de explosión se produce siempre CO, incluso para explosivos con un balance de oxígeno extraordinariamente elevado (+ 10%).

3o) Los óxidos de nitrógeno producidos en la explosión varían linealmente con el balance de oxígeno y van aumentando al irse haciendo éste más positivo. En las curvas I de las figs. 14 y 15, se observa un fenómeno muy interesante. Efectivamente, cada una de estas curvas puede ser dividida en dos partes. La 1ª parte es la comprendida entre los puntos de abscisas -10% y -5% y en ella vemos que la variación del contenido de óxidos de nitrógeno de los gases en función del balance de oxígeno es muy débil, habiendo obtenido rectas de pendiente muy suave. A partir del punto de abscisa -5%, los óxidos de nitrógeno crecen muy rápidamente con el balance de oxígeno y las rectas tienen unas pendientes muy fuertes.

4o) Los óxidos de nitrógeno se producen siempre, aún en el caso de que los explosivos tengan un balance de oxígeno extraordinariamente negativo (-10%).

5o) La cantidad de óxido de carbono que aparece en los gases de explosión es inferior a la que se debería obtener teóricamente. Efectivamente, como cada gramo de oxígeno de-

ficitario da lugar a la formación de 1,75 grs. de monóxido de carbono, las cantidades de CO que se deberían obtener - teóricamente, para 100 grs. de explosivo, serían: (tabla nº 7).

Pasando estas cantidades de CO a partes por millón, teniendo en cuenta el volumen de la cámara, donde se han - realizado las pruebas ($4,5 \text{ m}^3$), se obtiene la tabla nº 8.

La fig. nº 17 nos da la variación del contenido de monóxido de carbono en función del balance de oxígeno, para el caso de que no se considere la envuelta de papel parafinado.

Comparando la tabla nº 8 con las nº 5 y 6, y la recta de la fig. nº 17 con las curvas I de las figs. nº 13 y 15 se deduce lo que ya se ha dicho al principio del apartado; es decir, que la cantidad de CO que se forma en la práctica es inferior a la que se debería formar teóricamente. Se cree que la explicación de este fenómeno está en que, cuando el explosivo es disparado suspendido en el aire, el oxígeno del medio ambiente que lo rodea interviene en las reacciones secundarias, dando esto lugar a la formación de productos más oxidados, mientras que al hacer el estudio teórico del explosivo, únicamente se tienen en cuenta sus propias disponibilidades de oxígeno. Esta afirmación queda reforzada aún más si se admitiese que todo el papel y parafina de la envoltura intervienen en las reacciones como un combustible.

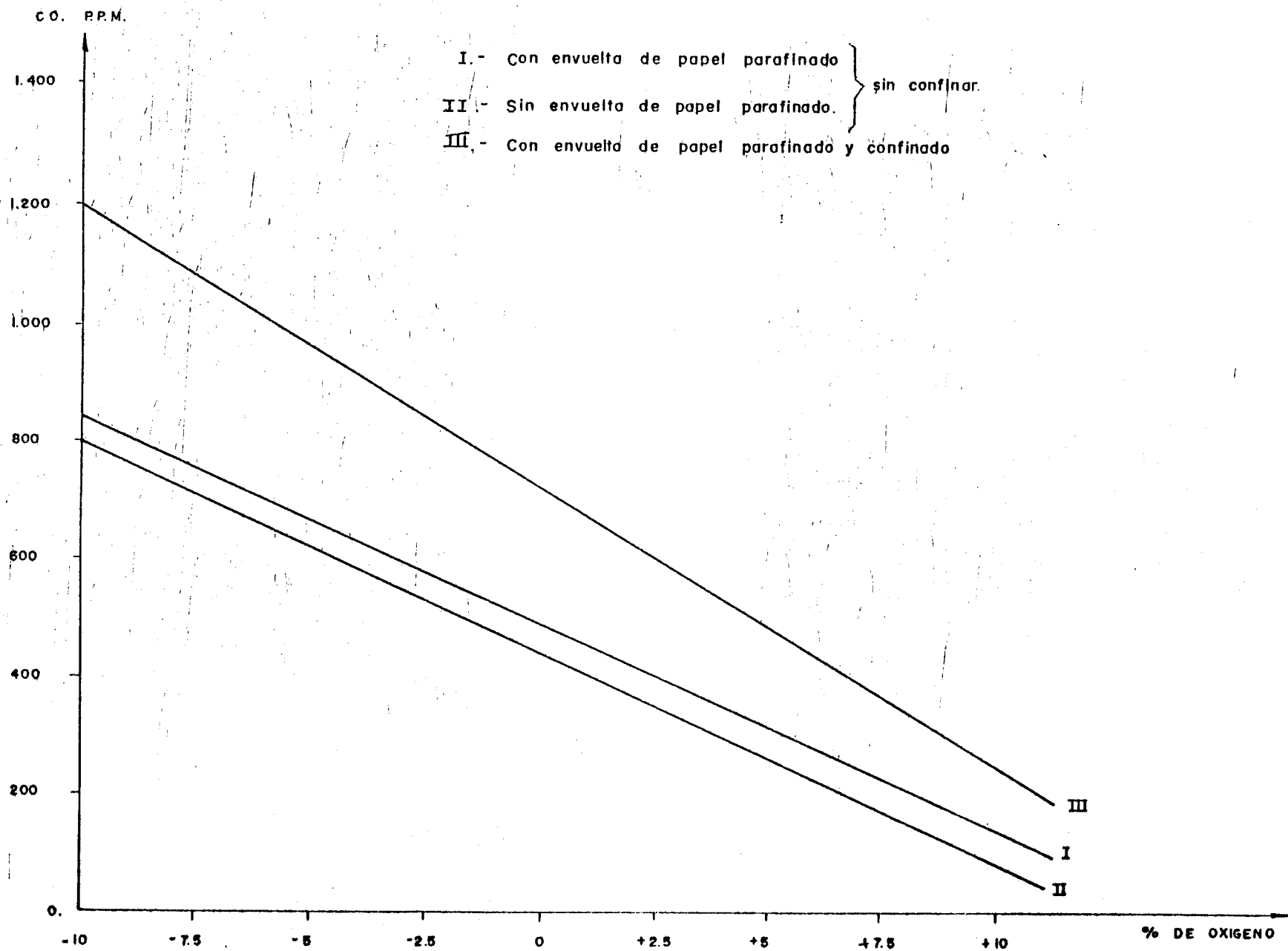


Fig. 13

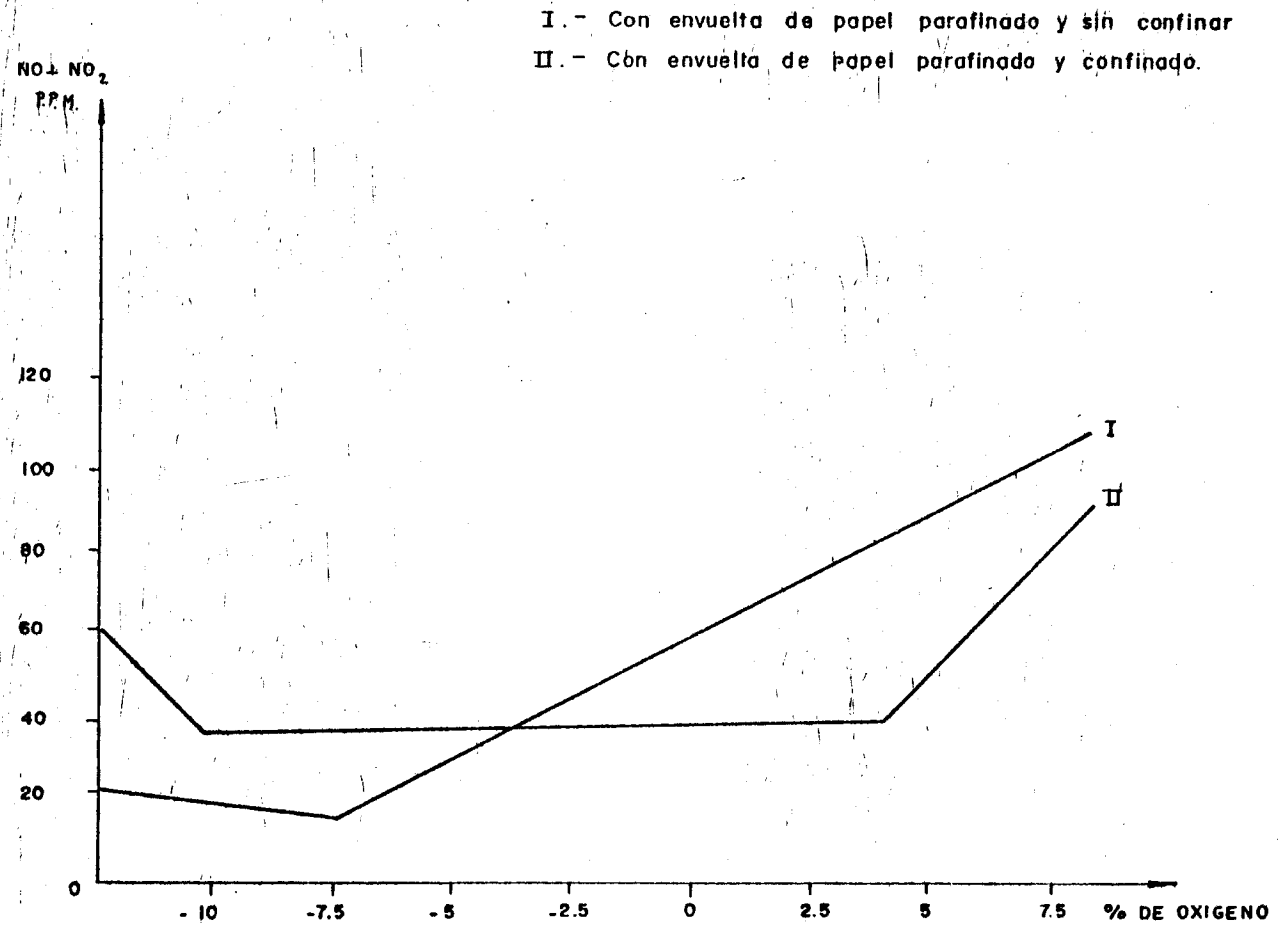


Fig. 14

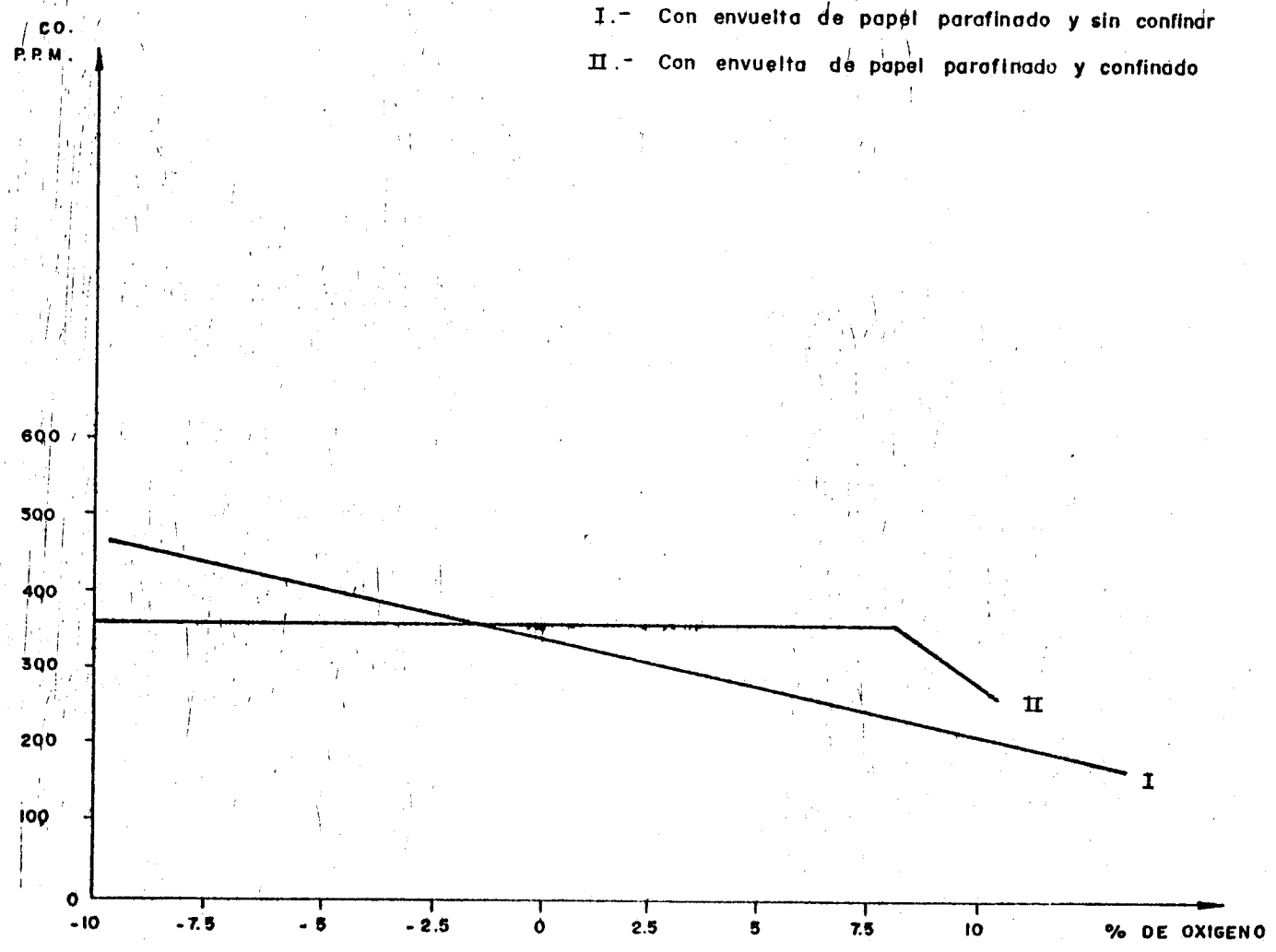


Fig. 15

- I.- Con envuelta de papel parafinado y sin confinar
- II.- Con envuelta de papel parafinado y confinado

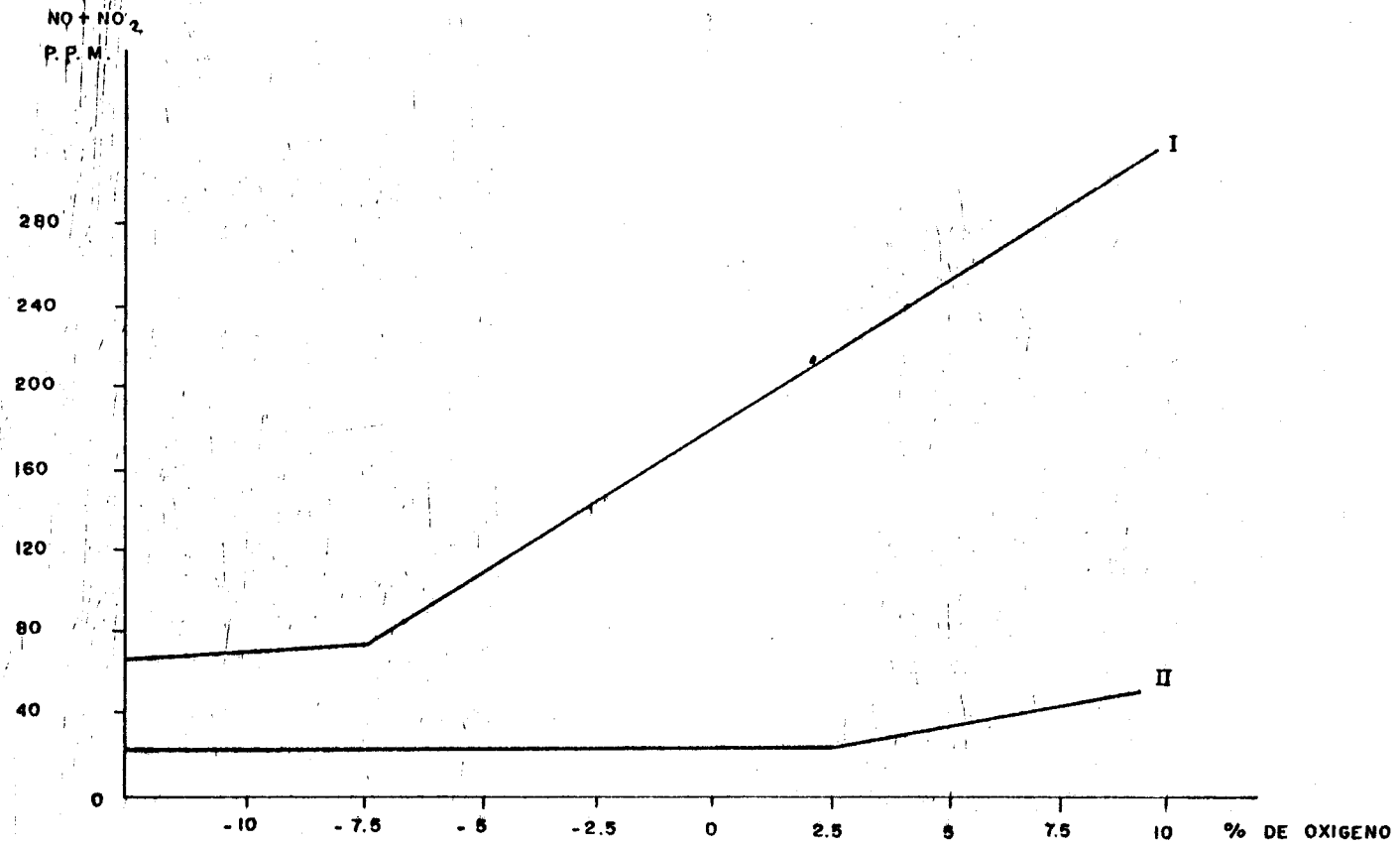


Fig. 16

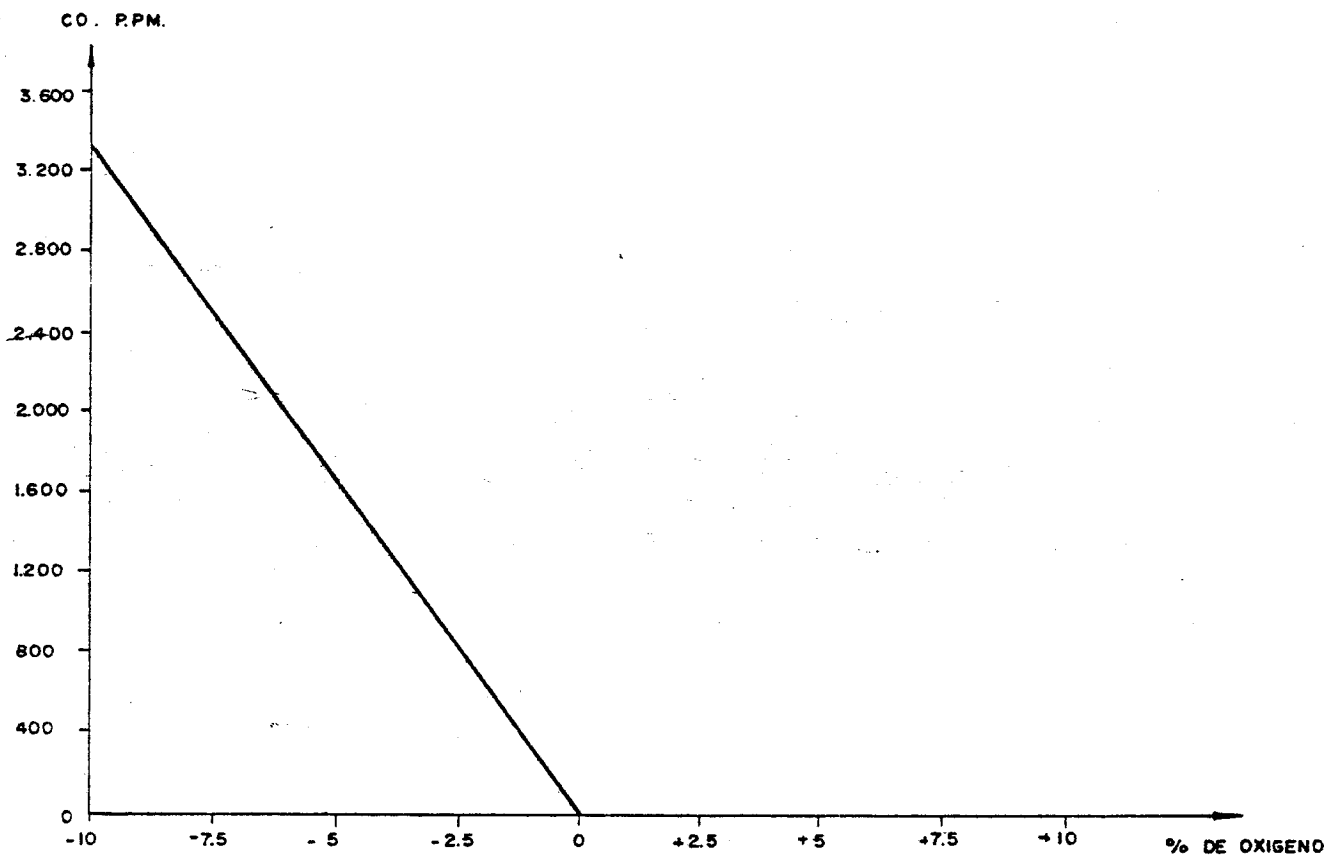


Fig. 17

SUSPENDIDO

BALANCE DE OXIGENO	EXPLOSIVOS	PULVERULENTOS
	OXIDO DE CARBONO p.p.m.	OXIDO NITR. p.p.m.
-10%	890	23,6
-7,5%	793	19,5
-5%	693	14,5
-2,5%	660	30
0%	550	44
2,5%	433	61
5%	326	69,6
7,5%	263	92
10%	193	105

Tabla nº 5

SUSPENDIDO

	EXPLOSIVOS	GELATINOSOS
BALANCE DE OXIGENO	OXIDO CARBONO p.p.m.	OXIDO DE NITROGENO p.p.m.
-10%	500	66
-7,5%	400	71
-5%	360	73
-2,5%	375	117
0%	377	142
2,5%	322	188
5	282	214
7,5%	256	263
10%	214	284

Tabla nº 6

BALANCE DE OXIGENO	GRAMOS DE CO	
	Sin envuelta p. parafinado	Con envuelta p. parafinado
- 10%	17,50	33,70
- 7,5%	13,10	29,61
- 5%	8,75	25,23
- 2,5%	4,37	21,41
0 %	0	17,32
2,5%	--	12,99
5%	--	8,90
7,5%	--	4,76
10%	--	0,93

Tabla nº 7

BALANCE DE OXIGENO	p.p.m. de CO	
	Sin envuelta de papel parafinado	Con envuelta de papel parafinado
- 10 %	3333	6000
- 7,5 %	2499	5262
- 5 %	1666	4493
- 2,5%	833	3804
0 %	0	3077
2,5 %	-	2308
5 %	-	1582
7,5 %	-	844
10 %	-	164

Tabla nº 8

3.3.2. Influencia del papel y de la parafina de la envoltura del explosivo.

Otro de los factores susceptibles de influir en los gases de explosión es la envuelta de papel parafinado que rodea al cartucho de explosivo puesto que las dos sustancias, papel y parafina, son fuertemente deficitarias de oxígeno y pueden reaccionar con los productos de la explosión favoreciendo con ello la formación de óxido de carbono. La influencia ejercida por la envuelta en la formación de CO ha sido estudiada por varios autores como Boutry y Fossé, Berthmann, etc.. concediendo algunos de ellos gran importancia a su acción.

El estudio se hizo utilizando cartuchos de la serie de los explosivos pulverulentos, a los que previamente se les había quitado la envuelta de papel parafinado. Los disparos se hicieron exactamente igual y en las mismas condiciones que cuando los cartuchos fueron disparados con la envuelta de papel; la única diferencia fue que la pasta explosiva se envolvió en papel de estaño con el fin de que se pudiera suspender en la cámara. No fueron ensayados todos los explosivos de la serie por considerar que no era necesario.

En la tabla nº 9, están expresados, los resultados obtenidos en los ensayos y la curva II de la fig. nº 18 nos da la variación de la concentración del óxido de carbono en los gases en función del balance de oxígeno.

Comparando los valores de las tablas nº 9 y 5, así como las curvas I y II de la fig. nº 18, se aprecia que la envuelta de papel parafinado da lugar a un ligero aumen-

I. Disparo confinado con envuelta de papel parafinado

II.-Disparo confinado con envuelta de papel de estaño

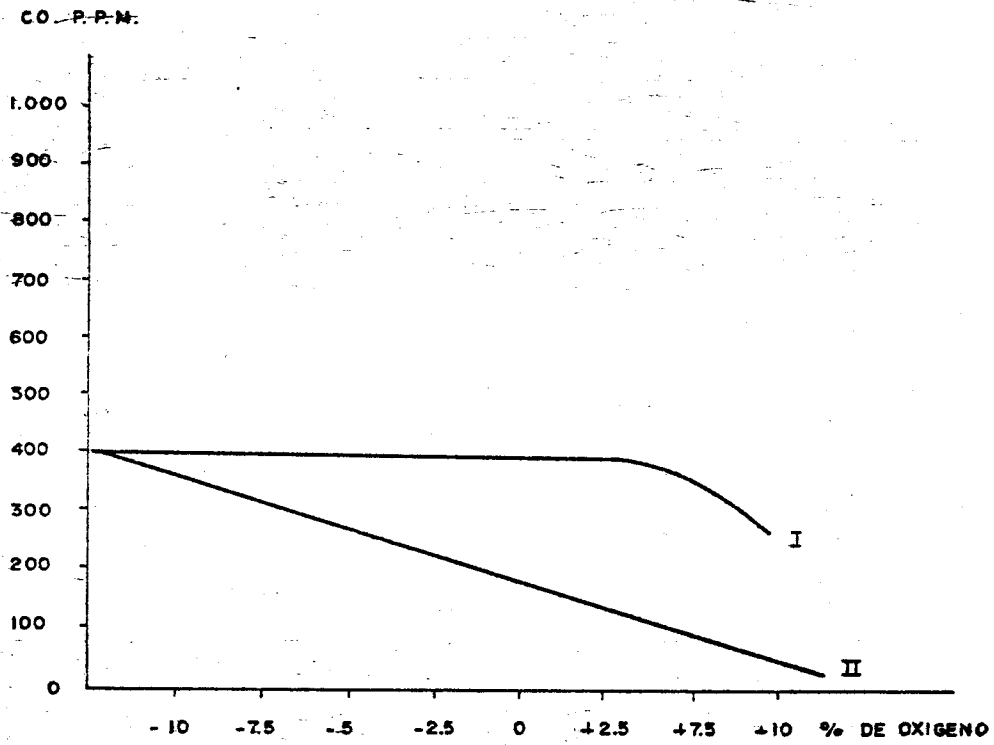


Fig. 18

to del monóxido de carbono en los gases de explosión. Dicho aumento es tan pequeño que, en nuestra opinión, no debe ser tomado en consideración.

Hasta el momento se ha estudiado la influencia de la envuelta de papel parafinado de los explosivos en los gases de voladura, disparando los explosivos al aire. Sin embargo, esto no es lo que ocurre en la práctica ya que el explosivo se hace detonar dentro de un barreno y, por tanto, perfectamente confinado.

En los ensayos antes mencionados, habíamos obtenido que, en el caso del disparo al aire, la influencia del papel parafinado en el contenido de monóxido de carbono de los humos de explosión es muy pequeña, prácticamente despreciable. Interesa saber si esto que acabamos de decir se sigue cumpliendo en el caso del disparo confinado.

Para realizar este estudio fue empleada la serie de explosivos gelatinosos que se ha venido utilizando en las pruebas anteriores. En cada ensayo se usó un cartucho de 100 grs. de peso y 26 mms. de diámetro, cebado con un detonador eléctrico instantáneo del número 8. El cartucho era disparado exactamente igual a como viene descrito en el apartado "influencia del confinamiento". En realidad, más que un disparo bajo confinamiento se trata de un disparo semiconfinado, puesto que el mortero está sin atacar.

Con cada explosivo de la serie se realizaron dos pruebas, exactamente iguales en todo, excepto en que en una de ellas la envuelta del cartucho estaba constituida por papel parafinado y en la otra por papel de estaño.

Los resultados experimentales obtenidos pueden verse en la tabla nº 9 a, estando expresada en p.p.m. las concentraciones de monóxido de carbono. En las curvas I y II de la fig. nº 18, viene representada la variación del óxido de carbono en función del balance de oxígeno.

Observando los valores de la tabla y las curvas de la fig. nº 18, se puede deducir lo siguiente:

1º) En oposición a los resultados que se habían obtenido en el caso del disparo al aire libre, cuando el cartucho detona bajo confinamiento, la envuelta de papel parafinado ejerce una mayor influencia, haciendo aumentar notablemente el contenido de monóxido de carbono de los gases de explosión.

2º) El aumento del contenido del CO en los gases de voladura provocado por la envoltura de papel parafinado del cartucho de explosivo es nulo o casi nulo para los explosivos con balance de oxígeno muy negativo (de menos de 10% a menos 7,5%), moderado para balances de oxígeno negativos (de -7,5% a 0%) y considerables para balances de oxígeno positivos (de 0% a 10%).

3º) De la comparación de las tablas nº 8 y 9a se deduce que la cantidad teórica de monóxido de carbono que se debería formar si se tomara en consideración la envuelta de papel parafinado, es considerablemente mayor que la obtenida en la realidad.

Este fenómeno es explicable puesto que en el momento del disparo, el papel parafinado se fragmenta en multitud de pequeños trozos que son lanzados en todas direcciones y

el pequeño exceso de oxígeno existente en el interior de la nube de los gases de explosión, no es suficiente para quemar toda la envuelta de papel, reaccionando ésta únicamente de una manera parcial. Esta es la razón por la que, al hacer el cálculo de las características teóricas de un explosivo, no debe tenerse en cuenta la envolvente de papel parafinado, dado que el error que se deriva de ello es pequeño.

<u>EXPLOSIVOS</u>	<u>PULVERULENTOS</u>
<u>BALANCE DE OXIGENO</u>	<u>OXIDO DE CARBONO p.p.m.</u>
-10%	806
-7,5%	726
-5%	676
-2,5%	580
0%	480
2,5%	360
7,5%	200

Tabla nº 9

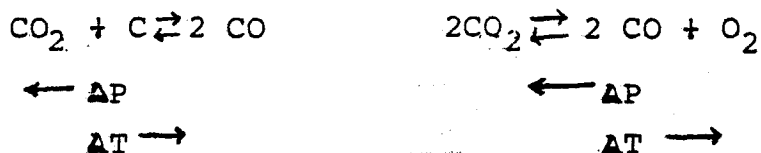
EXPLOSIVOSGELATINOSOSBALANCE DE OXIGENOPAPEL PARAFINADOPAPEL ESTAÑO

	CO p.p.m.	CO p.p.m.
- 10 %	420	420
- 7,5%	420	380
- 5 %	400	320
- 2,5%	400	305
0 %	400	265
2,5%	420	195
5 %	400	140
7,5%	360	80
10 %	250	40

Tabla 9 a.

3.3.3. Influencia del confinamiento

Hasta el momento, todas las pruebas realizadas para estudiar la influencia del balance de oxígeno y de la envuelta de papel parafinado, han sido efectuadas disparando el cartucho de explosivo suspendido en el aire. Esto no es lo que normalmente sucede en la práctica, en que el cartucho hace explosión dentro de un barreno, perfectamente confinado. Es lógico pensar que el confinamiento tiene que producir una mejora notable de los gases de la explosión, puesto que las reacciones explosivas se desarrollan de una forma mucho más completa y perfecta que cuando el disparo es efectuado al aire. El nitrato amónico experimentaría una mejor descomposición y, por consiguiente, el contenido de óxidos de nitrógeno de los gases de explosión disminuirían. Desde un punto de vista teórico, también tendría que disminuir la cantidad de monóxido de carbono. Efectivamente, observando las reacciones de formación del CO



y aplicando el principio de Le Chatelier, se deduce que un incremento de presión favorece la formación de CO_2 , mientras que un aumento de temperatura desplaza el equilibrio hacia la formación del monóxido de carbono, dado que estas reacciones son endotérmicas. Cuando la explosión tiene lugar en un barreno, la presión se mantiene durante un tiempo mucho mayor que si el cartucho explota al aire, mientras que a la temperatura le ocurre justo lo contrario. Esto explica perfectamente el hecho bien conocido de que un explosivo bien confinado produce mejores gases de explosión.

que cuando se dispara al aire. A esta misma conclusión han llegado todos los autores que han estudiado este tema, como Wild, Sinaball, Boucart, etc.

Con el fin de comprobar lo que habíamos deducido teóricamente, fueron efectuados ensayos utilizando las dos series de explosivos pulverulentos y gelatinosos que ya habían sido usadas para estudiar la influencia del balance de oxígeno.

En cada ensayo se disparó un cartucho de 100 grs. de peso, con envuelta de papel parafinado del 26 mms. de diámetro y cebado por un detonador eléctrico del nº 8. El cartucho era colocado dentro de un pequeño mortero de acero de 200 mms. de diámetro y 445 mms. de longitud y que en su centro tenía perforado un orificio de 38 mm. de diámetro y 340 mm. de longitud, que simulaba un barreno. El cartucho se colocaba en el fondo de dicho orificio y no se atacaba. Como vemos, el confinamiento no era perfecto puesto que faltaba el atacado, pero consideramos que era suficiente para el objeto de nuestro estudio.

A continuación, en las tablas nº 10 y 11, damos los resultados experimentales obtenidos con los explosivos pulverulentos y gelatinosos, respectivamente. En la curva III de la fig. 13 y en las curvas II de las fig. nº 14, 15 y 16, se ha representado la variación del CO y de los óxidos de nitrógeno en función del balance de oxígeno.

Comparando estas tablas y curvas con las obtenidas al disparar los explosivos al aire, se puede deducir lo siguiente:

1º) En oposición a lo que habíamos deducido teóricamente, el contenido de monóxido de carbono en los gases de explosión aumenta con el confinamiento, siendo este aumento mayor en los explosivos pulverulentos, de bajo contenido en nitroglicerina, que en los gelatinosos, con alto porcentaje de la misma. La no coincidencia entre los resultados teóricos y los experimentales es debida, en nuestra opinión, a la influencia del oxígeno del aire.

Efectivamente, cuando el explosivo detona en el aire, parte de los productos resultantes de la explosión reaccionan con el oxígeno del mismo, oxidándose; por el contrario, si el cartucho está confinado, al no haber aire, aquellas oxidaciones que antes tenían lugar, ahora no se producen. Esto podría explicar perfectamente el aumento del contenido de óxido de carbono cuando el explosivo está confinado, resultado al que también llegaron Boutry y Fossé.

2º) En el disparo confinado y para los explosivos pulverulentos, al igual que al aire, el contenido de óxido de carbono de los gases de explosión varía linealmente con el balance de oxígeno, disminuyendo a medida que dicho balance se va haciendo más positivo. Cuando el explosivo es gelatinoso, con alto contenido de nitroglicerina, el CO permanece prácticamente constante, descendiendo bruscamente para balances de oxígeno muy positivos (+10%).

3º) Los óxidos de nitrógeno, de acuerdo con lo previsto teóricamente, aparecen en los gases en menor cantidad que cuando el cartucho es disparado al aire.

49) Tanto para explosivos pulverulentos, con poca nitroglicerina, como para gelatinosos, con alto porcentaje de la misma, la formación de óxidos de nitrógeno es independiente del balance de oxígeno para el intervalo comprendido entre -5% y $+5\%$. A partir de este último valor, los óxidos de nitrógeno aumentan bruscamente.

50) Estos ensayos han puesto muy bien de manifiesto que el contenido de nitroglicerina de los explosivos ejerce una cierta influencia en los gases. Efectivamente, al ir aumento el porcentaje de nitroglicerina, las reacciones son más completas, y por consiguiente, los gases de explosión mejoran.

CONFINADOEXPLOSIVOS PULVERULENTOS

<u>BALANCE DE OXIGENO</u>	<u>OXIDO DE CARBONO p.p.m.</u>	<u>OXIDO NITROGENO p.p.m.</u>
- 10 %	1225	63
- 7,5 %	1116	29
- 5 %	960	38
- 2,5 %	883	40
0 %	650	36
2,5 %	646	41
5 %	550	40
7,5 %	350	53
10 %	320	84

Tabla nº 10

CONFINADOEXPLOSIVOS GELATINOSOS

<u>BALANCE DE OXIGENO</u>	<u>OXIDO CARBONO p.p.m.</u>	<u>OXIDO NITROGENO p.p.</u>
- 10 %	350	25
- 7,5 %	330	26,5
- 5 %	396	26
- 2,5 %	420	22,25
0 %	353	20
2,5 %	410	24,5
5 %	366	21,5
7,5 %	366	35
10 %	283	42

Tabla nº 11

3.3.4.- Influencia del agua y de la presión de agua

Habiéndose extendido notablemente el disparo bajo presión de agua en las minas de carbón, se consideró de interés estudiar las influencias que pueden ejercer el agua y la presión en el contenido de gases nocivos de los humos de explosión. Para este estudio se usó un explosivo gelatinoso, de alto contenido en nitroglicerina (Goma 1 Especial AGV). En cada ensayo fue disparado un cartucho de 26 mm. de diámetro, con envuelta de papel parafinado y de 100 grs. de peso. Fueron efectuados 4 tipos de pruebas, que describiremos brevemente.

a). Disparo al aire

Se realizó de la misma forma que para estudiar la influencia del balance de oxígeno, suspendiendo el cartucho mediante unos alambres paralelamente al suelo de la cámara y a 40 cms. de él.

b). Disparo en bolsa llena de agua.

El cartucho hace explosión dentro de una bolsita de plástico de 600 milímetros de longitud y 65 mm. de diámetro, llena de agua, de forma que el explosivo quede totalmente cubierto por ésta. Con este ensayo se pretende ver la influencia que ejerce el agua sobre los humos nocivos.

c). Disparo en tubo bajo presión de agua a 5 kg/cm²

El cartucho se hace explosionar dentro de un tubo de plástico rígido, cerrado herméticamente y

lleno de agua a una presión de 5 kg/cm^2 (ver fig. nº 19).

d). Disparo en tubo bajo presión de agua a 15 kg/cm^2

Se realiza de la misma manera que en el caso anterior, pero estando el agua a una presión de 15 kg./cm^2 .

Con estas dos últimas pruebas se intenta conocer la influencia de la presión sobre los óxidos de nitrógeno y el CO.

A continuación, en la tabla nº 12, se dan los valores en partes por millón, obtenidos en las diferentes pruebas:

Tipo de prueba	Oxido Carbono p.p.m.	Oxido Nitrógeno p.p.m.
a) Disparo al aire	243	64,3
b) Disparo en bolsa llena de agua	363	51
c) Disparo bajo presión de agua a 5 kg./cm^2	263	46,3
d) Disparo bajo presión de agua a 15 kg./cm^2	236	31

Tabla nº 12

TUBO PARA DISPARO BAJO PRESION
DE AGUA

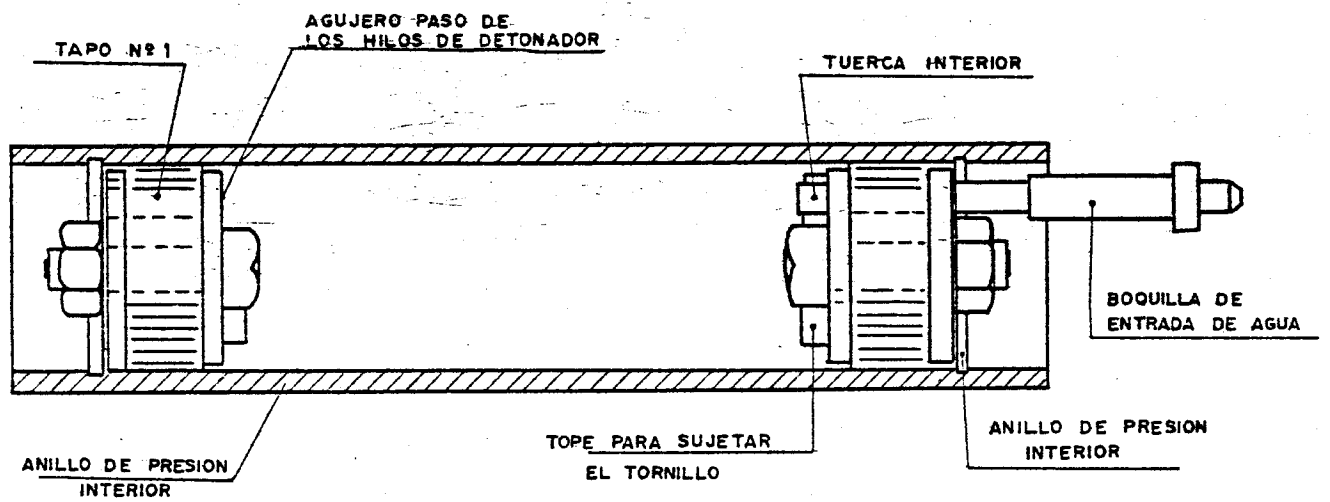


Fig. 19

Consecuencias a deducir

12). El disparo en la bolsa de agua produce disminución de los óxidos de nitrógeno, puesto que parte de ellos reaccionan con el agua. Por el contrario, el contenido de óxido de carbono aumenta; la razón de este aumento es, a nuestro entender, la misma que en el caso de disparo confinado: al no estar el cartucho rodeado de aire, la cantidad de oxígeno disponible es inferior a cuando el explosivo detona el aire.

22) El disparo bajo-agua a presión da lugar a una disminución de los óxidos de nitrógeno respecto al disparo en la bolsa de agua y al aire. El contenido de óxido de carbono también experimenta una disminución, siendo todavía superior al del disparo al aire para una presión de 5 kg/cm^2 .; sin embargo, para una presión de 15 kg./cm^2 ya es inferior.

Como resumen podemos decir, que el disparo en bolsa de agua disminuye los óxidos de nitrógeno pero no el monóxido de carbono, mientras que el disparo bajo agua a presión hace disminuir el contenido de gases, siendo esta mejora tanto mayor cuanto más grande sea la presión.

3.3.5. Influencia del carbón

El carácter oxidante o reductor de la roca a volar, es otro de los factores que influyen en el contenido de gases nocivos de los humos de explosión.

Es lógico pensar que el disparo en carbón, por ser éste un potente reductor, favorecerá la formación de óxido

de carbono. Para los ensayos ha sido utilizado el Explosivo de Seguridad nº 9, que es un explosivo capa. En cada prueba fue disparado un cartucho de 26 mm. de diámetro, envuelto en papel parafinado y de 10 gr. de peso. Se efectuaron con el Explosivo de Seguridad nº 9 tres clases de ensayos:

a). Disparo al aire.

Fue realizado como siempre, suspendiendo el cartucho a 40 cm. del suelo de la cámara.

b). Disparo en bolsa llena de polvo de carbón.

El cartucho fue disparado dentro de una bolsa de plástico de las mismas características que la utilizada en la prueba de disparo bajo agua, pero llena de polvo de carbón de forma que cubría todo el explosivo.

c). Disparo bajo confinamiento en ambiente de carbón.

Se hizo explotar el cartucho dentro de un mortero semejante al del apartado "influencia del confinamiento". El orificio donde se colocó el cartucho se relleno de polvo de carbón con el fin de reproducir las mismas condiciones que el caso de un barrero en capa de carbón.

En la tabla nº 13 pueden verse los resultados obtenidos en los tres tipos de pruebas.

que entran. Si la tubería tiene un solo ventilador, la concentración de salida será:

$$c_s = c_a \cdot \frac{q_a}{q_s}$$

q_s = caudal que se incorpora a la tubería.

Si la instalación tiene varios ventiladores, q_a es el caudal aspirado en el frente y q_v el caudal medio que suministra cada ventilador, se tiene aproximadamente y para los humos que salen en primer lugar es decir, antes que la galería se polucione:

$$c_s = c_a \cdot \left(\frac{q_a}{q_v} \right)^n$$

n = número de ventiladores

Se puede perfectamente dar el caso de que la concentración de salida sea 3 veces menor que la de entrada.

2º. Se produce una segunda dilución (generalmente de más importancia) al incorporarse los humos en la galería general de ventilación.

Si Q es el caudal de aire principal que circula por la galería, los humos se diluirán a la concentración:

$$c_g = c_s \cdot \frac{q_s}{Q}$$

Para un solo ventilador, también puede ponerse:

$$c_g = \frac{c_a \cdot q_a}{Q}$$

Tipo de prueba	Oxido de Carbono p.p.m.	Oxido Nitrógeno p.p.m.
a) Disparo al aire	156	30
b) Disparo en bolsa llena de carbón	240	77
c) Disparo confinado en ámbito de carbón	490	10

Tablã nº 13

De estos resultados se pueden deducir las siguientes conclusiones:

19). Como ya habíamos supuesto al principio de este apartado, cuando el cartucho de explosivo detona en un ambiente carbonoso, el contenido de monóxido de carbono de los gases resultantes de la explosión aumentan notablemente, siendo este aumento tanto mayor cuanto mayor es el confinamiento. Efectivamente, en el caso de disparo confinado, se obtuvieron después de la explosión fragmentos de una sustancia muy parecida al coque, el polvo de carbón que rodeaba al cartucho experimentó un proceso parecido al de la coquización, explicándose así perfectamente el gran aumento de CO en los gases de explosión.

20). Los óxidos de nitrógeno disminuyeron en el caso de disparo confinado viniendo esto a confirmar lo que ya habíamos dicho en el apartado "Influencia del confinamiento".

3.3.6.- Influencia de la pulverización de agua en el momento del disparo.

Se pretende estudiar en este apartado la influencia de un sistema pulverizador capaz de crear una cortina de niebla que pueda evitar la propagación de una explosión caso de producirse, así como una humidificación relativa de los escombros en el momento del disparo y un rápido enfriamiento de los gases producidos por la pega que permite el acceso al frente en un tiempo relativamente corto.

En este apartado se reflejan las pruebas realizadas en el Pozo Barredo de la empresa Hulleras del Norte S.A. (HUNOSA).

1.- Descripción del método.

Consiste este método en establecer en el frente un dispositivo de agua -aire que produce una "niebla" muy densa que llena totalmente el volumen libre, momentos antes del disparo.

El objetivo es disminuir el tiempo de limpieza de humos en el frente y eliminar en parte el polvo que se pone en suspensión durante la carga del escombros.

2.- Descripción del aparato.

Vamos a describir a continuación el aparato utilizado en las pruebas experimentales, que fueron realizadas como hemos dicho en el Pozo Barredo, y que consta de:

Un tubo de 2" de \emptyset y de 500 mms. de longitud; aproximadamente en el centro lleva soldado un racord $R_d 32^{1/8}$ para toma de agua y por un extremo lleva también un racord $R_d 55^{1/6}$ para toma de aire, mientras que por el opuesto termina en un embudo de 200 mms. de \emptyset y 235 mms. de altura.

Todo ello construido con chapa de 2 mm. Ver fig. 20.

PRUEBA REALIZADA EN EL POZO BARREDO

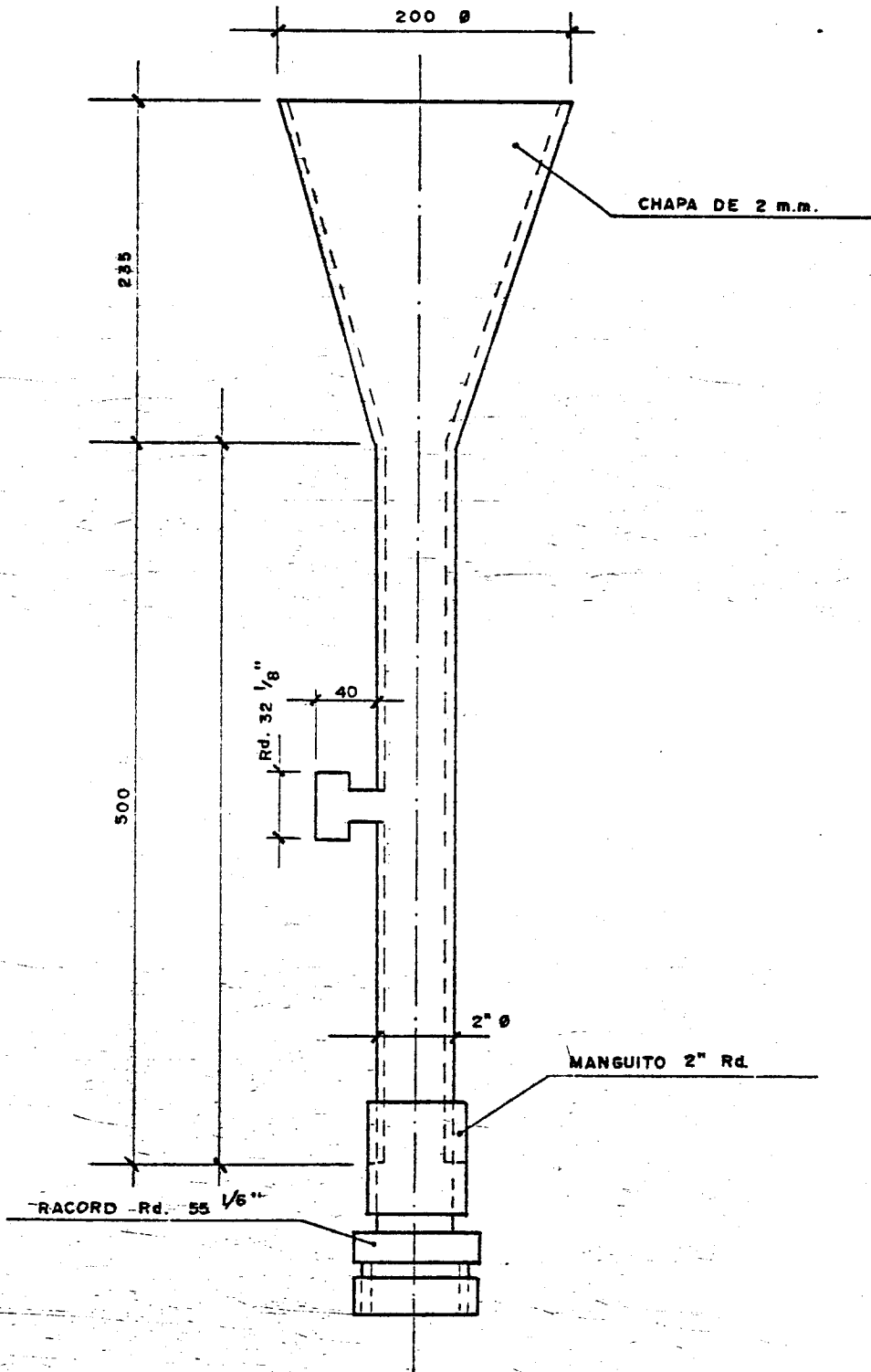
1.- Condiciones de la labor.

Para realizar este ensayo hemos elegido una labor concreta, la guía 10^a Nte. 3^{er} Rte. de 3^a Planta, con un fondo de saco próximo a los 100 metros, con ventilación aspirante por tubería de 300 mms. de \emptyset y difusor impelente y hemos procurado mantener constantes estas condiciones (fig. 21).

El trabajo desarrollado en esta labor consistió por término medio en barrenar 24 taladros de 1,80 metros de longitud, cargando una media de 28 vagones de escombros; así mismo, el consumo de explosivo fue de 25 Kg. por pega.

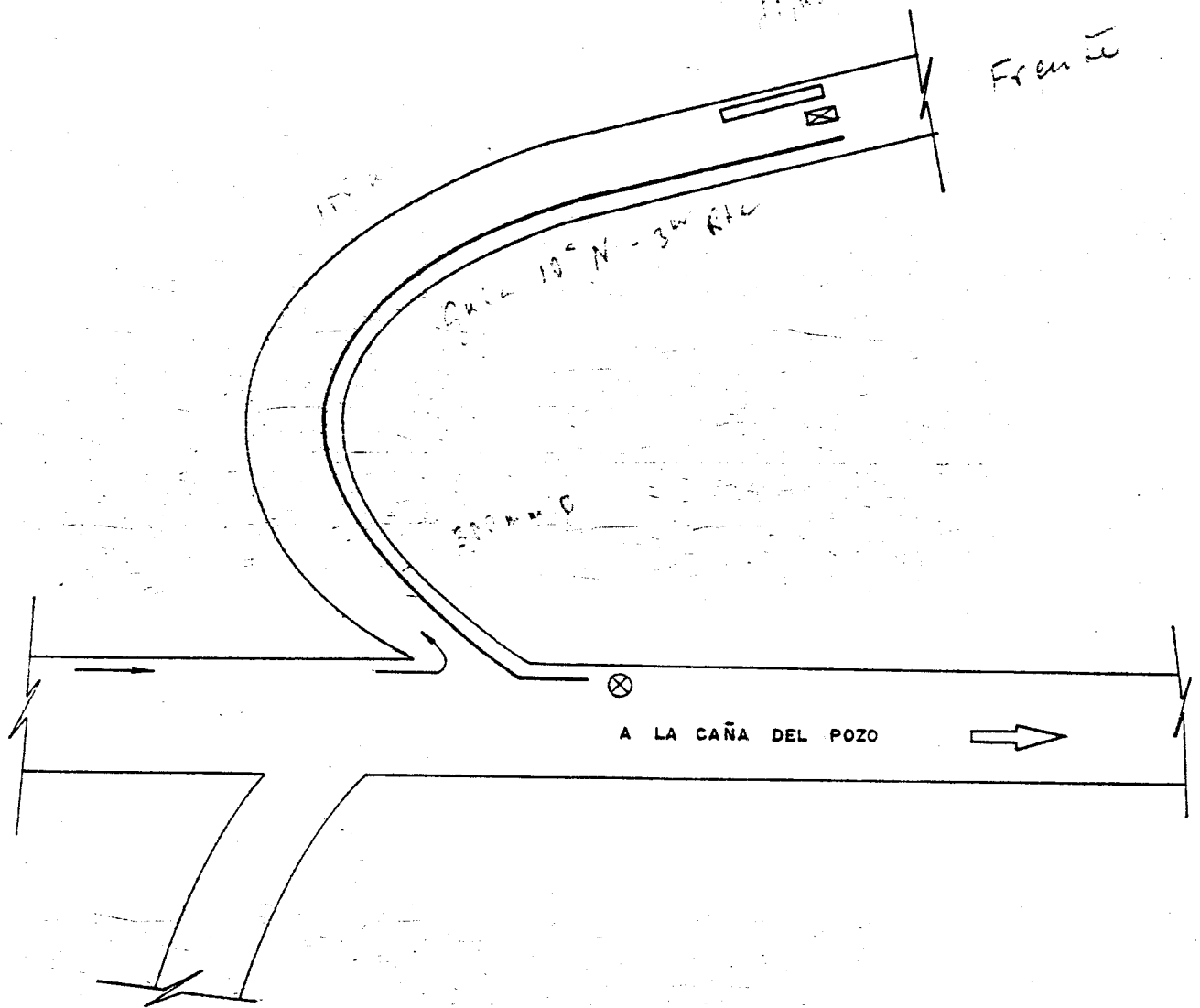
En estas condiciones hemos realizado el análisis de gases en condiciones normales, es decir, sin empleo del "cañón de niebla" y empleando éste; realizando estos análisis durante 7 días en el 1^{er} caso y 8 días en el 2^o.

Durante los días de la prueba con el "cañón",



CAÑÓN DE NIEBLA Esc. 1:5

Fig. 20



- ⊗ TOMA MUESTRAS GASES
- ⊠ " " " POLVO

Fig. 21

éste ha funcionado durante 15 minutos antes del disparo y 75 minutos después de éste, en total 90 minutos.

2.- Aparatos de control

Para el control de gases se ha empleado el aparato DRAGER.

3.- Resultados y conclusiones

En las figuras adjuntas números 22 y 23 vemos la evolución de los vapores nitrosos ($\text{NO} + \text{NO}_2$). En ella vemos como la utilización de la pulverización nos permite alcanzar niveles de toxicidad admisibles 17 minutos antes que si no realizáramos la pulverización.

Es de destacar que en el conjunto de mediciones realizadas en el POZO BARREDO, en Abril de 1977, se obtuvo también un gráfico de evolución del CO con pulverización, que indica que también mediante este proceso se pueden obtener reducciones considerables de los niveles de toxicidad del CO. En concreto, se indica que se puede llegar a las 50 p.p.m. 36 minutos antes con pulverización que sin ella.

Este resultado parece muy discutible si tenemos en cuenta la gran estabilidad química que presenta el CO en el tiempo. Nos inclinamos a pensar en la influencia de alguna otra razón accidental, como causa esencial en esa evolución.

También es de destacar que las muestras de los gases fueron tomadas al final de la tubería de ventilación,

ANALISIS DE NO + NO₂

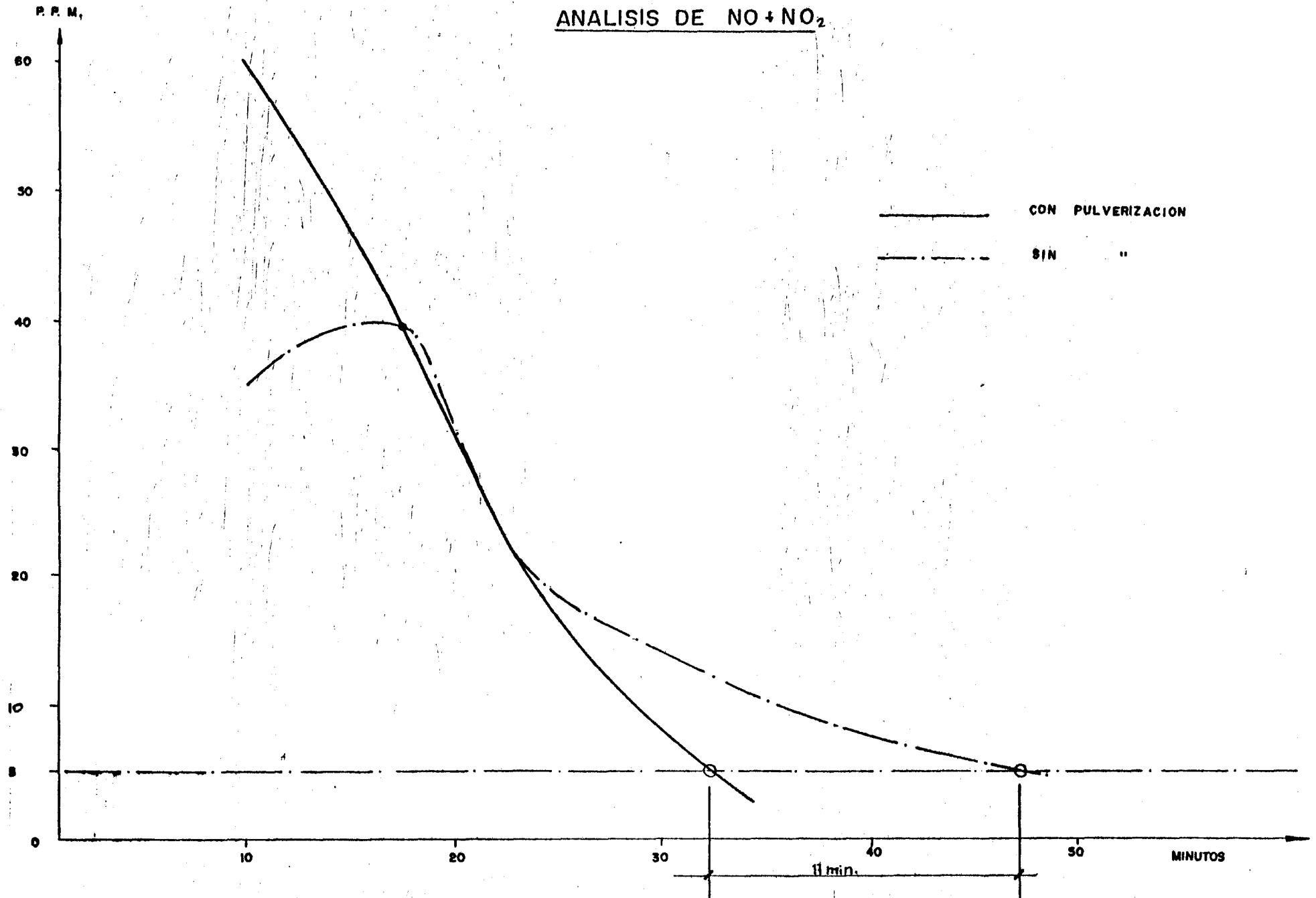


Fig. 22

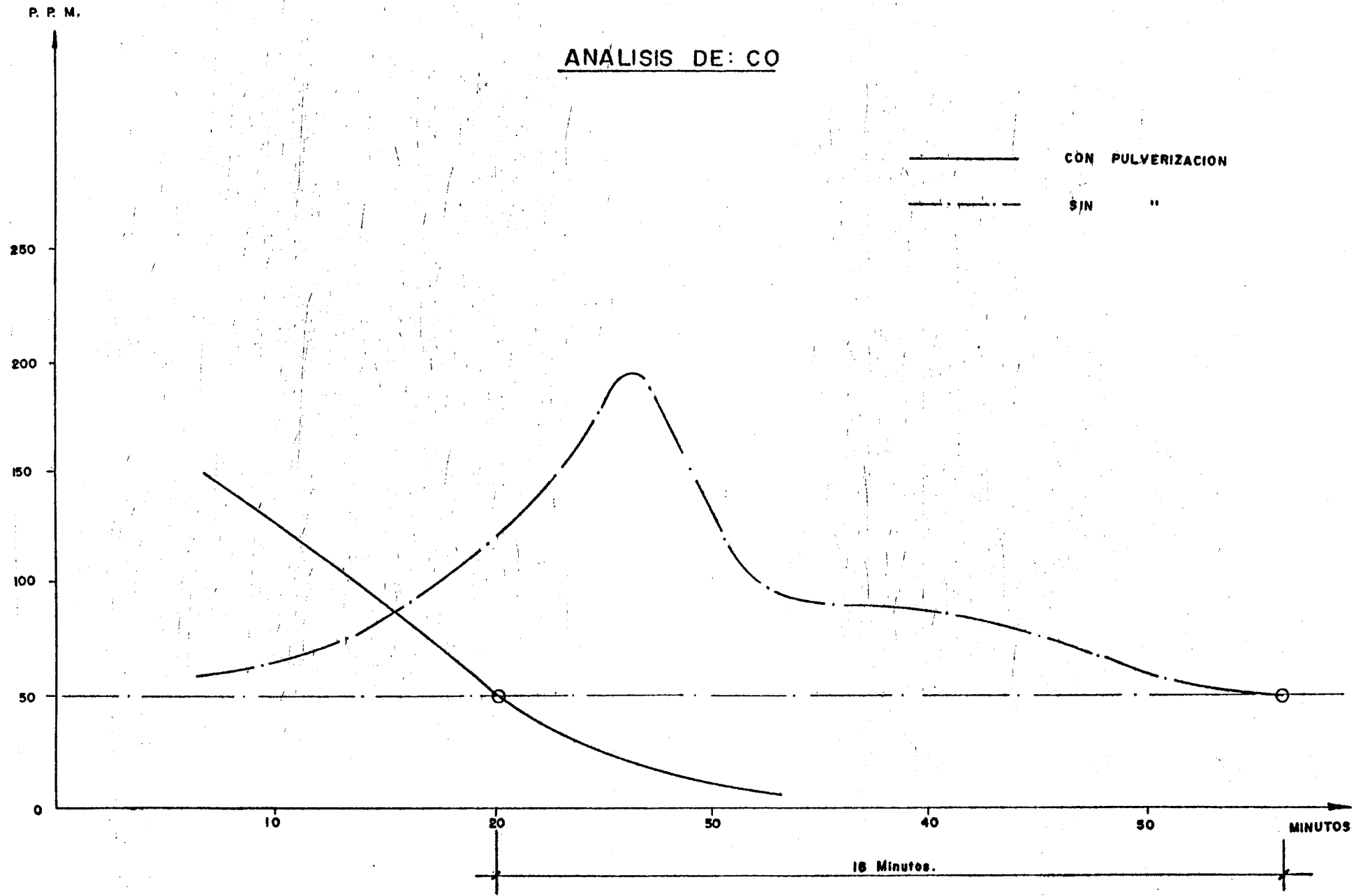


Fig. 23

lo que hace que transcurra cierto tiempo desde que el frente queda limpio hasta que los gases atraviesan toda la tubería.

Se ha comprobado prácticamente que, con el empleo de "cañón de niebla" durante el disparo, a los 25 minutos de producirse éste, se podría entrar al frente sin ninguna dificultad ni de olor a humos ni mucho menos de porcentajes peligrosos de gases; por el contrario, cuando no se utilizaba la pulverización no se podía llegar al frente en aproximadamente 1 hora.

En cuanto al consumo de aire, es aproximadamente de $14 \text{ m}^3/\text{min.}$, lo que significa un consumo total para 90 minutos de funcionamiento de 1260 m^3 .

Características generales de los pulverizadores

En la actualidad se hace un uso cada vez mayor de los pulverizadores en las minas para evitar la formación de polvo y para lograr la precipitación del producto en algunas operaciones. Como regla general, para estos fines sólo se deberían utilizar pulverizadores cuya eficacia haya sido comprobada por un centro de ensayos reconocido.

Para elegir el modelo de pulverizador adecuado se deben tener en cuenta las siguientes características:

- a). Su construcción y su sencillez.
- b). La cantidad de agua que lanzan a diferentes presiones (si son pulverizadores de agua y aire, también el consumo de aire).

- c). La forma y el alcance del chorro.
- d). El tipo de atomización.
- e). Las probabilidades de obturación.
- f). Las características físicas (forma, volumen y solidez).
- g). La resistencia a la corrosión.

Tanto en su diseño como en su construcción, los pulverizadores deben responder a las exigencias de las operaciones mineras.

La experiencia ha demostrado que los pulverizadores que lanzan menos de 1,5 l/m. de agua no dan buenos resultados, y, por el contrario, un pulverizador instalado en un punto de transbordo de un aparato transportador a otro o en un punto de carga, no debe lanzar agua en exceso por las dificultades que pueden aparecer en los propios transportadores de correa o en la misma planta de preparación del mineral. Es decir que, en términos generales, un pulverizador instalado en un punto de transbordo o carga no debería lanzar tal cantidad de agua que parte de ella pueda ser llevada por los transportadores de correa o por las vagonetas. En la mayor parte de los casos, el volumen de agua lanzada debería ser entre 2,5 y 4 l/m. a una presión hidrodinámica no inferior a 10 kg/cm^2 .

Para regar roca o carbón sueltos, se deben utilizar pulverizaciones que suministren una cantidad de agua bastante grande, humedecer completamente el chorro en poco tiempo. El chorro debería ser lo más ancho y del ma-

por alcance posible, pero las gotas de agua deberían ser bastante finas y la velocidad de choque del agua lo suficientemente moderada para que no se levanten nubes de polvo frente al chorro mismo. También se necesita un rociamiento bastante denso cuando se trata de formar una cortina para eliminar el polvo producido por las voladuras.

Como acaba de verse, es muy importante calcular correctamente el consumo de agua cuando se utilizan rociadores de agua, pero aún es más importante hacerlo cuando los pulverizadores utilizados son de agua y aire. El objeto de este último tipo de rociadores es la particularmente buena atomización del agua mediante el uso de aire comprimido. Si el volumen de agua es suficiente, las grandes cantidades de aire comprimido producirán una especie de niebla que permanecerá en el aire durante largo tiempo. En cambio, si se utiliza demasiada agua no se producirá toda la niebla necesaria y la que se produce tenderá a descender con demasiada rapidez. La niebla producida por estos tipos de pulverizadores no debe quedar flotando más de dos o tres minutos, según la velocidad del aire en el punto donde se emplee.

La forma de chorro pulverizado tiene también gran importancia; la cortina de agua que resulta de esta pulverización no debe tener intersticios por los cuales puedan pasar partículas de polvo sin mojar. Una instalación de pulverización, de una o más boquillas, con las que se trate de lograr la precipitación del polvo en una galería debe cubrir toda la sección de la galería.

La precipitación del polvo se logra más eficazmente cuando la cortina de agua producida por el pulverizador tiene una gran dispersión transversal y una longitud correspondiente. En estas condiciones se necesitará un menor número de boquillas y se obtendrán los mismos resultados.

También es muy importante el tipo de atomización que se obtiene de un rociador. El agua debe ser pulverizada con la mayor uniformidad posible. No conviene utilizar pulverizadores que lancen un chorro que sólo tenga suficiente densidad en el centro, con zonas periféricas de densidad muy inferior. Otra característica directamente relacionada con el tipo de atomización es el tamaño de las gotas de agua: las gruesas no fijan bien las partículas de polvo; en cambio, las pequeñas por su gran número pueden proteger mejor del polvo siendo además menor la cantidad de agua utilizada; pero de todos modos no deben ser demasiado finas, porque en este caso no harían precipitar la cantidad de polvo suficiente.

En la actualidad, los pulverizadores utilizados en las minas son seleccionados de una forma arbitraria, ya que apenas existen normas directrices claras que determinen su elección. No obstante, Walton, en sus estudios de laboratorio, indica que la precipitación de partículas de polvo suspendidas en el aire, por medio de gotas de agua, depende de la dimensión, concentración y velocidad de las gotas de agua. ()

Sin embargo, los parámetros ópticos de pulverización a utilizar para que los sistemas de rociado alcancen

un rendimiento máximo, en la suspensión del polvo, aún no han sido determinados de una forma clara y precisa.

El agua que se utiliza para el rociamiento es fundamental que sea limpia y con la menor cantidad de ácidos posibles. Si se emplea agua sucia se obturarán las boquillas de los pulverizadores e incluso puede aumentarse el número de partículas en suspensión en el aire. Se pueden, también instalar pequeños dispositivos para depurar el agua.

La regulación de las instalaciones de pulverización puede ser manual o automática.

Las instalaciones de pulverización mandadas a mano o que funcionan sin control, no siempre dan buenos resultados. Puede ocurrir que un rociador que se ha cerrado no se ponga en funcionamiento nuevamente en el momento en que se le necesita y puede asimismo suceder que no se cierren los rociadores durante las interrupciones de trabajo, con las serias consecuencias que esto puede tener, tanto en los transportadores como en las galerías.

Para evitar los inconvenientes de la regulación a mano, se han puesto a punto reguladores automáticos que dejan pasar únicamente la cantidad mínima de agua necesaria para el rociamiento del material que se está transportando en cada momento, con lo cual se asegura la necesaria precipitación del polvo y se evita el exceso de agua.

Otro mecanismo que también regula el riego según la cantidad de material que está pasando sobre diversos tipos de aparatos de transporte continuo es puesto en movimiento por la desviación de un brazo articulado cuya posición está determinada por la altura a que llega el material que se está transportando. El rociador y el regulador forman un bloque continuo y pueden ser utilizados en cualquier punto de transbordo o de carga y sea cual fuere el equipo de transporte continuo.

3.3.7 Influencia del tipo de retacado

En octubre de 1970 se ensayó en Hunosa la influencia que el tipo de retacado tenía sobre el contenido de humos y polvo de los productos de la pega.

Se trataba, en concreto, de comparar el retacado con gelatina y el tradicional de arcilla y polvo inerte.

Se utilizaron tacos de "Gelatina Trabant", de la casa Thyssen, dichos tacos constan de una vaina cilíndrica de polietileno moldeada, no abrasiva, resistente al fuego, de 420 mm de longitud y 30 mm de diámetro. La vaina se rellena en fábrica y se cierra bajo condiciones estrictas de control de calidad, y contiene 260 cm³ de una materia estable, estéril gelatinosa, de alto contenido de agua que contiene ingredientes orgánicos en combinación con un preservador para proporcionar una gran defensa contra los ataques microbiológicos. Solamente se introduce un taco de gelatina por barreno.

La prueba se hizo en la Estéril de Incendiada piso 0 de Mina Marianas, que tiene unos 10 m² de sección.

La ventilación de esta labor se hace aspirando con una turbina eléctrica y tubería de 500 Ø y por otra turbina neumática impelente cerca del frente con tubería de 300 Ø.

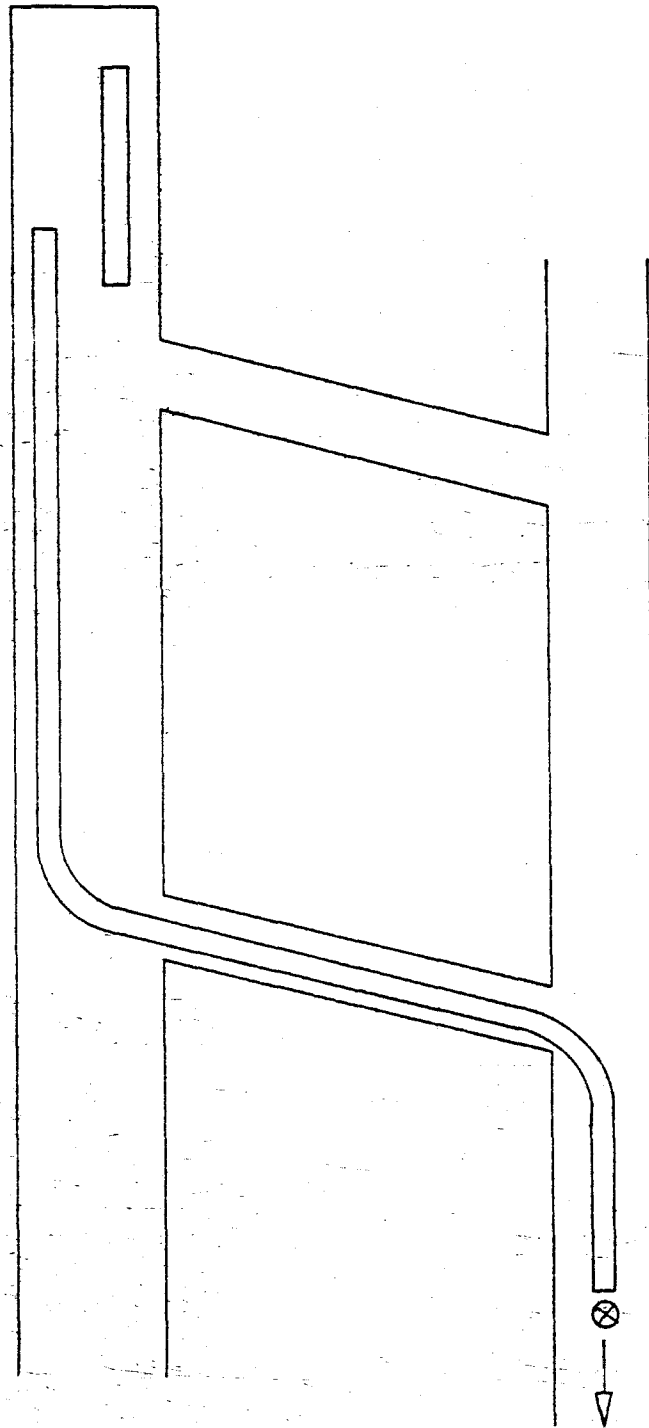
El explosivo utilizado fue goma 2 E-C en calibre 26 x 200. Por término medio cada pega constaba de 42 barrenos de 1,70 m de profundidad, la carga total era del orden de 40 kg.

El contenido de óxidos de carbono en los gases de explosión fue medido con un analizador de gas infrarrojo marca UNOR-1, mientras que para los gases nitrosos se aplicó el método de Patty y Petty.

Se realizaron cuatro tipo de ensayos:

Primer ensayo.- En él se cargaron 42 barrenos de 1,50 metros de longitud con 39,400 kg de goma 2 E C, retándose los barrenos con dos tacos de polvo inerte y uno de arcilla.

Los resultados obtenidos fueron:



⊗ TOMA DE MUESTRAS.

MINA MARIANAS, PISO 0, GALERIA ESTERIL INCENDIADA

Fig. 24

<u>TIEMPO</u>	<u>NO + NO₂</u>	<u>CO</u>
1 min.	128 p.p.m.	400 p.p.m.
2 min.		500 p.p.m.
3 min.		450 p.p.m.
5 min.	79 p.p.m.	
7 min.		450 p.p.m.
10 min.	46 p.p.m.	
12 min.		250 p.p.m.
20 min.	36 p.p.m.	
23 min.		110 p.p.m.
31 min.		50 p.p.m.
40 min.		10 p.p.m.

Un hecho que debe ser tenido muy en cuenta a la hora de valorar este primer ensayo, es que las mediciones de CO fueron realizadas, (sólo para este ensayo) con tubitos DRAGER, que aumentan los valores con relación al UNOR-1 en un 60%.

Segundo ensayo.- Se cargaron 42 barrenos de 1,70 metros de longitud con 32,100 kg. de Goma 2 E C, retacándose cada barreno con un taco de gelatina.

Los resultados obtenidos fueron:

<u>TIEMPO</u>	<u>NO + NO₂</u>	<u>CO</u>
1 min.	134 p.p.m.	140 p.p.m.
5 min.	87 p.p.m.	280 p.p.m.
10 min.	36 p.p.m.	160 p.p.m.
15 min.		90 p.p.m.
20 min.	23 p.p.m.	50 p.p.m.
30 min.		20 p.p.m.

Tercer ensayo.- Se cargaron 46 barrenos de 1,70 metros de longitud con 41,800 kgs de Goma 2 E C, retacándose cada barreno con un taco de gelatina.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

<u>TIEMPO</u>	<u>NO + NO₂</u>	<u>CO</u>
1 min.	97 p.p.m.	150 p.p.m.
5 min.	97 p.p.m.	340 p.p.m.
10 min.	20 p.p.m.	220 p.p.m.
15 min.		120 p.p.m.
20 min.	12 p.p.m.	70 p.p.m.
30 min.		30 p.p.m.

Cuarto ensayo.- Se cargaron 39 barrenos de 1,50 metros de longitud con 33,700 kgs. de Goma 2 E C retacándose cada barreno con dos tacos de polvo inerte y uno de arcilla.

Los resultados obtenidos fueron:

<u>TIEMPO</u>	<u>NO + NO₂</u>	<u>CO</u>
1 min.	101 p.p.m.	110 p.p.m.
5 min.	95 p.p.m.	300 p.p.m.
10 min.	20 p.p.m.	200 p.p.m.
15 min.		120 p.p.m.
20 min.	10 p.p.m.	70 p.p.m.
30 min.		20 p.p.m.

CURVAS DEL PROCESO DE DILUCION DE LOS GASES

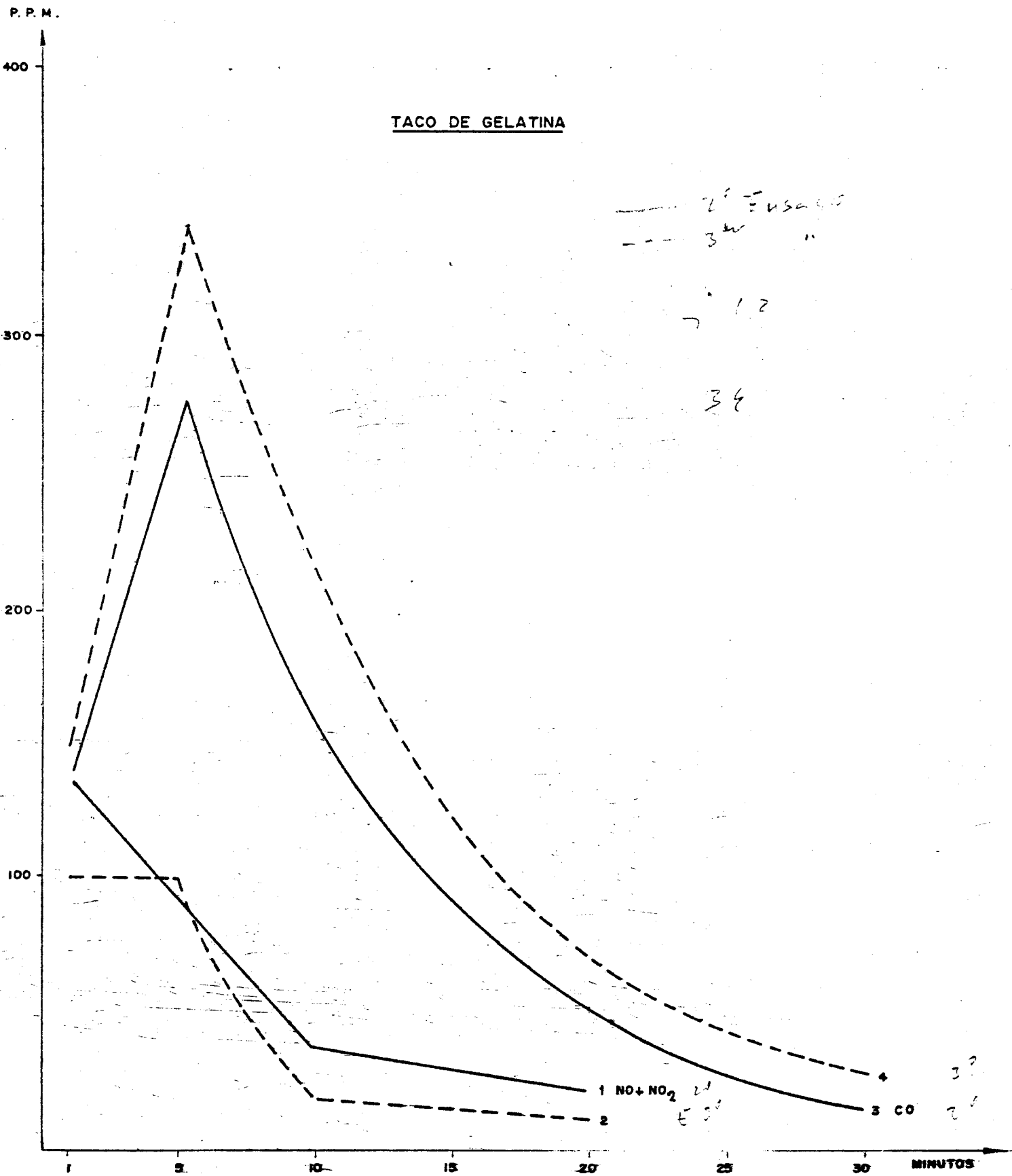


Fig. 25

CURVAS DEL PROCESO DE DILUCION
DE LOS GASES
TACO DE ARCILLA

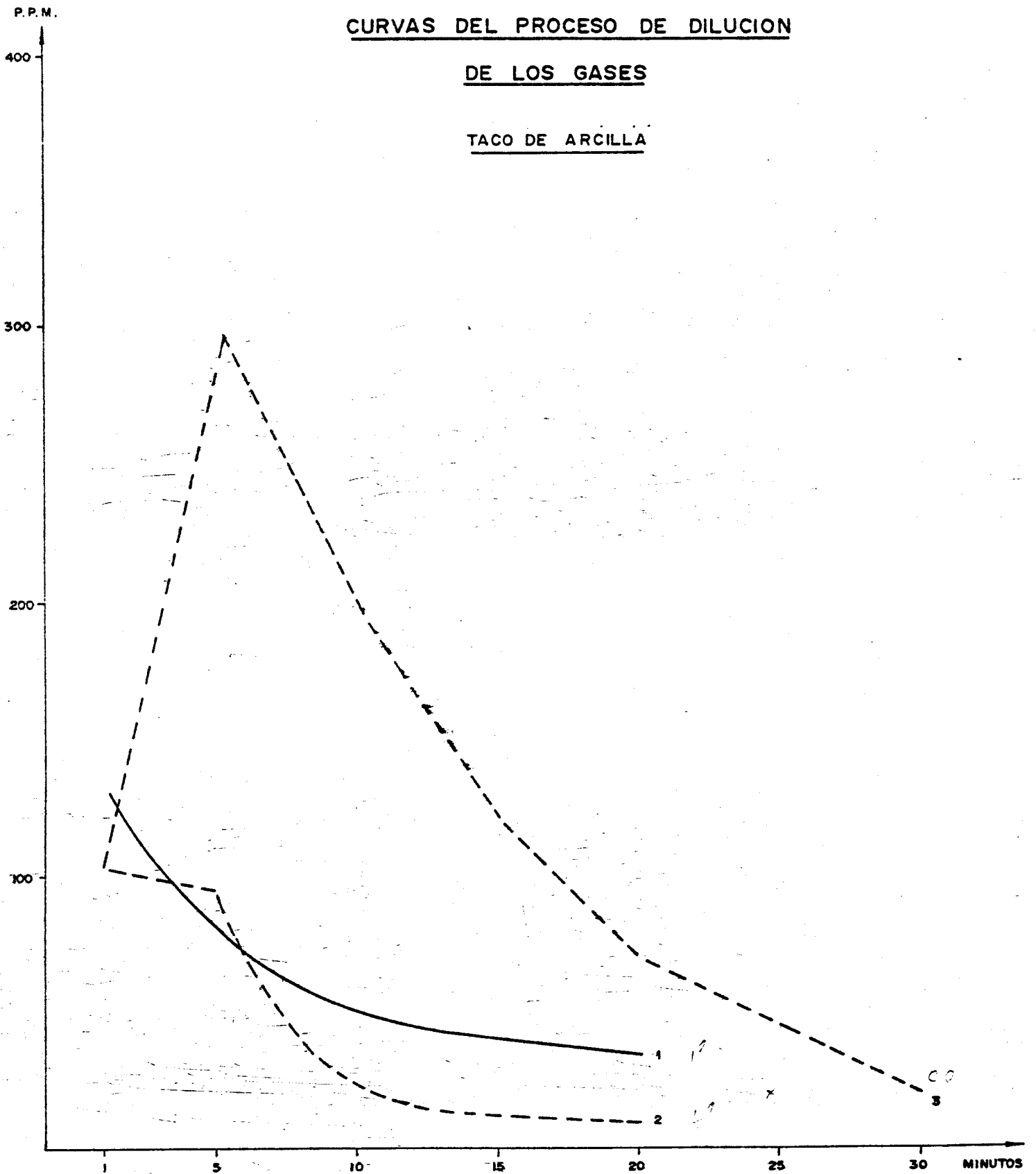


Fig. 26

CURVAS DE LOS VALORES MEDIOS DE LAS DOS
PRUEBAS REALIZADAS CON CADA SISTEMA DE
ATRAQUE

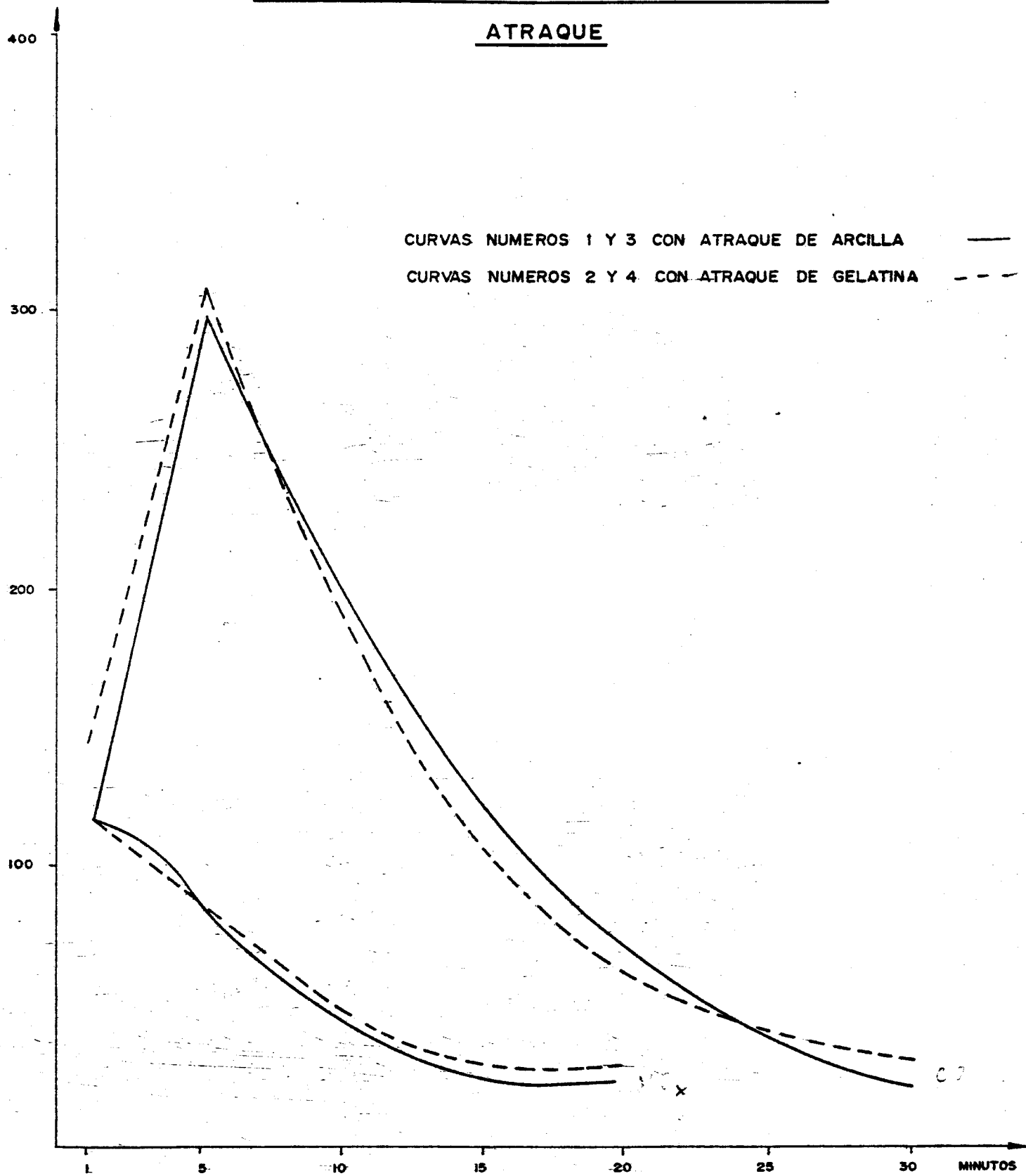


Fig. 27

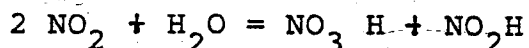
CONCLUSION:

Teniendo en cuenta las pruebas realizadas, se puede apreciar en las curvas de dilución de los valores medios, que la diferencia en cuanto a óxidos de nitrógeno y carbono contenidos en los gases de la explosión son prácticamente inapreciables entre uno u otro sistema de retacado. Sin embargo, en ambos casos, los contenidos en gases nocivos de los humos de explosión quedan, en un menor tiempo, por debajo de los valores MAC.

3.3.8.- Influencia del tiempo

La toxicidad de los humos producidos en las voladuras, no es constante, sino que va disminuyendo en función del tiempo.

Así, por ejemplo, el dióxido de nitrógeno NO_2 en presencia del vapor de agua, reacciona como ya hemos visto, dando:



Desde un punto de vista teórico, el contenido de óxido de nitrógeno de los gases de voladuras, debería disminuir exponencialmente en función del tiempo. Sin embargo, todas las mediciones efectuadas han puesto de manifiesto que, efectivamente, este contenido va decreciendo con el tiempo, pero no ha sido posible encontrar un factor constante de disminución. Se observó que dicho factor depende de la concentración de los óxidos de nitrógeno y que era siempre mayor para las concentraciones altas que para las bajas.

Las investigaciones llevadas a cabo en algunas minas francesas, han permitido obtener las leyes decrecientes siguientes que ya hemos indicado en el apartado "Evolución del tapón de humos". ()

1.- para contenidos en vapores nitrosos comprendidos entre 150 y 30 p.p.m.

$$t = t_0 e^{-2,85 \theta \cdot 10^{-2}}$$

2.- para contenidos en vapores nitrosos comprendidos entre 30 y 5 p.p.m.

$$t = t_0 e^{-1,11 \theta \cdot 10^{-2}}$$

3.3.9 Influencia de otros factores

En todos los apartados anteriores se ha estudiado la influencia que ejerce en la toxicidad de los humos de voladura, todo un conjunto de factores, tales como el balance de oxígeno, la envuelta de papel parafinado, el confinamiento, etc.

Es bien conocido de todos que frecuentemente, explosivos del mismo tipo y por tanto con el mismo balance de oxígeno, con envueltas de papel parafinado idénticas y disparados en la misma roca y en condiciones semejantes, producen gases muy diferentes. Esto es debido a que los humos de la explosión vienen condicionados por otros factores, aparte de los que ya se han mencionado, que afectan al explosivo de forma que la detonación no se produce normalmente, o bien dan lugar a que el explosivo deflagre.

Cuando se produce cualquiera de estos fenómenos, el volumen y la toxicidad de los gases aumenta notablemente.

Todos estos factores capaces de influir en los gases de voladura los podemos agrupar en tres grandes grupos:

- a) Conservación del Explosivo y de los Cebos
- b) Iniciación del explosivo
- c) Técnica y forma de la Voladura.

- a) Conservación del explosivo y de los cebos.

Se ha comprobado que el contenido de gases nocivos en los humos de las voladuras aumenta notablemente en los siguientes casos:

19. Cuando el explosivo empleado lleva mucho tiempo encartuchado y ha envejecido grandemente.

2º. Si el explosivo está húmedo o en malas condiciones.

3º. En el caso de que los explosivos estén demasiado fríos, es decir, por debajo de los cero grados centígrados.

4º. Cuando el explosivo es iniciado débilmente por un cebo húmedo o en mal estado de conservación.

b) Iniciación del explosivo

Otro factor capaz de aumentar la toxicidad de los gases es que la iniciación de la columna de explosivo del barreno no se haga de la forma adecuada. Esta iniciación puede ser defectuosa por dos causas:

1º. Cuando el cebo iniciador es demasiado pequeño.

2º. Si el cebo iniciador es demasiado grande.

c) Técnica y forma de voladura

La forma de cargar el explosivo, el estado del barreno, el esquema de voladura... influyen de manera notable en la formación de óxido de carbono y de óxidos de nitrógeno. Las causas principales son:

1º. Columna de carga explosiva demasiado larga

2º. Barrenos sucios, sin limpiar

3º. Cargas demasiado comprimidas en el barreno

4º. Existencia de arena, piedrecillas, fango... entre los cartuchos de la carga.

5º. Compresión de la carga del barreno causada por la acción de otro próximo, cuando éste último hace explosión.

3.3.10. Ventilación de los gases producidos en la voladura.

Hemos visto en la primera parte que debido a una voladura, se producen en el "fondo de saco" gases en gran parte nocivos que constituyen el denominado "tapón" de humo.

Actuando sobre diversos factores ya estudiados, se puede lograr reducir las concentraciones de estos gases tóxicos, pero no evitarlos. Quiere esto decir que, en mayor o menor proporción siempre nos encontraremos con el "tapón" de humos. El problema, una vez puestos todos los medios para que se produzca la menor cantidad de gases tóxicos, se reduce entonces a eliminarlos. Entramos pues en el campo de la ventilación y, más en concreto por tratarse de "fondos de saco", en el de la ventilación secundaria.

Vamos a ver en primer lugar esta ventilación secundaria. Esta instalación produce un intercambio de caudal de aire en el frente.

Llamemos V al volumen total de gases en el "tapón", si c es la concentración de gases nocivos por unidad de volumen, la cantidad total de gases nocivos es:

$$V \cdot c \quad \text{esto es un instante } T.$$

En un instante $T-dt$ antes, tendremos:

$$V \cdot c - V \cdot dc$$

Durante el periodo dT , entran y salen gases nocivos en el tapón.

- Entran $Q \cdot C_e dT$ siendo C_e la concentración de gases nocivos del aire entrante que suelen provenir de las fugas.

$$- \text{Salen } Q \cdot c \cdot dT$$

Por lo tanto

$$V \cdot dc = Q \cdot C_e \cdot dT - Q \cdot c \cdot dT \quad \text{de donde}$$

$$dc = \frac{Q}{V} (C_e - c) dT \Rightarrow \frac{dc}{C_e - c} = \frac{Q}{V} dT$$

$$\text{integrando tenemos } \ln (C_e - c) = \frac{Q}{V} \cdot T + K$$

$$\text{Para } T = 0 \Rightarrow c = c_i \Rightarrow K = \ln (C_e - C_i)$$

$$\ln (C_e - c) = \frac{Q}{V} \cdot T + \ln (C_e - C_i)$$

$$\ln \frac{C_e - c}{C_e - C_i} = \frac{Q}{V} \cdot T \quad C_e - c \Rightarrow (C_e - C_i) \cdot e^{-\frac{Q}{V} \cdot T}$$

$$C = C_e - (C_e - C_i) e^{-\frac{Q}{V} \cdot T} \quad (1)$$

$$\text{Si } C_e = 0$$

$$C = C_i e^{-\frac{Q}{V} \cdot T}$$

Estas ecuaciones nos expresan la evolución teórica de la concentración de los gases en función del tiempo. Su representación gráfica tiene la forma de la fig. 28 e indica que la concentración inicial de gases queda dividida por el factor constante $e^{-\frac{Q}{V} \cdot T}$ en cada intervalo de tiempo constante. Este factor lo llamamos constante de tiempo. Esto determina que la disminución sea al principio muy rápida, para después ser sucesivamente lenta.

Los trabajos en el frente podrán reanudarse cuando la concentración en éste haya alcanzado el nivel admisible c_a , lo que se producirá en el tiempo T_a que resulta de la ecuación (1).

$$T_a = \frac{V}{Q} \cdot \ln \frac{C_i}{c_a - c_e}$$

$$\text{y si } c_e = 0$$

$$T_a = \frac{V}{Q} \cdot \ln \frac{C_i}{C_a}$$

Todo esto constituye un estudio teórico de la evolución de los gases de la voladura. Hemos de decir que el monóxido de carbono cumple aproximadamente la curva expo-

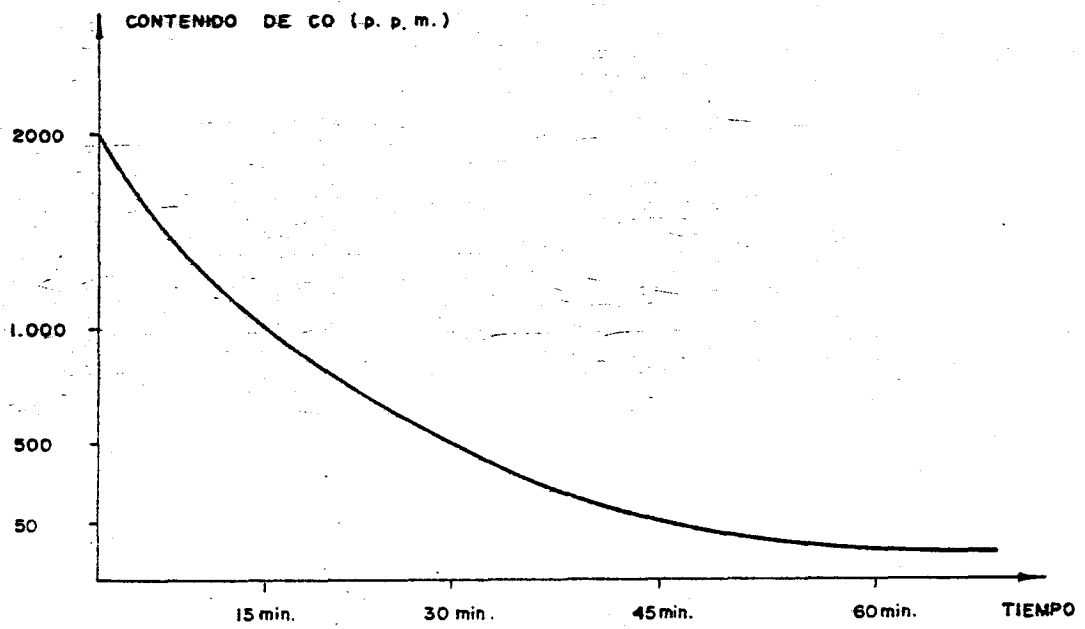


Fig. 28

nencial expresada en la fig. 28, no así los óxidos de nitrógeno para los que la constante de tiempo es muy superior a la teórica y por tanto se apartan de la curva exponencial. El resultado es que los óxidos de nitrógeno se descomponen más rápidamente de lo esperado.

Cuando sobre la tubería de ventilación secundaria se instalan varios ventiladores en serie, escalonadamente, es muy fácil que se produzcan fugas que contaminan la corriente de aire fresco que accede a la labor.

Este fenómeno viene indicado en la fórmula matemática por el término c_e y tiene una gran importancia en el proceso de ventilación al conseguir retardarlo enormemente.

Los gases tóxicos fugados contaminan la propia atmósfera de la galería y como además retornan al frente a una velocidad muy lenta, podemos encontrarnos fenómenos como los siguientes:

- 1º. En galería donde la ventilación puede perfectamente realizarse en 10-15 minutos cuando no existen fugas, con éstas puede ocurrir que al cabo de 90 minutos se encuentren todavía concentraciones por encima del umbral de toxicidad.
- 2º. Debido a las fugas que salen a la galería, se observa que al cabo de cierto tiempo (de 20 a 30 minutos) la concentración en gases en la co

- El coeficiente de fugas o de aprovechamiento del aire.
- La curva de evolución de las presiones a lo largo de la tubería.

etc.

Igualmente podrá determinarse la evolución de los humos a lo largo de la tubería y sus fugas por la galería, y en consecuencia, las condiciones óptimas para la ventilación de la labor.

Otro de los problemas que se plantea cuando se hace el disparo sin que el personal tenga que abandonar las labores, es la dilución de los humos del fondo de saco en la corriente principal, de tal manera que no afecte al personal que encuentra en el retorno de los gases.

Debido a que las concentraciones que aparecen en el frente para, por ejemplo, el caso de una galería en roca, pueden fácilmente llegar a los 1500 p.p.m. de CO y 300 p.p.m. de NO + NO₂, es necesario diluir estos humos hasta los valores admisibles, a fin de que en el retorno puedan ser respirables. Esto se hace de la siguiente forma: (suponemos ventilación aspirante).

19) Una primera dilución producida por las fugas que se incorporan a la tubería, con lo cual, los gases que salen de la misma, están menos concentrados que los

3º. En tercer lugar, el tapón que se incorpora en la galería principal se expande y al cabo de unos 200m. de recorrido, su concentración máxima queda dividida por 2.

De todos modos, esto está directamente relacionado con la relación de caudales entre la ventilación principal y la secundaria. Muchas veces, será necesario dosificar el caudal de humos que se puede aspirar.

Podremos elegir dos tipos de ventilación:

a) Si el caudal de ventilación principal es importante, el de ventilación secundaria lo podrá ser también. En este caso, se elige un potente ventilador secundario en el extremo de la conducción, y tuberías con pocas fugas. El tiempo de limpieza del fondo de saco, y por lo tanto, el de reanudación de trabajo, será muy reducido.

b) Si el caudal de ventilación secundaria no es elevado, es preciso sacrificar el tiempo de limpieza del fondo de saco, ya que el volumen de humos que aquella puede incorporar es reducido. En la instalación de ventilación secundaria pueden instalarse ventiladores en serie y permitirse fugas, al objeto de que el caudal de aire que expulsa esta conducción y su contenido en gases sea bajo.

3.4.- Resultados de pruebas prácticas

3.4.1.- Cámara de ensayos

Para las pruebas de toma de gases en fábrica, se dispone de una cámara hermética adaptada a tal fin. Esta cámara, construida en hormigón con paredes de 40 cms. de espesor, tiene un volumen interior de $4,5 \text{ m}^3$ y sus medidas son de $1,50 \times 1,50 \times 2$. Tiene en una de sus paredes una abertura de 1 m^2 , con el fin de poder entrar en la cámara, que en el momento de la explosión queda cerrada herméticamente, mediante una compuerta de acero de 5 mms. de grosor.

Esta compuerta se abre hacia el exterior, teniendo colocadas las bisagras en la parte superior, y manteniéndose abierta mediante un listón de madera de 40 cms. de longitud y una sección de $8 \times 12 \text{ mms.}$, cuyo extremo inferior se apoya en el borde de la abertura y el superior en la compuerta.

Conectado en serie con el detonador que ceba el cartucho de explosivo a ensayar, se coloca otro detonador adosado al listón, de tal manera que éste sea partido en el mismo momento de hacer explosión el cartucho. Al partirse el bastoncito, la puerta cae por gravedad, quedando cerrada la cámara perfectamente, gracias a dos trinquetes.

En la parte superior de la cámara, hay un extractor de gases para su ventilación, así como un pequeño orificio por el cual se realiza la toma de muestras de los gases.

En todas las experiencias que se realizan, la toma de muestras para la determinación de los óxidos de nitrógeno ha sido iniciada, en todos los casos, al minuto de la detonación del explosivo objeto del ensayo, ya que, como veremos más adelante, éste es el tiempo necesario para obtener una óptima homogeneización de los gases dentro de la cámara.

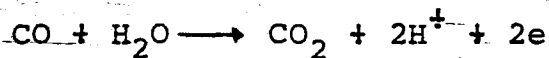
3.4.2.- Descripción de los aparatos utilizados

Para la medición del monóxido de carbono se dispone del analizador continuo UNOR-I y del 2000 series Ecolyzer.

Los componentes esenciales del 2000 series Ecolyzer son una bomba, un medidor de flujo, una válvula de ajuste del flujo, un sensor electroquímico, un filtro, circuito electrónico y medidor.

Como se indica en la figura 29 el aire entra en el aparato a través de la bomba con un flujo constante, el filtro elimina sustancias que pudieran interferir en el sensor electroquímico. El sensor trabaja electroquímicamente produciendo una corriente eléctrica de salida que es directamente proporcional al nivel de gas detectado en la atmósfera.

El monóxido de carbono es oxidado eléctricamente a dióxido de carbono en un electrodo catalizador activo de platino, en un electrolito acuoso de acuerdo con la reacción:



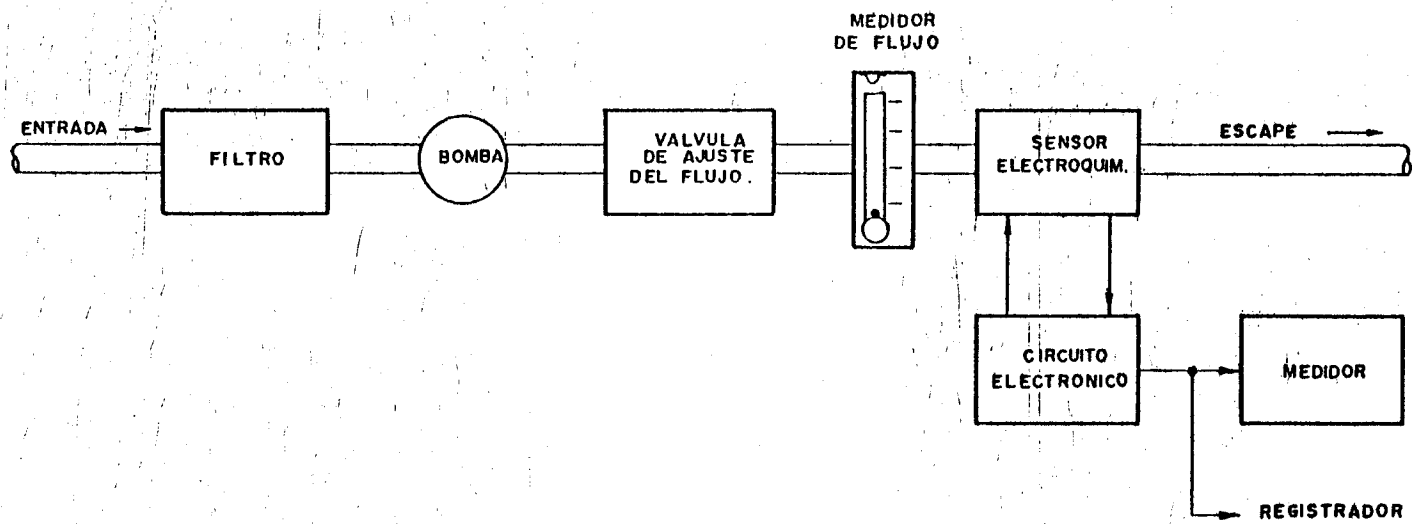


Fig. 29

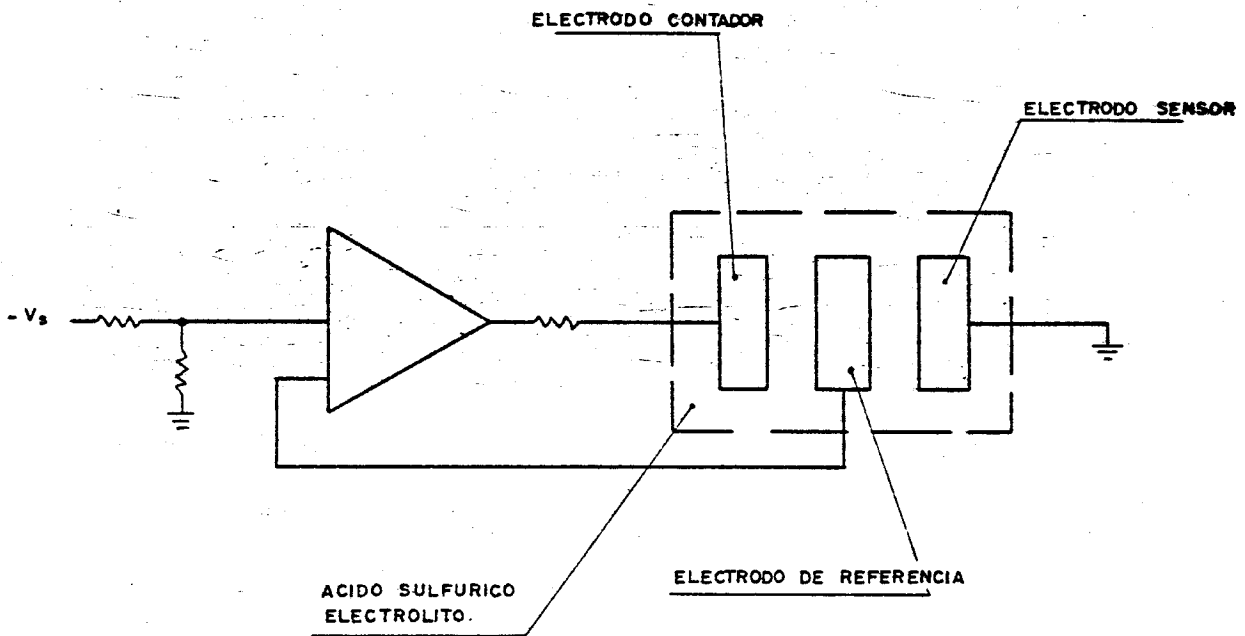


Fig. 30

En el analizador de CO este proceso se realiza en un electrodo de potencial controlado.

Este electrodo es mantenido a 0,15 V con respecto al electrodo de referencia. Bajo estas condiciones la corriente medida es el resultado de la electro-oxidación del monóxido de carbono, y es proporcional a la presión parcial del monóxido de carbono en la muestra de gas.

Como se muestra en la figura 30 el sensor electroquímico en el analizador de CO, contiene un electrodo sensor, un electrodo contador, un electrodo de referencia y una solución de ácido sulfúrico como electrolito. La electro-oxidación del monóxido de carbono ocurre en el electrodo sensor mientras que el electrodo contador actúa como cátodo donde se produce la reducción de oxígeno. La corriente producida por la oxidación electroquímica fluye entre los electrodos sensor y contador. El electrodo de referencia es necesario para la operación de mantener el potencial constante, pero no significa que la corriente fluya a través de este electrodo.

La corriente generada por el sensor electroquímico es amplificada por el medidor y visualizada en el registrador el cual da la medida directamente en partes por millón.

Para la medida automática del metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono se utiliza el analizador UNOR-1.

El fundamento de este aparato está basado en el hecho de que todos los gases (con excepción de los formados por átomos iguales) absorben radiaciones infrarrojas dentro

de un determinado intervalo de longitud de onda. El espectro de absorción de los gases aquí considerados, se encuentra en el intervalo de longitud de onda infrarrojo entre 2 y 8,4.

El medidor UNOR-1 emplea dos rayos con carácter de admisión de radiación y filtración, para lo que se sitúan consecutivamente dos cámaras receptoras en el mismo paso de los rayos. Con ello, se consigue un registro selectivo del componente gaseoso deseado, incluso en presencia de componentes perturbadores.

Hay que destacar que este aparato es muy sensible, por lo que en todos los trabajos debe procederse con riguroso cuidado y observando estrictamente las prescripciones de seguridad y las instrucciones del funcionamiento.

Para la valoración de los vapores nitrosos se utiliza el método Patty y Petty.

Los reactivos utilizados en este método son fundamentalmente tres:

- 1) ácido sulfanílico
- 2) α - naftilamina
- 3) acetato sódico

Como reactivos auxiliares utilizados en la preparación de la curva de calibrado tenemos:

- 1) nitrato sódico
- 2) sosa caústica
- 3) ácido acético

Para la toma de gases se utilizan dos torres (también se dispone de una 3ª usada como filtro) y por ellas se hacen pasar dos litros de gas producto de la voladura.

Cada torre contiene 50 cm³ de NaOH de 4g/l. El aire a analizar pasa mediante acción normal o motriz. Si es normal, a razón de 1 l/min. aproximadamente.

Una vez tomadas las muestras de gases, se recoge el contenido de ambas torres en un matraz de 250 cm³ de capacidad. El matraz estará perfectamente limpio y las torres, al vaciarlas se limpiarán con agua destilada y se soplarán las calas que tienen cada una de las torres a fin de recoger todos los óxidos que existan. El matraz se rellenará con agua destilada hasta los 250 cm³.

De este matraz se sacan 10 cm³ mediante una varilla graduada, que se pasarán a otro matraz de capacidad 100 cm³ y se le añade agua destilada hasta aproximadamente la mitad del matraz.

Se añaden entonces 2 cm³ del 1^{er} reactivo que es ácido sulfanílico y se agita; seguidamente se deja en reposo durante 10 minutos.

Transcurrido este tiempo, se añaden con las mismas precauciones del primer reactivo, 2 cm³ del 2º reactivo que es α -naftilamina y a continuación de igual forma, se añaden 2 cm³ del reactivo 3º, acetato sódico.

Se enrasa el matraz con agua destilada, completando hasta los 100 cm³ de capacidad y se deja la mezcla en reposo durante 20 minutos.

Esta mezcla final, en la que ya se han producido dos reacciones una de diazotación y otra de copulación con formación del compuesto azoico coloreado, se pasa a una cubeta y ésta al espectrofotómetro quien nos da directamente una lectura que llevada a la curva de calibrado nos dará el valor en cm^3 del equivalente a la solución tipo.

La curva de calibrado se realiza tomando 1 g. de nitrato sódico secado aproximadamente durante 10 horas en un desecador y diluyéndolo en 1 litro de agua destilada, se agregan a continuación 0,1 g. de sosa caústica y 1 cm^3 de cloroformo. De esta solución se toman 25 cm^3 y se diluyen a 1 litro. Se toman 100 cm^3 de esta solución y tras la adicción de 1 cm^3 de cloroformo se diluye de nuevo a un litro. Un cm^3 de esta solución equivale a 0,00167 mg. de NO_2 o a $8,2 \cdot 10^{-4}$ cm^3 de NO_2 en condiciones estandar, o también a 0,0025 mg. de NO_2Na .

Se toman distintas partes alícuotas y se transfieren a un matraz de 100 cm^3 . Se agregan 50 cm^3 de agua y 2 cm^3 de una solución de ácido sulfanílico. El pH de esta solución debe ser de alrededor de 1,1.

Se deja reaccionar 10 minutos y se adicionan 2 cm^3 de una solución α -naftilamina y 2 cm^3 de una disolución de acetato sódico al 10%. Se diluye a 100 cm^3 , el pH final debe estar alrededor de dos. Al cabo de 20 minutos se mide la densidad óptica mediante un espectrofotómetro en la longitud de onda 520.

Habiendo tomado partes alícuotas de la solución patrón, con los resultados obtenidos se puede trazar la curva,

que es en realidad una recta, que nos servirá para el cálculo de las mediciones que hagamos posteriormente con los gases de explosión. Para ello se colocan en abscisas cm^3 de la solución y en ordenadas unidades leídas en la escala del espectrofotómetro.

3.4.3.- Elección del tiempo para la toma de gases después del disparo.

Una vez descrita la cámara de explosión que se utiliza para las pruebas en fábrica, hemos de determinar el tiempo máximo que se debe esperar desde el momento de la explosión hasta el de la toma de muestras, de tal forma que tanto las fugas que indudablemente se producen como la rápida transformación de los óxidos de nitrógeno, no distorsionen los resultados.

Para ello se han realizado ensayos, tomando muestras de los óxidos de nitrógeno al minuto, a los cinco, diez y quince minutos, midiendo al propio tiempo la concentración de CO con el analizador continuo UNOR-1 que nos sirvió de control de la pérdida de concentración de los gases dentro de la cámara.

También, para determinar la influencia de la cantidad de explosivo, hemos hecho ensayos con 50, 100 y 150 grs. obteniendo los siguientes resultados:

Grs. de Explos.	p.p.m. de CO a:				p.p.m. de óxidos de N		
	1'	5'	10'	15'	1'	5'	10'
50	260	260	260	260	140	135	120
100	440	430	400	330	216	200	165
150	580	550	530	510	365	321	275

En estos resultados se puede observar, por un lado la gran estabilidad de CO que hace que su concentración se mantenga bastante constante con el tiempo, y por otro, la rápida disminución de la concentración de los óxidos de nitrógeno. En función de esto, hemos tomado como tiempo óptimo para la toma de muestras, el minuto.

También, y pese a que se obtienen resultados más constantes durante los 15 minutos siguientes al ensayo, con tiros de 50 g., hemos optado por emplear tiros de - 100 g.

Para estudiar más concretamente la evolución de los óxidos de nitrógeno, hemos realizado otra serie de ensayos tomando una muestra de 6 litros de gases de explosión al minuto de disparo y determinando la concentración de dichos óxidos al minuto, 15, 30, 45, 60 y 90 minutos. En estos ensayos hemos disparado 50 y 100 g. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

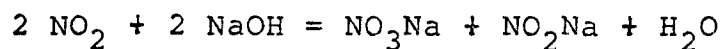
Grs. de Explosivos	p.p.m. de óxidos de Ni a los min.					
	1	15	30	45	60	90
50	124	85	51	30	20	12
100	219	169	99	36	26	12

Este resultado nos confirma un grave problema que se nos puede presentar.

En efecto, en ocasiones tenemos que esperar varias horas desde que tomamos la muestra hasta que la analizamos, podría por tanto ocurrir que los resultados no fueran en ab-

soluto fiables debido a la desaparición de gran parte de los óxidos de nitrógeno.

Esto se soluciona por la absorción de los citados óxidos por la sosa, según la reacción siguiente:



Efectivamente, si en estas condiciones tomamos una muestra y la valoramos durante 72 horas obtenemos:

p.p.m. de óxidos de nitrógeno al cabo de:

<u>1 min.</u>	<u>3,30 h.</u>	<u>4,30 h.</u>	<u>5,30 h.</u>	<u>21 h.</u>	<u>48 h.</u>	<u>72 h.</u>
355	355	355	355	355	353	350

Vemos como la valoración de los contenidos de óxidos de nitrógeno se puede hacer con exactitud en las 21 horas primeras, tiempo que da margen suficiente para tomar la muestra y realizar el análisis en el laboratorio.

4.- Efecto de las vibraciones de las voladuras en el entorno.

4.1.-Transmisión de la explosión a la roca; su forma, cantidad y control.

4.1.1.- Mecanismo de rotura

La energía química propia del explosivo se libera en el momento de la explosión en forma de productos gaseosos a alta presión y temperatura.

Esta elevada presión a que los gases someten a la roca quebranta la zona adyacente al barreno y descubre un mayor espacio a las intensas tracciones y tensiones tangenciales. Esto tiene lugar bajo la influencia de una onda de choque expansiva que recorre la roca a una velocidad de - 3000 - 5000 m/s. Alrededor de un barreno p.ej. de 40 mm. de diámetro, el espesor de la zona quebrantada es igual o ligeramente menor que el radio del mismo. El sistema de grietas radiales que como resultado de la tensión tangencial, parten del centro del barreno, llamado también rosa de grietas, se extiende hasta bastante más lejos, en el ejemplo citado puede alcanzar desde algunos centímetros hasta casi un metro.

La presión de la onda de choque, según demuestra Selberg, es en el momento de su llegada positiva, para pasar después, y rápidamente a valores negativos, lo que implica un cambio de compresión a tensión. En las inmediaciones del barreno y para distancias comprendidas entre una y dos veces el radio de aquél las fuerzas de tracción son aún mayores que las de compresión. Como la roca es menos resistente a la tracción que a la compresión las primeras grietas

se forman principalmente bajo la influencia de los esfuerzos de tracción, dando como resultado grietas radiales. El cálculo demuestra la existencia de tensiones de tracción en dirección radial a gran distancia del barreno, sin embargo en la práctica estas tensiones no tienen ningún efecto.

Durante este primer periodo de agrietamiento no hay prácticamente rotura. La presión remanente de los gases en el barreno ensancha ligeramente las grietas, pero si se estudia el contorno de la roca después de la explosión, por ejemplo, unos centímetros por debajo de la superficie de la misma y en un plano normal al taladro, sólo se encontrarán las grietas radiales. El barreno ha sido ligeramente ensanchado a poco menos que el doble de su diámetro, por quebramiento y deformación plástica. Dado que las grietas creadas, después de la voladura sufren un proceso de contracción resulta en ocasiones difícil descubrirlas a simple vista.

Generalmente en una voladura se tiene en el frente una cara libre de roca paralela a los barrenos. Cuando las ondas de compresión se reflejan contra ella, se originan fuerzas de tensión que pueden producir un descostramiento de parte de la roca próxima a la superficie. El mecanismo de tales reflexiones ha sido estudiado por Fisher, Broberg, Pettersson, Rhinehart y Duvall.

La tercera y última etapa de la rotura es un proceso lento, en ella la roca es lanzada hacia adelante por el efecto de los gases calientes de la explosión actuando sobre las grietas previamente creadas. Cuando la superficie frontal se mueve hacia adelante se descarga la presión y aumenta la tensión en las grietas primarias que se inclinan oblicuas hacia afuera. Si la línea de menor resistencia no es demasiado gran-

de muchas de estas grietas se extienden hasta la superficie libre y tiene lugar el desprendimiento completo de la roca.

En las voladuras de varias filas, la formación de grietas, dependerá de la relación entre la piedra y el espaciamiento y dependerá así mismo de la forma de iniciación de la voladura.

4.1.2.- Vibración. Tipos de ondas

Hemos visto que cuando un explosivo detona en un barreno, se generan unas ondas de esfuerzos muy intensas, en la roca circundante.

Cuando la intensidad de estas ondas disminuye de modo que no se producen deformaciones permanentes en la roca, la propagación pasa a desarrollarse de un modo elástico, lo que significa que las partículas de roca, vuelven a su posición original, una vez cesado el esfuerzo al que estaban siendo sometidas.

Físicamente, las ondas elásticas, son una perturbación en movimiento, y representan la transferencia de energía, de un punto en un medio, a cualquier otro punto.

Si el medio no es elástico en su respuesta, absorbe energía, y sólo resultan ondas amortiguadas en el área de influencia. Si el medio es elástico, la acción de las fuerzas perturbadoras, hará oscilar al sistema de sus posiciones de equilibrio, comportándose como un resorte.

Debido a la elasticidad del medio, la oscilación se transmite de una partícula a otra, y de esta a otra, hasta formar la onda que se mueve a través del medio elástico.

En el estudio teórico de la propagación de la vibración en el terreno se considera (excepto que se diga lo contrario), que dicho terreno es:

1) Elástico. Es decir que no hay una recuperación total de la forma y el tamaño, cuando cesan las fuerzas deformantes.

2) Homogéneo. Es decir que el módulo elástico, no depende de la posición.

3) Isótropo. Es decir que las propiedades elásticas son iguales en todas direcciones.

Los desplazamientos relativos de las partículas, se consideran lo suficientemente pequeños, de modo que sus cuadrados puedan considerarse despreciables.

Durante el movimiento ondulatorio, no existe movimiento de masas ni de volúmenes, ni transporte de materia.

Las partículas constituyentes oscilan o giran sólo en espacios muy reducidos y no se trasladan a través del medio.

Esto ha originado la necesidad de introducir dos tipos de velocidad:

1) De onda. (v_w), o de fase, es aquella con la que la perturbación se propaga en el medio.

2) De partícula (V_p) es aquella que define las pequeñas oscilaciones que la partícula experimenta, al ser desplazada de su posición de equilibrio, cuando la onda de energía la excita.

La velocidad de onda es generalmente mayor que la velocidad de partícula. En el análisis de las vibraciones, el parámetro indicativo es la velocidad de partícula y a él nos referiremos.

La perturbación introducida en el medio por la vibración genera un nivel energético en el seno del terreno que se puede descomponer en:

- 1) Energía cinética de movimiento de partícula.
- 2) Energía potencial de desplazamiento en el seno del movimiento ondulatorio.

Esta energía es proporcional al cuadrado de la amplitud:

$$E = K.A^2$$

A la vez que la energía se propaga en el medio, se produce un efecto de dispersión, lo que nos lleva a introducir un parámetro geométrico que refleje la energía contenida por unidad de área del frente de onda.

Para ilustrar este efecto geométrico, consideremos un medio perfectamente elástico de extensión infinita. Un foco puntual en estas condiciones, induciría on-

das esféricas. El área de estos frentes se incrementa a razón del cuadrado del radio r^2 ; siendo r la distancia del frente al foco origen de la perturbación; el flujo de energía por unidad de área decrece en razón de r^{-2} , por lo dicho anteriormente.

Un foco lineal, induciría ondas cilíndricas cuya área se incrementa en r , o bien, cuyo flujo energético por unidad de área decrece en la relación r^{-1} .

Si el foco es muy lejano, se puede decir aproximadamente que las ondas son asimilables a planos. En este caso no hay efecto de esparcimiento o dispersión como en los casos anteriores.

En la naturaleza no existen medios perfectamente elásticos, ni homogéneos, por lo que existen pérdidas adicionales de energía durante la propagación.

Existen pérdidas por absorción, las cuales hacen que se atenúe la amplitud con la distancia o con el tiempo, según una ley, generalmente de tipo exponencial.

La diferencia entre las vibraciones producidas en un medio elástico, y las de un sistema mecánico (resortes) o eléctrico (circuito LCR), es que en estos últimos sólo hay oscilaciones en el tiempo, mientras que en el primero existen oscilaciones en el tiempo y en el espacio.

Los tipos fundamentales de deformación que se pueden presentar en los cuerpos elásticos, son debidos a dos tipos de esfuerzos:

1. Compresión
2. Cizallamiento

Cada una, actúa de forma diferente en su acción sobre el cuerpo elástico, Así la compresión pura, altera el volumen pero no la forma, mientras que las fuerzas de cizallamiento alteran la forma pero no el volumen.

Estos tipos de deformación pueden transmitirse por ondas de movimiento, en el interior de un cuerpo, razón por la que se les denomina, ondas internas.

Las ondas sonoras son un ejemplo de este tipo, y se caracterizan por comprimir y expandir el medio (vibración de las partículas) en la dirección de propagación de las ondas.

Este tipo de ondas, se denominan ondas de compresión, dilatación, longitudinales, irrotacionales u ondas P (debido a que son las primeras en ser registradas, pues son las más rápidas).

El tipo de cizalla, y los consiguientes esfuerzos transmitidos al medio, se crea cuando las partículas oscilan en la dirección perpendicular a la de propagación. A éstas se les denomina, transversales, de cizallamiento, equi-volumétricas, rotacionales u ondas S (por ser las segundas en llegar al registro).

Debido a los cambios de propiedades elásticas del medio en que se propagan las ondas, se nos presentan otros tipos de ondas.

La discontinuidad más severa entre los medios en cuanto a cambio de propiedades elásticas es el contacto sólido -vacío, es decir, lo que se denomina "superficie libre", en la que el sólido no está sometido a esfuerzos por el material adyacente.

En el caso de la Tierra, esta discontinuidad se presenta en la corteza terrestre, punto donde se realizan los registros.

La teoría y la observación conjuntamente, demuestran la existencia de dos tipos de ondas de superficie, en presencia de una discontinuidad.

Las ondas superficiales principales son las ondas Rayleigh y las Love.

Las ondas Rayleigh se propagan en el plano z x , su velocidad de propagación es menor que la de las ondas Love, e imprimen a las partículas un movimiento según una trayectoria elíptica con un sentido contrario al de propagación de la onda.

Las ondas Love, dan lugar a un movimiento de partículas en dirección transversal y limitado a la superficie del terreno, la existencia de este tipo de ondas está restringida a capas del terreno en contacto con la atmósfera y bajo las cuales existan otras capas en que la velocidad de las ondas transversales sea mayor que en la capa en cuestión. Estas ondas se transmiten según un proceso de reflexiones continuas.

Pueden presentarse otros tipos de ondas superficiales de las cuales destacamos las ondas acopladas y las hidrodinámicas.

Las ondas acopladas dan lugar a un complejo movimiento de partículas y las hidrodinámicas originan un movimiento en la misma dirección y sentido opuesto a las Rayleigh.

Cuando, debajo de la superficie libre, nos encontramos con discontinuidades, límites de capas adicionales o variaciones en el medio elástico, la velocidad de propagación de las ondas superficiales, llega a ser dependiente de la longitud de onda; a este fenómeno se le conoce con el nombre de dispersión.

En la tierra, las velocidades se incrementan, normalmente con la profundidad, y el efecto de la dispersión, es desplazar el tren de ondas, esparciéndolo con las longitudes de onda mayores obteniendo de modo continuo un avance adicional sobre las longitudes de onda menores (o que originan velocidades más lentas).

Existen infinitos "modos" de propagación de las ondas superficiales en un sistema estratificado. Debido a la superposición de las ondas, una velocidad de propagación dada, puede asociarse con un infinito número de longitudes de onda.

A continuación se detallan los valores típicos de velocidad de propagación de las ondas P y S, para algunos terrenos, especificando su densidad.

MATERIAL	VELOCIDAD P m/seg.	VELOCIDAD S m/seg.	DENSIDAD gr/c.c.
GRANITO	3.960-6.100	2.100-3.350	2.67
GABRO	6.550	3.450	2.98
BASALTO	5.600	3.050	3.00
DUNITA	8.000	4.100	3.28
ARENISCA	2.450-4.250	910-3.050	2.45
CALIZA	3.050-6.100	2.750-3.200	2.65
MARMOL	5.800	3.500	2.75
CUARCITA	6.050	.-	2.85
GNEIS	5.100	.-	2.65
PIZARRA	1.830-4.000	1.100-2.300	2.35
ESQUISTO	3.650-4.450	2.870	2.80
SAL	4.400-6.500	.-	2.20
YESO	2.150-3.650	1.100	2.30
ARCILLA	1.125-2.500	580	1.40
SUELOS	150-750	90-550	1.1-2.0
ARENA	1.400	450	1.93
AGUA	1.460	0	1.00
HIELO	3.350	.-	0.90
AIRE	340	0	...
ACERO	6.100	3.050	7.70
HIERRO	5.790	3.200	7.85
ALUMINIO	6.550	3.000	2.70
HORMIGON	3.570	2.160	2.7-3.0
GOMA	1.050	27	1.15
PLASTICO	2.350	1.525	.-
CELULOSA	3.600	1.700	.-
ALUVION	500-2.000	.-	1.54
TERRENO ACARREO	400	...	1.5-2.0

4.1.3.- Cinemática del movimiento ondulatorio

La cinemática básica del movimiento ondulatorio, se puede presentar como una revisión de los conceptos del movimiento armónico.

Este movimiento viene dado por:

$$x = A. \text{sen } \omega t$$

La velocidad y la aceleración se obtienen por derivación respecto al tiempo.

$$V = \frac{dx}{dt} = A. \cos \omega t = w A. \text{sent } \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -w^2 A. \text{sen } \omega t = -w^2 A. \text{sent } (\omega t + \pi)$$

De este modo, desplazamiento, velocidad y aceleración están desfasados, presentando la velocidad un avance de 90° (o retroceso de 270°) y la aceleración un desfase de 180° (avance o retroceso).

Se puede formular otra descripción matemática del movimiento armónico, con funciones exponenciales, donde consideramos la parte real de las siguientes expresiones complejas.

$$\begin{aligned} x &= A. e^{i\omega t} \\ v &= i w A. e^{i\omega t} = i w X \\ a &= -w^2 A. e^{i\omega t} = -w^2 X \end{aligned}$$

La relación entre funciones circulares y exponenciales es:

$$e^{i\omega t} = \cos \omega t + i \text{sen } \omega t$$

Las propiedades básicas del movimiento armónico, además de las ya establecidas respecto a desfases, son:

1. La frecuencia es constante ($f = \frac{\omega}{2\pi}$)
2. La amplitud máxima es constante
3. La amplitud de pico a pico ($2A$) es constante.

El movimiento ondulatorio puede también ser expresado por desarrollos en series de Fourier.

Fourier demostró que "Cualquier movimiento periódico $F(t)$ puede expresarse como una suma de ondas armónicas".

Estas expresiones se denominan "series de Fourier" y vienen dadas por:

$$X = F(t) = a_1 \text{ sen } \omega t + a_2 \text{ sen } 2 \omega t + a_3 \text{ sen } 3 \omega t + \dots + b_0 + b_1 \text{ cos } \omega t + b_2 \text{ cos } 2\omega t + b_3 \text{ cos } 3\omega t + \dots$$

Nótese que este movimiento es una suma de uno de frecuencia fundamental (ω) y sus armónicos múltiplos ($2\omega, 3\omega, \dots$)

La ecuación anterior se puede escribir:

$$X = A_0 + \sum_{n=1} A_n \text{ sen } (n \omega t + \phi_n)$$

Fourier hizo extensiva su teoría para incluir los casos en los que el movimiento no fuera periódico.

El resultado general es idéntico que en el caso de movimientos periódicos, es decir, la vibración compleja puede ser representada por la superposición de un número determinado de vibraciones sinusoidales.

La diferencia fundamental en el caso aperiódico, es que el sumatorio se reemplaza por la integración, y todas las frecuencias se incluyen en el intervalo.

La transformada de Fourier es:

$$x = F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \cdot e^{i\omega t} \cdot d\omega$$

donde

$$f(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot e^{-i\omega t} \cdot dt$$

La función $f(\omega)$ es en general, compleja y se puede escribir que:

$$f(\omega) = R(\omega) + i \cdot I(\omega) = A(\omega) \cdot e^{i\phi(\omega)}$$

donde

$$A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)}$$

$$\phi(\omega) = \text{tag}^{-1} \left[\frac{I(\omega)}{R(\omega)} \right]$$

La función $A(\omega)$ se denomina "Espectro de Amplitudes de Fourier" y $\phi(\omega)$ es el "Espectro de Fases, de Fourier", de la función $F(t)$.

Conocida $f(\omega)$ podemos decir que:

$$R(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot \cos \omega t \cdot dt$$

$$I(\omega) = - \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot \text{sen } \omega t \cdot dt$$

Suponiendo que $F(t)$ sea un sismograma, podremos obtener, a partir de él, la amplitud y la fase $A(\omega)$ y $\phi(\omega)$, de las ondas armónicas cuya suma producirá la $F(t)$ observada.

Esto se logra, multiplicando $F(t)$ por las funciones trigonométricas y posterior integración, además de ejecutar las operaciones reseñadas en párrafos anteriores.

Las técnicas de Fourier son un instrumento matemático muy útil, pero en general no se utilizan en el registro rutinario de vibraciones.

Sin embargo constituyen una parte fundamental en el análisis vibratorio en el cual, prestan una interpretación y comprensión del fenómeno de las vibraciones complejas.

Esta interpretación se caracteriza, desde el punto de vista, de que: "Una vibración compleja es el efecto resultante de múltiples vibraciones armónicas simultáneas, cada una de las cuales tiene su amplitud y fase características"

4.1.4.- Criterios de daños

El problema que se plantea a la hora de definir el criterio de daños, es el de elegir los parámetros representativos del movimiento que de un modo significativo influyan en las perturbaciones o daños potenciales y que repercuten sobre el hombre y su propiedad.

La mayoría de los autores establecen diferencias no sólo cualitativas, sino cuantitativas en la elección de tales parámetros.

Haciendo un rápido resumen para pasar a continuación a los dos criterios más utilizados en la actualidad, diremos que existen:

a) criterios basados en la frecuencia y amplitud.

a.1.) THOENEN Y WINDES (1.942)

$$\text{ZONA SEGURIDAD } f^2 A < 10$$

a.2.) MORRIS (1.950)

$$\text{ZONA SEGURIDAD } A = K \frac{Q}{D} < 0,2 \text{ mm.}$$

a.3.) MORRIS Y WESTWATER (1.953)

ZONA URBANA	SEGURIDAD	$A < 0,202 \text{ mm.}$
ZONAS AISLADAS	SEGURIDAD	$A < 0,404 \text{ mm.}$
ESTRUCTURAS ING. CIVIL	SEGURIDAD	$A < 0,76 \text{ mm.}$
EDIFICIOS ANTIGUOS MONUMENTOS	SEGURIDAD	$A < 0,101 \text{ mm.}$

b) criterios basados en la aceleración.

b.1.) U.S. BUREAU OF MINES (1.930 - 1.940)

SEGURIDAD	$a < 0,1 \text{ g.}$
LIGEROS DAÑOS	$0,1g < a < 1 \text{ g.}$
DAÑOS	$a > 1 \text{ g.}$

b.2.) CRANDELL (1.949)

$$\text{E.R.} = a^2 / f^2$$

SEGURIDAD	$ER < 3$
PRECAUCION	$3 < ER < 6$
DAÑOS	$ER > 6$

b.3.) NODOLSKY (1.968)

$$P.S.A.A. = 16 \text{ cm./seg.}^2 \approx 0,016 \text{ g.}$$

c) criterios basados en la velocidad de partícula.

Aquí hablaremos de los dos criterios más utilizados en la actualidad.

c.1) Criterio americano

En el año 1.962 DUVAL Y FOGEBON tras constatar sus resultados con otros anteriores de Thoenen, Windes Edward y Northwood, establecen lo siguiente:

"Los movimientos ondulatorios que tienen una velocidad de partícula superior a 2 pulgadas por segundo (50 mm/seg.) presentan una gran probabilidad de dañar estructuras, mientras que si dicho valor es inferior la probabilidad es baja o muy baja.

Este criterio se estableció, porque:

- 1º. Se obtuvo por diferentes investigadores.
- 2º. Se obtuvo con aparatos de registro diferentes.
- 3º. Se obtuvo para una gran variedad de terrenos y calidades de construcción.

En la afirmación anterior existen varios factores implícitos.

- 1.- Es válido para estructuras residenciales en un estado razonable de conservación y aislamiento acústico.

- 2.- Se trata de vibraciones registradas en el terreno cercano a la estructura.
- 3.- Se trata de vibraciones producidas por voladuras.
- 4.- No se incluye el fenómeno resonancia (terreno-edificio) ni duración del movimiento, lo que influye en la fatiga.
- 5.- Es independiente de:
 - el tipo de onda.
 - la distancia.
 - la frecuencia.
- 6.- El límite se refiere a velocidad de partículas en cualquiera de las 3 componentes.

Modernamente DAVID E. SISKIND (Junto a RICHARD A. DICK) ha demostrado, que ese criterio no era seguro y en su opinión debería ser rebajado a una pulgada por segundo (25 mm/seg.) e incluso a media en muchos de los casos (12,7 mm/seg.), pues de lo contrario se corre el peligro de provocar un accidente o producir daños importantes en las estructuras.

c.2.) Criterio sueco

Los suecos, desarrollaron sus criterios de evaluación en base a las investigaciones de Langefors, Khilstrom y más recientemente Rune Gustafsson. Estos utilizan otras ecuaciones para determinar la ley de propaga-

ción de las ondas en el medio, diferentes de las empleadas por el U.S. Bureau of Mines.

El criterio sueco hace variar el nivel máximo permisible de la velocidad con el tipo de roca sobre el que se asienta la estructura. Los valores máximos de "V" los conceden a edificios cimentados en roca dura (velocidad de transmisión 4500-6000 m/s)

A continuación damos una tabla de los valores de la velocidad en función del terreno de cimentación.

GRADUACION DEL RIESGO DE DAÑOS EN EDIFICIOS RESIDENCIALES ORDINARIOS EN RELACION CON LA VELOCIDAD DE VIBRACION DEL TERRENO Y EL MATERIAL SOBRE EL QUE ESTAN CIMENTADOS LOS EDIFICIOS.

Velocidad de propagación de la onda. C (m/seg)	1000-1500 Arena, grava, arcilla bajo el nivel freático	2000-3000 Morrenas, pizarra, caliza -- blanda	500-6000 Granito, gneis, caliza dura cuarcita, arenisca, diabasa	Efecto sobre edificios - normales,	Nivel de carga para C = - 4500-6000 m/seg.
Velocidad de vibración, v (mm/seg.)	9	18	35	Sin grietas apreciables	0,008
	13	25	50		0,015
	18	35	70		0,03
	30	55	100	Grietas finas y caída de yeso (valor límite).	0,06
	40	80	150	Agrietamiento.	0,12
	60	115	225	Agrietamiento severo.	0,25

4.1.5. - Ley general de propagación de las ondas vibracionales.

El valor máximo de amplitud, velocidad o aceleración de partícula causado por una explosión, será teóricamente proporcional a la raíz cuadrada de la energía liberada por el explosivo. En forma general podemos escribir que

$$A = K.W^{1/2}$$

donde A es el valor máximo anteriormente citado y W el producto de la cantidad de explosivo por su potencia.

Debido a que parte de esta energía se pierde debido a diversos factores como p. ej.: grado de retacado, fenómenos de disipación de energía por desintegración de la roca próxima al barrenado etc. se da como expresión más aceptable para este valor máximo A la de:

$$A = K W^n \quad \text{donde } K \text{ y } n \text{ son constantes.}$$

Si consideramos la evolución del valor A con la distancia, podemos decir que decrece en relación inversa a la raíz cuadrada de la distancia la ecuación, general puede escribirse en la forma:

$$A = K. D^{-m}$$

donde D es la distancia entre el punto de medida y la voladura.

De la combinación de estas dos ecuaciones, podemos dar:

$$A = K. W^n D^{-m}$$

donde K , m y n son constantes que dependen de las condiciones geológicas del lugar de la voladura y de la forma de realizar la paga.

Tanto el criterio sueco como el americano fijan los criterios de daños en base al valor de la velocidad de vibración de partícula por tanto en ambos casos se ha tratado de obtener leyes de propagación de la citada velocidad de partícula.

El criterio americano da como expresión:

$$V = K \left(\frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^{-b}$$

donde

V es la velocidad de vibración de partícula en mm/s

D distancia de la voladura al registro en m.

Q carga por microretardo (siempre que no existan interferencias)

K, b son constantes características del terreno a determinar mediante ensayos.

El criterio sueco establece la siguiente fórmula:

$$V = K \sqrt{\frac{Q}{D}}^{3/2}$$

donde V , Q y D son los expresados anteriormente y K es una constante que depende del terreno, y que debe ser determinada mediante ensayos, si bien se conocen valores de este valor K para distintos tipos de rocas; valores que pueden constituir una primera hipótesis de trabajo.

A N E X O I

BALANCES DE OXIGENO DE LOS EXPLOSIVOS
INDUSTRIALES

En el apartado "Influencia del balance de oxígeno" vimos la importancia que éste tiene en cuanto a la producción, en mayor o menor cuantía, de determinados gases nocivos. Hemos creído, por tanto, de interés el indicar los balances de oxígeno de los distintos tipos de explosivos industriales actualmente comercializados.

TIPO DE EXPLOSIVO (DENOMINACION CATALOGO)	BALANCE DE OXIGENO % EN PESO	
GOMA 1 E-D	+1,63	
GOMA 2 E-C	+ 2,1	
GOMA 1 E-AGV	+ 3,2	
GOMA 2-BD	+ 2,41	
AMONITA 2-I	+ 2,21	
LIGAMITA 1	+ 2	
SABULITA 0	- 1,95	
EXPL. SEGURIDAD 2 BIS	+ 2,73	- 2,19
EXPL. SEGURIDAD 9	+ 2,24	+ 3,1
EXPL. SEGURIDAD 12	+ 4,6	+ 3,72
EXPL. SEGURIDAD 20 SR	+ 2,1	
NAGOLITA	+ 0,6	
ALNAFO	+ 0,05	
NAURITA	+ 1,7	
RIOGEL 0	+ 2	
RIOGEL 1	- 1	
RIOGEL 2	- 2,1	

A N E X O II

PRUEBAS REALIZADAS EN HUNOSA CON
ANTERIORIDAD AL PRESENTE TRABAJO

Mediciones efectuadas en el pozo "Carrio", propiedad de la empresa nacional Hulleras del Norte, en octubre de 1977.

Se midió en esta ocasión la concentración de gases tóxicos producidos por voladuras con Goma 2 E-C en la Galería Esteril Cerezal Izq. Sur 4ª.

La ventilación era del tipo soplante-aspirante y las mediciones efectuadas dieron los siguientes resultados:

1ª Medición

Labor: Estéril Cerezal Izq. Sur 4ª

Tipo de labor: Roca

Sección: 6,50 m²

Tipo de Explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 10 kg

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂p.p.m.</u>
3'	0,25	20	20
5'	0,25	130	50
10'	0,25	110	25
15'	-	100	18
20'	-	70	12
30'	-	50	6
40'	-	20	2
50'	-	10	-
60'	-	8	-

Fin de fase de ventilación

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂ p.p.m.</u>
70'	-	6	-
80'	-	4	-
90'	-	2	-

2º Medición

Labor: Estéril Cerezal Izq. Sur 4ª

Tipo de labor: Roca

Sección: 6,50 m²

Tipo de explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 17,5 kg

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>
3'	0,5	40
5'	0,5	60
10'	0,25	90
15'	0,15	160
20'	-	100
30'	-	75
40'	-	40
50'	-	30
60'	-	20

Fin de la fase de ventilación

70'	-	15
80'	-	8
90'	-	6

3º Medición

Tipo de explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 17,5 kgs.

Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>CO2%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO NO p.p.m.</u>
3'	0,25	30	38
5'	0,25	70	45
8'	0,25	120	50
10'	0,25	150	50
15'	0,10	120	35
20'	-	80	13
30'	-	60	10
40'	-	50	7
50'	-	35	3

Fin de la fase de ventilación.

60'	-	10	
70'	-	10	
80'	-	8	
90'	-	6	

4º Medición

Tipo de explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 17,5 kgs.

<u>Tiempo</u>	<u>CO2%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO NO p.p.m.</u>
3'	0,50	48	40
6'	0,50.	72	50
10'	0,50	140	40
15'	0,50	120	32
20'	0,10	70	20
30'	-	50	10
40'	-	35	5
50'	-	10	-
60'	-	6	-

5a Medición

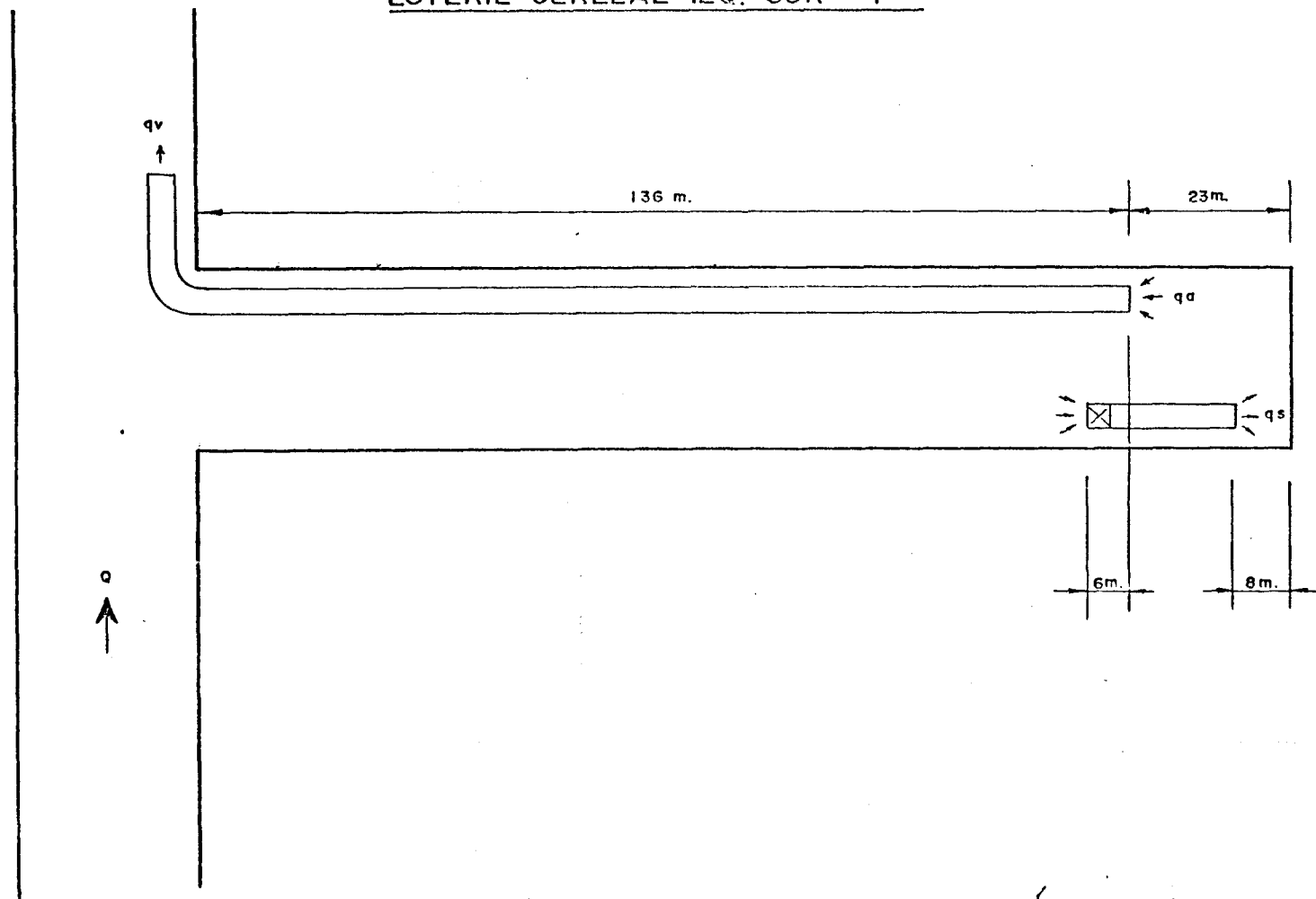
Tipo de explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 17,5 kg

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO2%</u>	<u>p.p.m. CO</u>	<u>NO+NO2 p.p.m.</u>
5'	0,25	60	40
10'	0,25	150	50
15'	0,25	160	30
20'	0,10	80	10
30'	-	75	8
40'	-	50	5
50'	-	35	2
60'	-	20	-
70'	-	10	-
80'	-	8	-
90'	-	6	-

ESQUEMA DE VENTILACION
ESTERIL CEREZAL IZQ. SUR 4^a



- CAUDALES
- $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $q_v = 0,867 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $q_s = 0,725 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $q_a = 0,658 \text{ m}^3/\text{s}.$

Mediciones efectuadas en el pozo "San Mamés", propiedad de la empresa nacional Hulleras del Norte, en octubre de 1977.

En el pozo "San Mamés", las voladuras fueron realizadas en la guía S. Gaspar 2ª Rama 6ª Planta en la que se utilizó Explosivo de Seguridad nº 20.

También se realizaron voladuras en la Galería Estéril San Gaspar 2ª Rama 6ª Planta utilizando como explosivos Goma 2 E-C y Explosivo de Seguridad nº 2.

La ventilación como en el caso anterior era sopla-nte-aspirante.

Los resultados obtenidos en las mediciones fueron los siguientes:

1ª Medición

Labor: Estéril San Gaspar 2ª Rama 6ª Planta

Tipo de labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 25 kg

Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂</u>
1'	50	Los resultados obtenidos de NO+NO ₂ fueron anulados por resultar erróneas las mediciones.
2'	120	
6'	110	
9'	80	
14'	60	
19'	40	
24'	10	
29'	7	
34'	3	

2ª Medición

Labor: Estéril San Gaspar 2ª Rama 6ª Planta

Tipo de labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de explosivo: Seguridad nº 2

Cantidad: 22,5 kg

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO p.p.m.</u>
10'	500
15'	250
20'	80
25'	30
35'	8
40'	4
45'	-

Las medidas de NO+NO₂ fueron anuladas

3º Medición

Labor: Guía San Gaspar 2ª Rama 6ª Planta

Tipo de labor: Carbón

Sección: 8,98 m²

Tipo de explosivo: Seguridad nº 20

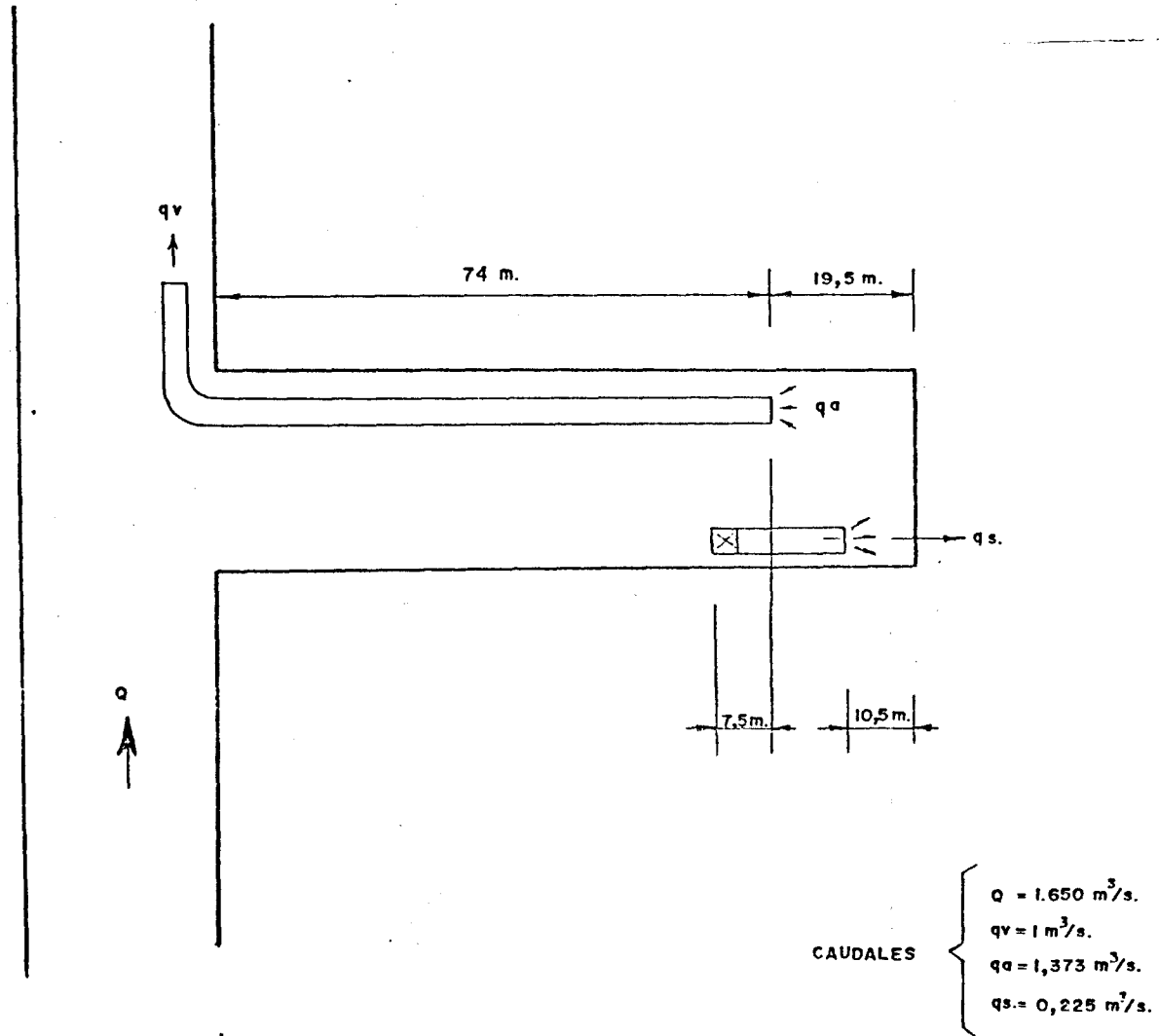
Cantidad: 22,5 kg

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂ p.p.m.</u>
5'	250	80
10'	70	60
15'	30	10
20'	10	-

ESQUEMA DE VENTILACION ESTERIL

SAN GASPAR 2^a RAMA 6^a PLANTA



Mediciones efectuadas en el pozo "Entrego",
propiedad de la empresa nacional Hulleras del Norte,
en octubre de 1977.

Las voladuras se llevaron a cabo en la Galería Esteril General Norte 1^a Rama, 9^a Planta y en la Guía S. Antonio Norte.

En la 1^a, que era en roca, se utilizó Goma 2 EC y en la 2^a que era una Guía de pie dada en carbón se utilizó explosivo S.R. nº 20.

La ventilación fue como veremos más adelante del tipo Soplante-Aspirante, utilizando tres ventiladores en la Estéril General y dos en la Guía S. Antonio. Todos ellos marca MASA.

Vamos a ver las diferentes mediciones efectuadas.

1º Medición

Labor: Estéril General Norte 1^a Rama 9^a Planta

Tipo de Labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de Explosivos: Goma 2 EC: 35 kgs.

Nº de Tiros = 51

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>
1'	0,4	1500
2'	0,7	2700
3'	0,5	1500
4'	0,4	1200
5'	0,3	1000
8'	0,2	500
11'	0,1	200
14'	-	90
17'	-	40

2ª Medición

Labor: Estéril General Norte 1ª Rama 9ª Planta

Tipo de Labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de Explosivo: Goma 2 EC: 35 kgs.

Nº de Tiros= 50

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂</u>	<u>CO p.p.m.</u>
1'	0,3	1300
2'	0,5	2600
3'	0,3	2100
4'	0,2	1800
5'	0,1	1100
8'	0	900
11'	-	500
14'	-	200
17'	-	100

3º Medición

Labor: Estéril General Norte 1ª Rama 9ª Planta

Tipo de Labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de Explosivo: Goma 2 EC, 37,50 kgs.

Tiros: 52

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>
1'	0,2	1000
3'	0,5	2500
6'	0,3	1200
9'	0,2	1000
12'	0,1	600
15'	-	200
18'	-	60
21'	-	50
24'	-	30

4º Medición

Labor: Estéril General Norte 1ª Rama 9ª Planta

Tipo de labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de Explosivo: Goma 2 EC, 37,5 kgs.

Concentración de los gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>
1'	0,3	700
3'	0,5	3000
5'	0,3	2000
8'	0,2	1000
10'	0,1	600
15'	-	300
20'	-	200
25'	-	110

5º Medición

Labor: Estéril General Norte 1ª Rama 9ª Planta

Tipo de labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de Explosivo: Goma 2 EC, 35 kgs.

Nº de Tiros: 52

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂ p.p.m.</u>
1'	0,2	500	30
3'	0,5	1500	35
5'	0,4	1100	30
7'	0,3	1000	25
9'	0,2	900	20
11'	0,1	800	20
13'	-	600	20
15'	-	500	20
17'	-	400	20

Fin de fase de ventilación

6º Medición

Labor: Estéril General Norte 1ª Rama 9ª Planta

Tipo de Labor: Roca

Sección: 8,98 m²

Tipo de Explosivo: Goma 2 EC, 37,5 Kgs.

Nº de Tiros 54

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂</u>
1'	0,4	1100	40
2'	0,5	2200	80
3'	0,4	1900	100
4'	0,3	1800	100
5'	0,2	1500	80
8'	0,1	1100	60
11'	-	500	20
14'	-	300	15
17'	-	100	12

Fin de fase de ventilación.

7ª Medición

Labor: Guía S. Antonio Norte 1ª Rama 3ª Corte 9ª

Tipo de labor: Carbón

Sección: 8,98

Tipo de explosivo: S.R. nº 20 37,5 Kg.

Nº de tiros: 40

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂</u>
1'	0,4	1600	100
2'	0,3	1200	90
3'	0,2	900	80
4'	0,1	600	60
5'	-	400	30
8'	-	200	30
11'	-	100	20
14'	-	50	10
17'	-	30	4

Fin de fase de ventilación.

<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂ p.p.m.</u>
22'	-	10	1,5
27'	-	5	1
32'	-	-	-
37'	-	-	-

Fin de recogida de escombros.

8º Medición

Labor: Guía S. Antonio Norte 1ª Rama 3º Corte 9º

Tipo de Labor: Carbón

Sección: 8,98 m²

Tipo de Explosivo: S.R. nº 20, 35 Kgs.

Nº de tiros: 42

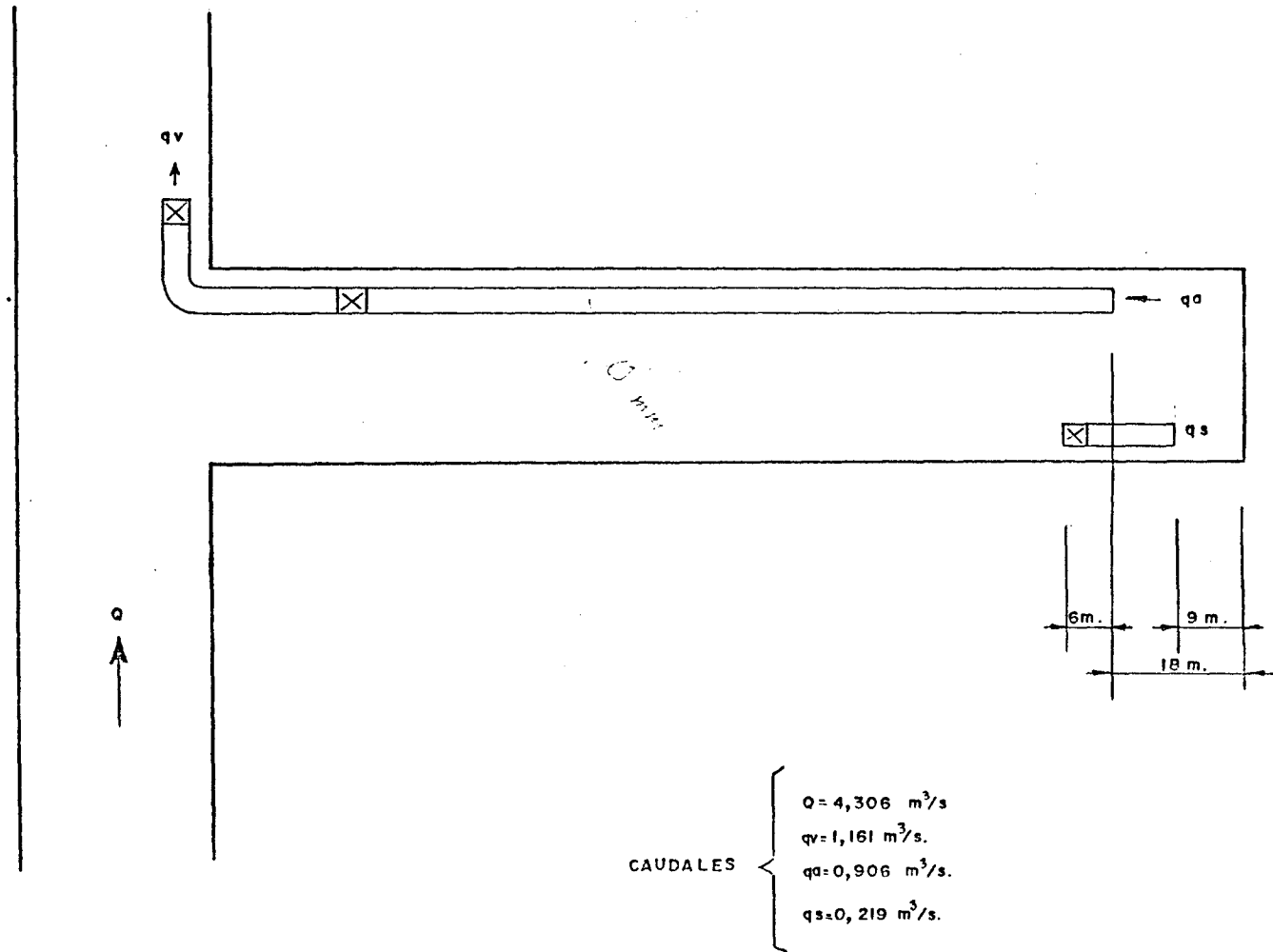
<u>Tiempo</u>	<u>CO₂%</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>NO+NO₂ p.p.m.</u>
1'	0,5	600	100
2'	0,4	1000	80
3'	0,3	800	60
4'	0,2	600	40
5'	0,1	400	30
8'	-	200	20
11'	-	100	10
14'	-	90	8
17'	-	80	5

Fin de fase de ventilación..

22'	-	30	3
27'	-	10	1,5
32'	-	5	-
37'	-	-	-

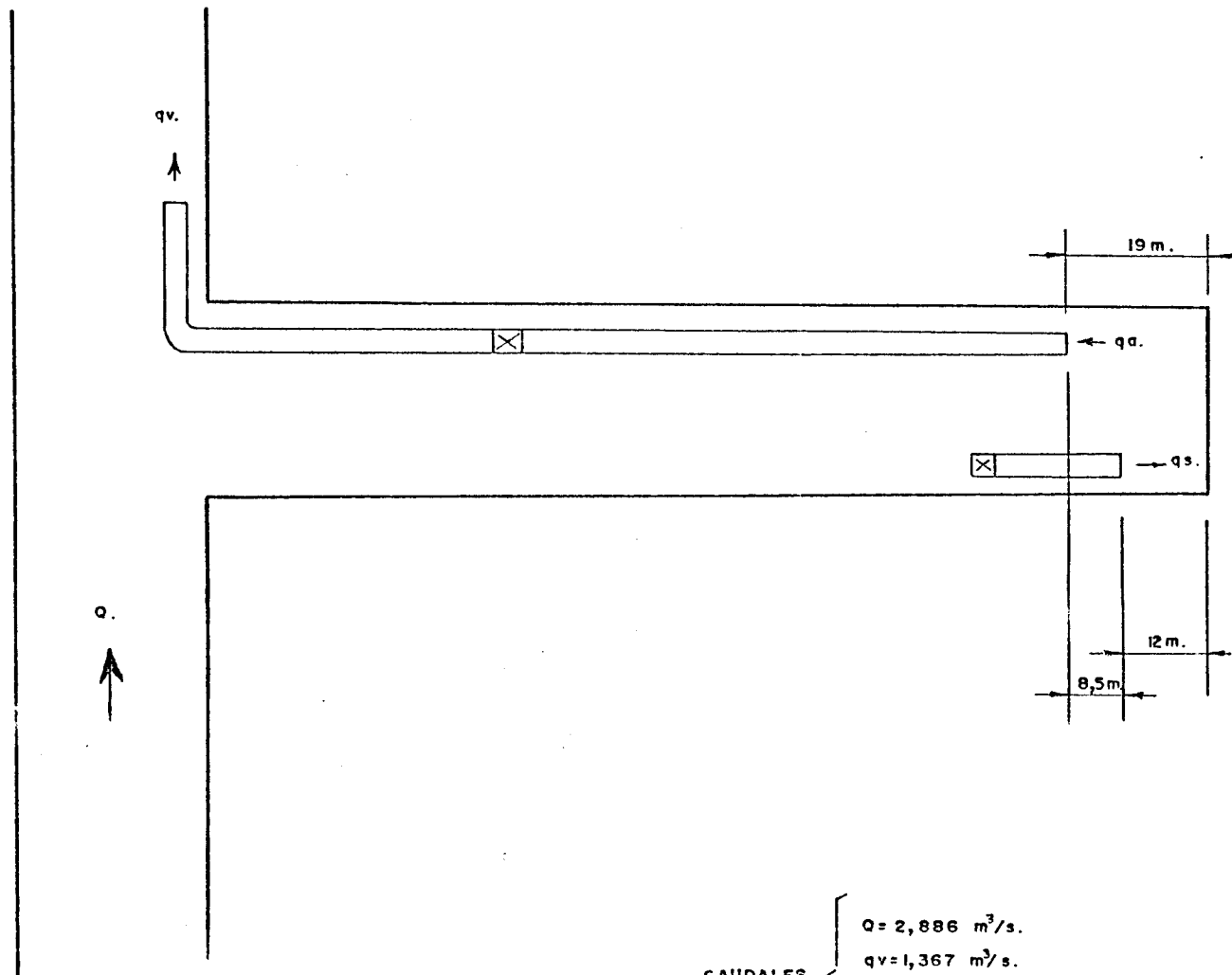
ESQUEMA DE VENTILACION ESTERIL

GENERAL NORTE 9ª PLANTA



ESQUEMA VENTILACION

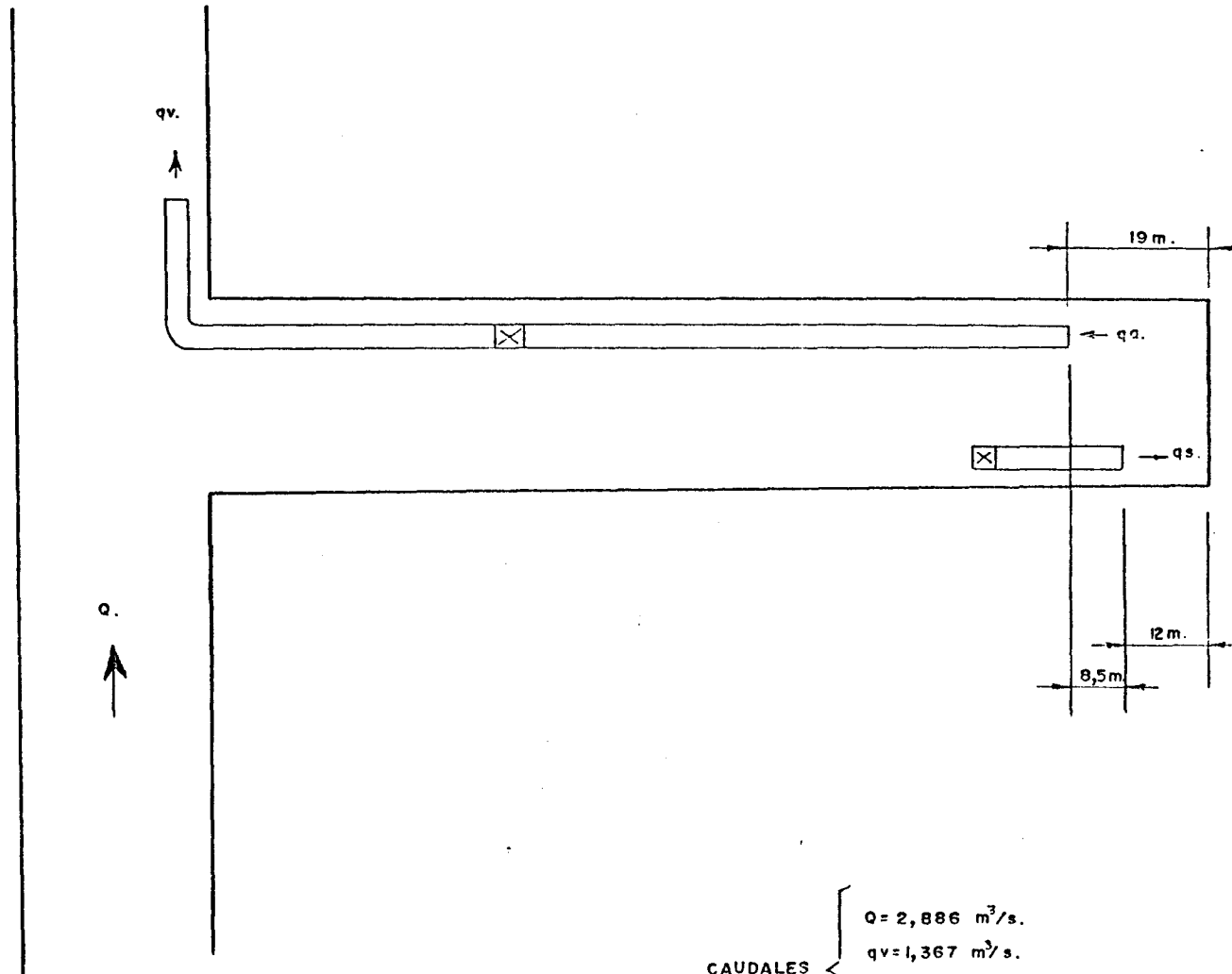
GUIA S. ANTONIO NORTE 1ª RAMA



- CAUDALES {
- $Q = 2,886 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $qv = 1,367 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $qa = 1,334 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $qs = 0,600 \text{ m}^3/\text{s}.$

ESQUEMA VENTILACION

GUIA S. ANTONIO NORTE 1ª RAMA



- CAUDALES {
- $Q = 2,886 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $qv = 1,367 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $qa = 1,334 \text{ m}^3/\text{s}.$
 - $qs = 0,600 \text{ m}^3/\text{s}.$

A N E X O III

PRUEBAS REALIZADAS EN EL POZO S. NICOLAS
DE LA EMPRESA NACIONAL HULLERAS DEL NORTE.

Con motivo del presente trabajo para la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A. se han realizado en el pozo San Nicolás de la Empresa Nacional Hulleras del Norte, S.A. una serie de mediciones de gases tóxicos producidos por voladuras, utilizando como explosivo Goma 2 E-C Riogel 2, Explosivo de Seguridad nº 9 y Explosivo de Seguridad 20 S. R. Los dos primeros se han empleado en dos galerías dadas en estéril y los dos últimos en dos guías en carbón.

Las mediciones se han realizado en dos puntos diferentes en cada voladura. En el frente de la labor en el espacio comprendido entre la boca de la tubería soplante y la boca de la aspirante, lugar éste por el que deben circular todos los gases producidos en la voladura, y en la cola de la tubería de aspiración de gases, lugar donde se produce la dilución de los citados gases en la corriente general de ventilación.

La sección disparada en las galerías donde se realizaron las pruebas era la normalizada en HUNOSA 2UA (10,5 m²) a excepción de la pega dada en la Estéril Pudinga 5^a Planta que era la 450 C (12 m²).

Los resultados de estas pruebas se indican a continuación.

Labor: Estéril 7^a Oeste 4^a Planta

Tipo de roca. Arenisca

Explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 32,5 Kg.

Nº de barrenos: 43

Estación de control. Es la tubería de aspiración. Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO₂ %</u>
3'	> 100	400	0,5
8'	>100	280	
11'	35	210	
14'			0,2
15'30"	20	70	
19'	7		0,1
21'	7	70	
24'		60	
34'	4	45	

Estación de control: En el frente.
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5'	20	> 600
10'	26	290
15'	13	150
20'	13	135
25'	6	120
30'		110
35'		90
40'		70

Labor: Estéril 7^a Oeste 4^a Planta

Tipo de roca. Arenisca

Explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 35 kg

Nº de barrenos: 45

Estación de control: En la tubería de aspiración.
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO₂%</u>
3'		0,1%	
5' 1/2		0,075%	0,5
7'	100		
9'		0,05%	
10'	78		
10' 1/2			0,3
13'	50	200	
16'	10		
18'		75	
19' 1/2			0,15
20	5	40	
25			
25' 1/2	3	25	

Estación de control: En el frente
Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5	19	585
10	19	320
15	6	170
20	6	110
25	6	72
30		56
35		63
40		57

Labor: Estéril Pudinga 5^a Planta Oeste

Tipo de roca: Pudinga

Explosivo: Goma 2 E-C

Cantidad: 42,5 Kgs.

Nº de barrenos: 55

Estación de control: En la tubería de aspiración
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO2%</u>
3'		400	
4'1/2	80		
5'			0,5
8'		500	
10'	60		
11'			0,5
14'	42	300	
18'	30		0,25
20'1/2	20		
23'		100	
24'1/2	13		0,20
27'1/2	5,5	90	
32'		70	0,10
34'1/2	8		
37'1/2	5		
39'1/2		50	
41'1/2			0,08

Estación de control: En el frente
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
10'	6,28	470
15'	19	340
20'	19	230
25'	6	170
30'	6	140
35'		120
40'		100

Labor: Estéril 7^a Oeste 4^a Planta

Tipo de roca: Arenisca

Explosivo: Riogel 2

Cantidad: 55,7 kgs.

Nº de barrenos: 46

Estación de control: En la tubería de aspiración
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO₂%</u>
4'			0,5
6'	80		
6' 1/2		150	
10'		120	0,29
11' 1/2	15		
13' 1/2		100	
19'	4	40	
25'		25	0,19
27'	3		
29'		10	
34'	2		

Estación de control: En el frente
Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5'	12	>600
10'	7	270
15'	3,5	130
20'	Inapreciable	84
25'	Inapreciable	60
30'		44
35'		49
40'		50

Labor: Estéril 7^a Oeste 4^a Planta

Tipo de roca: Arenisca

Explosivo: Riogel 2

Cantidad: 58,6 Kg.

Nº de barrenos: 48

Estación de control: En la tubería de aspiración
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO₂%</u>
1' 1/2			0,5
3'		0,1%	
4'	>100		
5'	50	400	
7'			0,4
8'	25		
9'		100	
11'			0,1

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO2%</u>
12'	20		
14'		90	0,05
15'	15		
17'	7		
21'		30	
22'	3		
26'		15	

Estación de control: En el corte.
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5'	8	>600
10'	5	380
15'	3	330
20'	2	220
25'	3	120
30'		60
35'		77
40'		100

Labor: Guía 14 Oeste 3^a Planta

Tipo de roca: Pizarra, con capa de carbón de
1,5 m de potencia.

Explosivo: E.S. Nº 9

Cantidad: 22,5 kg

Nº de barrenos: 41 tiros

Estación de control. En la tubería de aspiración
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO₂%</u>
1'1/2			
2'1/2			
3'1/2		100	
4'	80	90	
6'	40		1
7'1/2		100	
9		80	
12'	18		
13'		80	
16'	10		
17'			0,9
18'		70	
22'	7	60	
24'		60	
27'		60	
30'	7		
32'		50	1
37'		50	
42'	6	50	1
47'		55	
52'	5		1

Estación de control. En el frente
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5'	7	> 500
10'	8	280
15'	1	200
20'	Inapreciable	140

25'	Inapreciable	140
30'	8	120
35'		130
40'		130

Labor: Guía 14 Oeste 3^a Planta

Tipo de roca: Pizarra con capa de carbón de 1,5 m de potencia

Explosivo: E.S. No 9

Cantidad: 25 kgs.

No de barrenos: 46

Estación de Control: En la tubería de aspiración.
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO2%</u>
1'		110	
2'		210	
2' 1/2	60		
5'		210	0,6
6'	50	200	
10'	25'		
11'		170	
14'	18	135	0,6
16'	10		
17'		100	
19'	8		
21'			0,6
23'		93	
24'	7		
26'		89	
31'		85	0,6
34'	5	79	
42'	4	75	

Estación de control: En el frente
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
3'	4	390
8'	1	260
14'	1	180
19'	Inapreciable	140
24'	Inapreciable	135
29'	2,5	130
34'		130
39'		115

Labor: Guía 14 Oeste 4^a Planta

Tipo de roca: Pizarra, capa de carbón de 70 m
de potencia.

Explosivo: 20 S.R.

Cantidad: 30 kg

Nº de barrenos: 43

Estación de control: En la tubería de aspiración

No se pudieron tomar medidas porque el ambiente
era irrespirable.

Estación de control: En el frente
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5'	15	600
15'	1,5	200
25'	1,5	89
35'	1,5	50
45'	Inapreciable	45
55'	Inapreciable	34
60'	Inapreciable	38

Labor: Guía 14 Oeste 3^a Planta

Tipo de roca:

Explosivo: 20 S.R.

Cantidad: 27,5 Kg.

Nº de barrenos: 44

Estación de control: En la tubería de aspiración

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO₂%</u>
2'		200	
4'			0,7
5'	60	240	
10'		160	
12'			0,5
15'		60	
20'		48	
22'	8		
24'			0,5
25'	6	60	
30'		44	
35'	3	43	0,45
40'		36	
45'	1	29	

Estación de control: En el frente

Concentración de gases producidos

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5'	5,5	420
15'	2	180
25'	1	110
35'	Inapreciable	75
45'	Inapreciable	54
55'	Inapreciable	46
60'	Inapreciable	34

Labor: Guía 14 Oeste 3^a Planta

Tipo de roca: Pizarra, con capa de carbón de 1,5 m de potencia.

Explosivo: S.R. nº 20

Cantidad: 30 kg.

Nº de barrenos: 45

Estación de control: En la tubería de aspiración
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>	<u>CO₂%</u>
3'	80	200	0,5
6'		190	
9'	40		0,6
11'		140	
15'	15		
18'	13	87	0,5
23'	7	60	
30'		49	0,4
33'	5		
37'		49	
43'	3	40	0,55
46'		36	

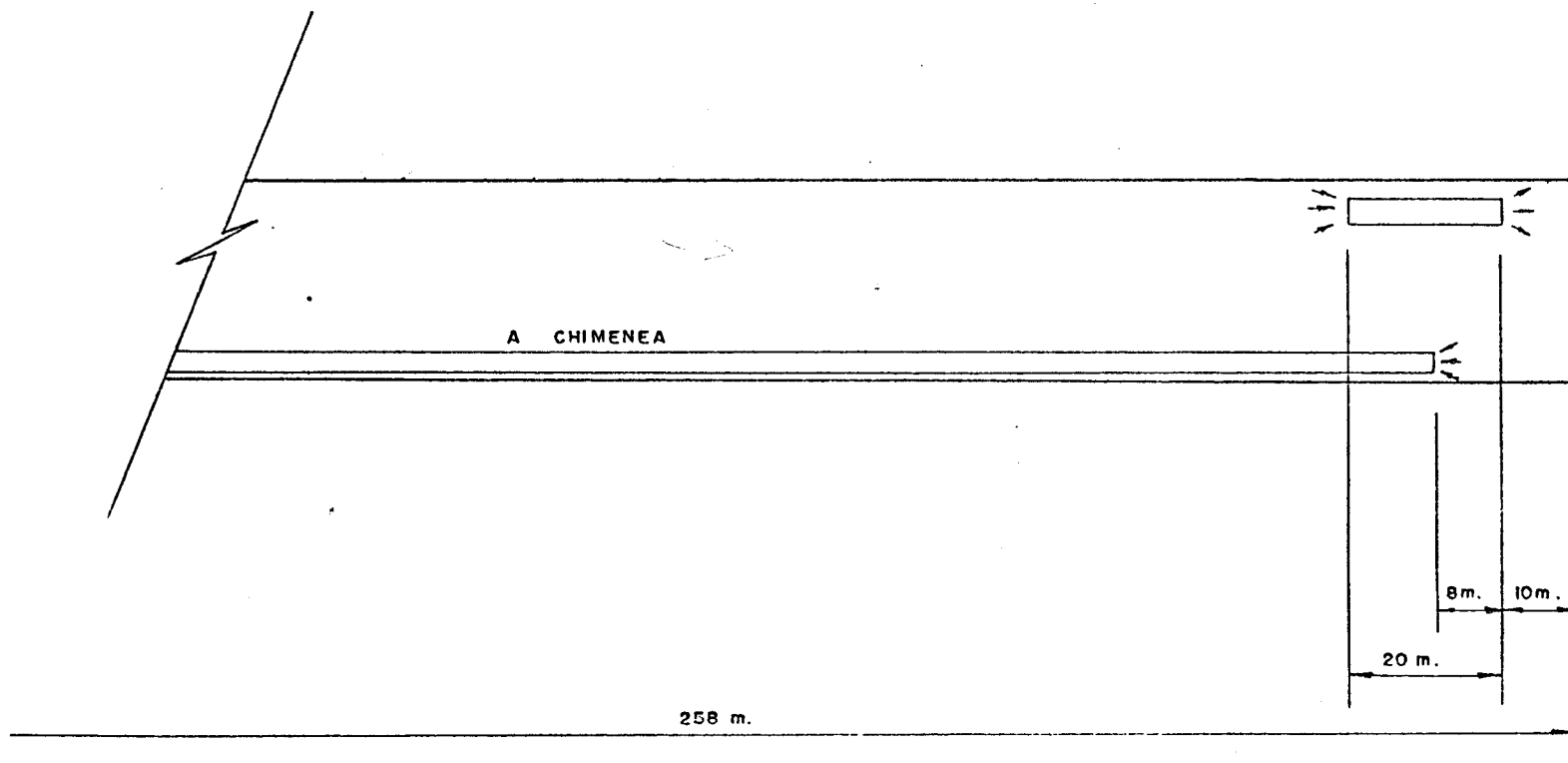
Estación de control: En el frente.
Concentración de gases producidos.

<u>Tiempo</u>	<u>NOx p.p.m.</u>	<u>CO p.p.m.</u>
5'	15	450
15'	5	275
25'	2,5	110
35'	2	95
45'	3	72
55'	3	54
60'		47
65'		46

Mal,

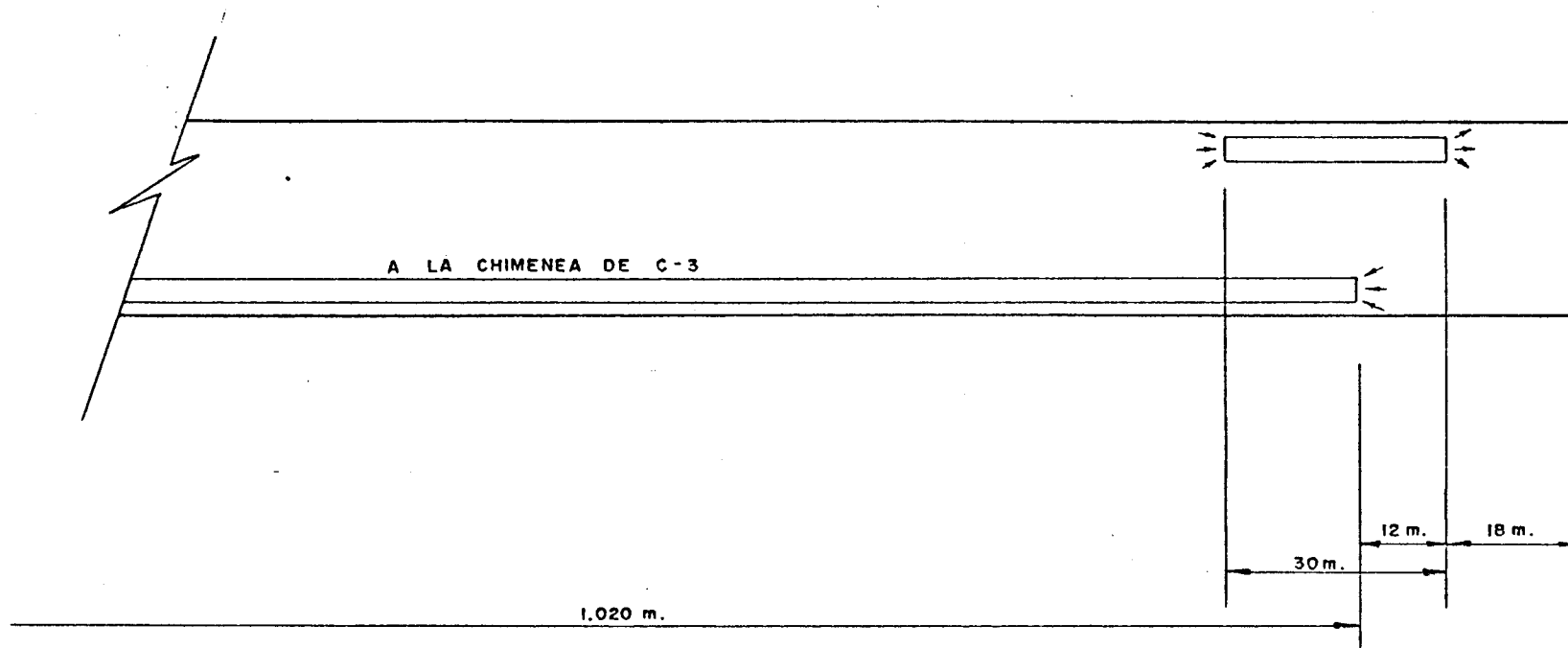
Los valores anteriormente indicados fueron obtenidos mediante el método Patty Petty para la determinación de óxidos nitrosos y mediante el Eco-lyzer para la medición del monóxido de carbono en lo que concierne a mediciones realizadas en el frente. Para las mediciones en la tubería de aspiración se han utilizado los correspondientes tubitos Draguer. Como es sabido con el procedimiento de tubos Draguer la medición no se puede realizar instantáneamente, sino que se deben dar una serie de envoladas variables para cada concentración y para cada tipo de gas a analizar, es por esto que las medidas no se han realizado siguiendo tiempos predeterminados, como es el caso de las realizadas en el frente.

ESQUEMA DE VENTILACION
ESTERIL 7^oOESTE 4^d PLANTA.



CAUDALES	{	TURBINA ASPIRANTE	1,526 m ³ /s.
		" IMPELENTE EN CABEZA	1,216 m ³ /s.
		" " EN EL CORTE.	0,980 m ³ /s.

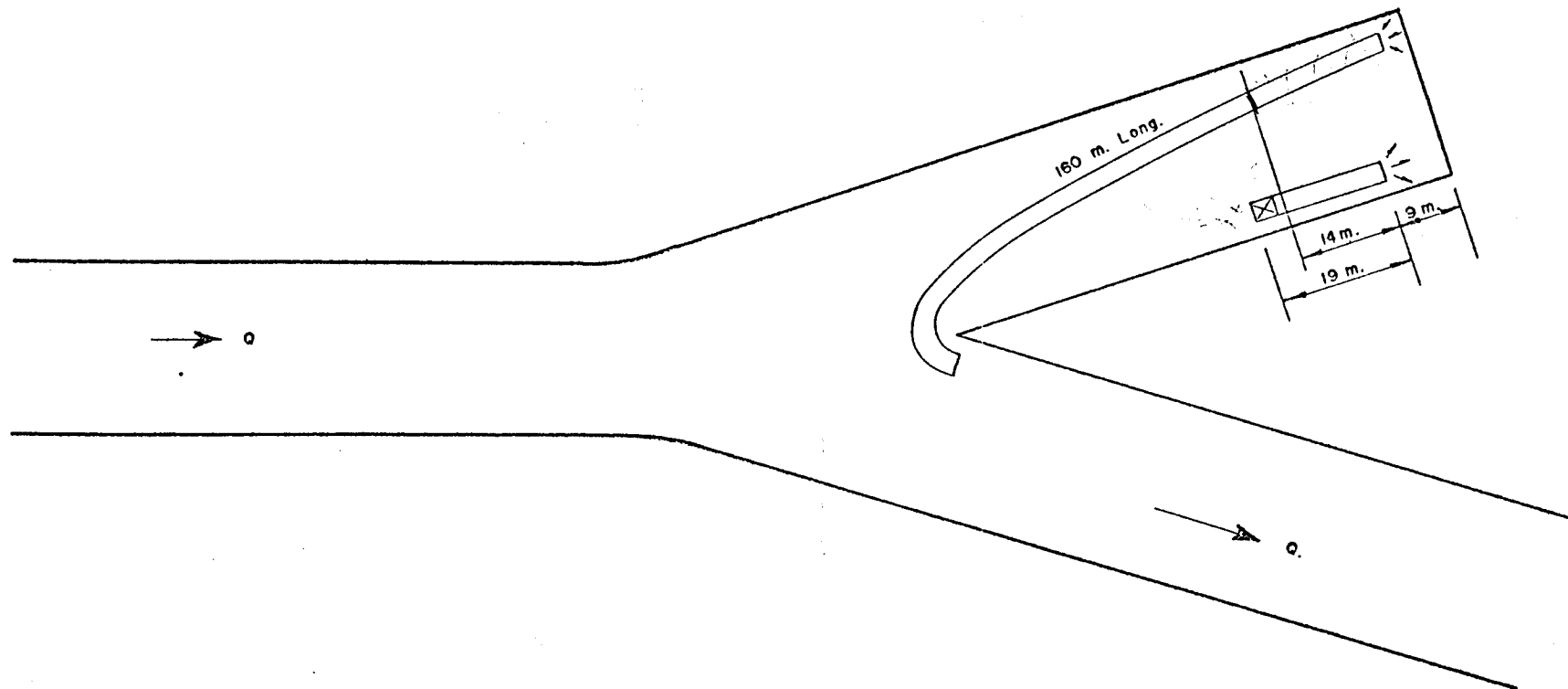
ESQUEMA DE VENTILACION
ESTERIL PUDINGA 5^a PLANTA OESTE



CAUDALES	{	TURBINA ASPIRANTE EN EL CORTE	0,989 m ³ /s.
		" IMPELENTE " " "	3,8 m ³ /s.
		" " EN LA COLA	4,5 m ³ /s.

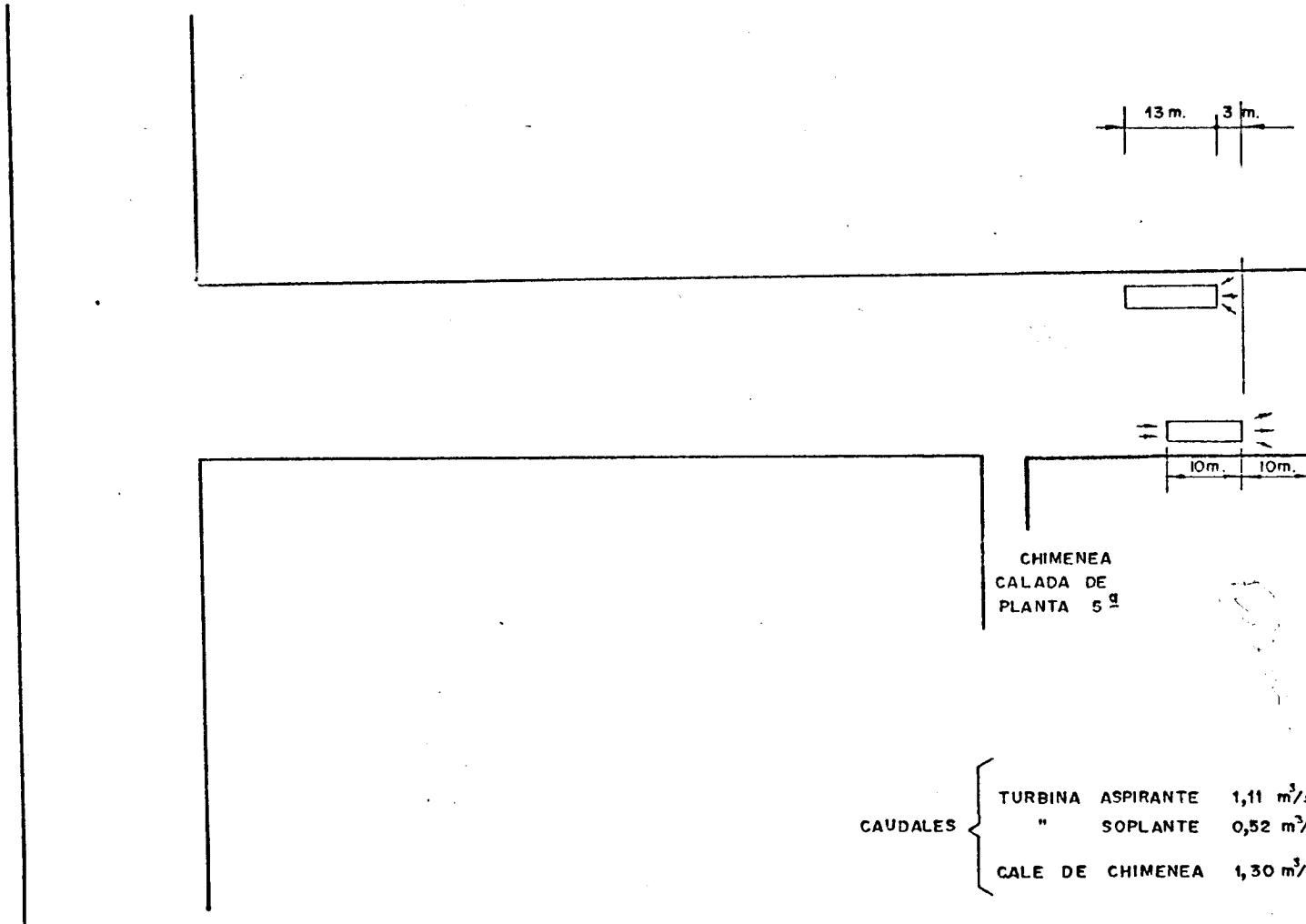
ESQUEMA DE VENTILACION

GUIA 14 OESTE 3^a PLANTA



CAUDALES	{	TURBINA ASPIRANTE	0,549 m ³ /s.
		" IMPELENTE	0,635 m ³ /s

ESQUEMA DE VENTILACION
GUIA 14 OESTE 4ª PLANTA



A N E X O IV

MEDIDAS DE VIBRACIONES PRODUCIDAS POR
VOLADURAS

Correspondiente al apartado "Efecto de las vibraciones de las voladuras en el entorno" se han realizado una serie de mediciones en una de las explotaciones que la empresa Antracitas de Velilla, S. A. tiene en el término municipal de Velilla del Río Carrión.

Los registros se han realizado en el techo de la Capa Victoria 316 Norte dándose las voladuras en el Galería de pie de dicha explotación.

La capa de antracita Victoria tiene una potencia media de 80 m con un buzamiento de 32°. El techo de dicha capa está formado por pizarra y arenisca.

La capa es explotada siguiendo un frente único, con dos galerías una de cabeza que sigue la dirección de la capa, y que se utiliza para explotación y otra de pie que sigue un carbonero que se mantiene a una distancia de 25 m de la capa. La galería de pie, no se lleva por la capa por los problemas que ello conlleva.

De esta galería de pie se dan contraataques de longitud aproximada 12 m y buzamiento 40°, que cortan a la capa, y que sirven para ventilación y evacuación del carbón (fig. 1).

La situación del geófono en la explotación es la indicada en la fig. 2.

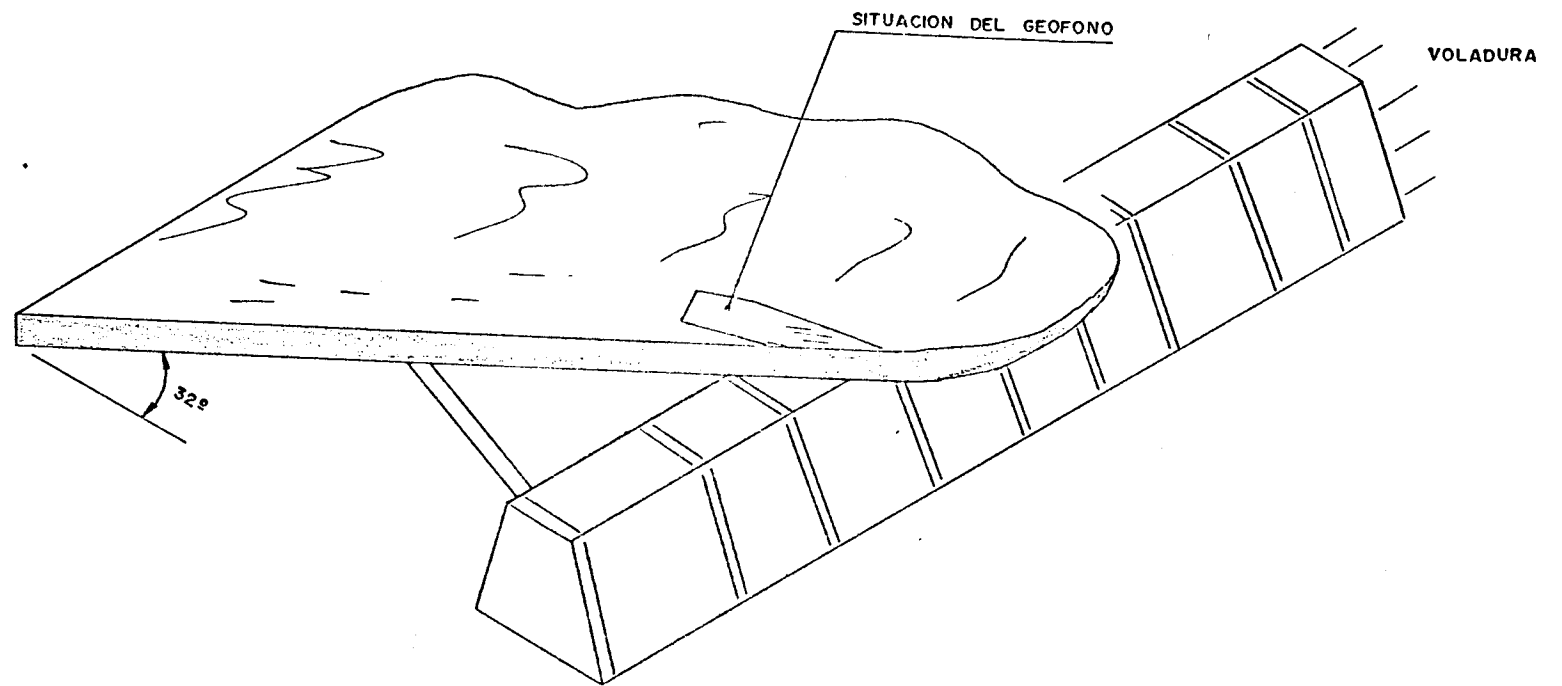


Fig.1

CAPA VICTORIA 316 NORTE

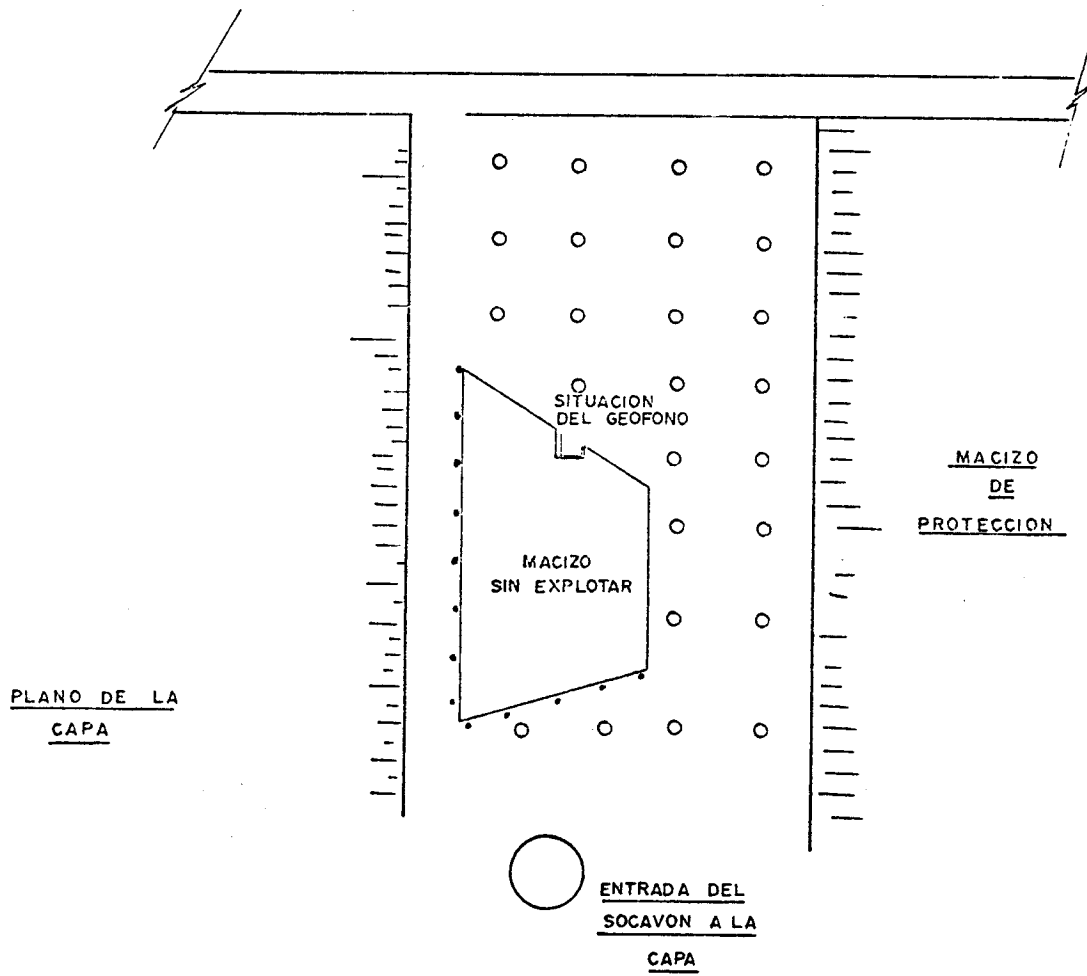


Fig. 2

Para la ejecución de la hornacina se ha dejado un pequeño macizo de protección en uno de cuyos bordes (véase figura 2) se realizó un hueco de suficiente volumen para la colocación del sensor del sismógrafo y dejando una distancia entre el contacto del techo y la capa y la base de la hornacina creada de aproximadamente 20 cm.

La galería de pie, lugar en el cual se dan las voladuras de registro, va en la actualidad por delante de la explotación 160 m. lo que hace que la distancia total del lugar de la voladura al lugar de colocación del registrador sea de 162,5 m.

Esta distancia unida a la reducida cantidad de explosivo utilizada (del orden de 20 kgs por pega) hacen que las velocidades de vibración registradas sean muy pequeñas.

Las características de la labor disparada son las que se indican a continuación:

1^a Voladura

Sección 8 m²

Tipo de roca: Pizarra con intercalaciones de espato calizo y arenisca y un carbonero.

Esquema de tiro: El indicado en la figura 3.

Tipo de iniciación: Detonadores eléctricos sensibles de retardo.

Números de retardo:

Nº 1 - 3 barrenos

Nº 2 - 7 barrenos

Nº 3 - 5 barrenos

Nº 4 - 1 barreno

Nº 5 - 7 barrenos

Tipo de explosivo: Goma 2 E-C (26 x 200 mm.)

Cantidad: 20 kgs

Disposición:

Barrenos de retardo 1 - 15 cartuchos

Barrenos de retardo 2 - 47 cartuchos

Barrenos de retardo 3 - 28 cartuchos

Barrenos de retardo 4 - 6 cartuchos

Barrenos de retardo 5 - 42 cartuchos

Distancia voladura - geófono - 162,5 m

2^a Voladura

Sección: 8 m²

Tipo de roca. Pizarra con intercalaciones de espato calizo y arenisca, y un carbonero.

Esquema de tiro: El indicado en la figura 4.

Tipo de iniciación: Detonadores eléctricos sensibles de retardo.

Números de retardo:

Nº 1 - 4 barrenos

Nº 2 - 3 barrenos

Nº 3 - 5 barrenos

Nº 4 - 7 barrenos

Nº 5 - 7 barrenos

Tipo de explosivo: Goma 2 E-C (26 x 200 mm.)

Cantidad: 19,8 kgs

Disposición:

Barrenos de retardo 1 - 20 cartuchos

Barrenos de retardo 2 - 15 cartuchos

Barrenos de retardo 3 - 25 cartuchos

Barrenos de retardo 4 - 35 cartuchos

Barrenos de retardo 5 - 42 cartuchos

Distancia voladura-geófono - 164 m

La perforación se realiza con martillo en mano en diámetro 39 mm y longitud 1,60 m.

NOTA:

NUMERADOR DEL QUEBRADO INDICA EL N° DE RETARDO.

DENOMINADOR INDICA EL N° DE CARTUCHOS.

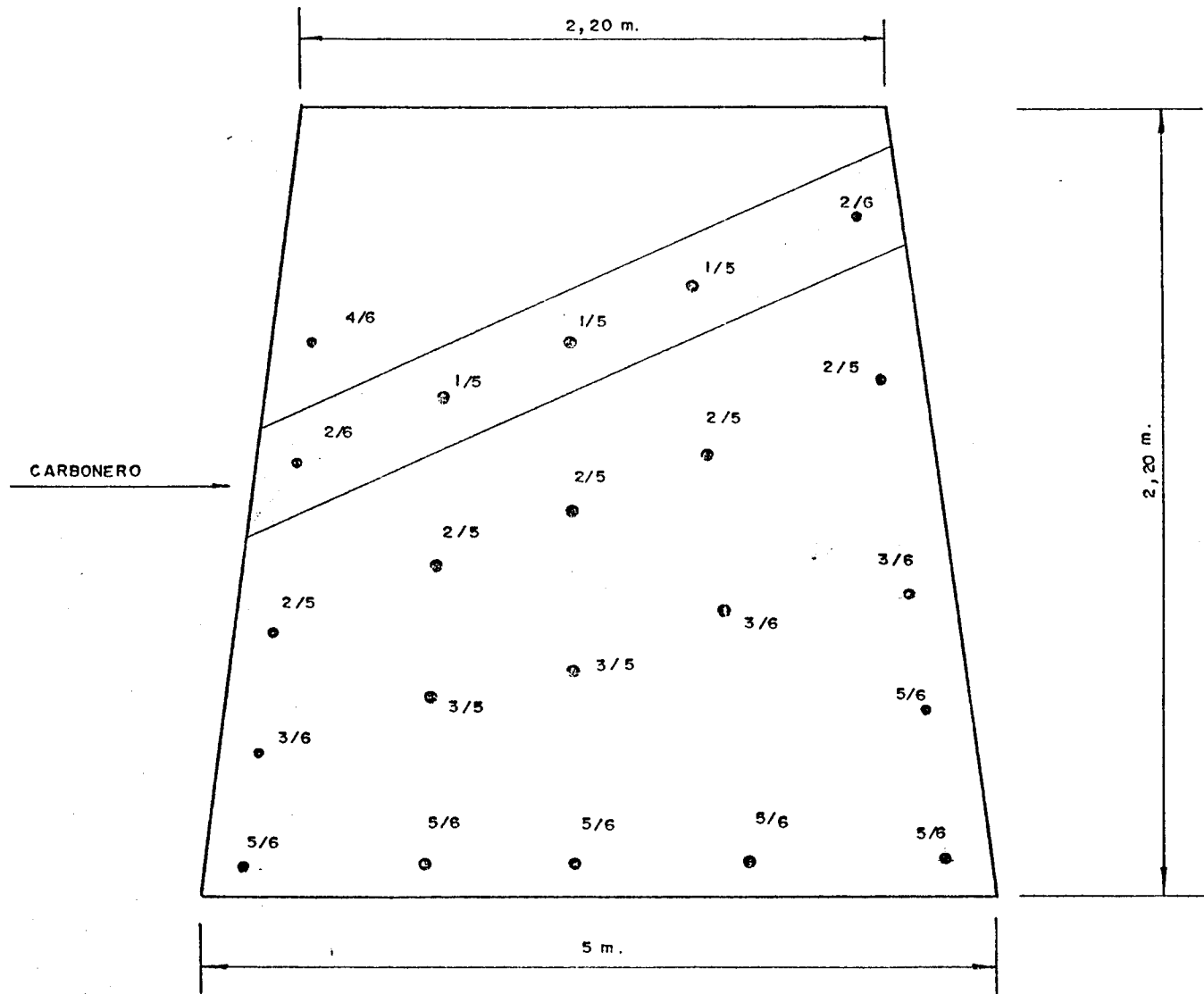


Fig. 3

NOTA:

NUMERADOR DEL QUEBRADO INDICA EL N° DE RETARDO.

DENOMINADOR INDICA EL N° DE CARTUCHOS

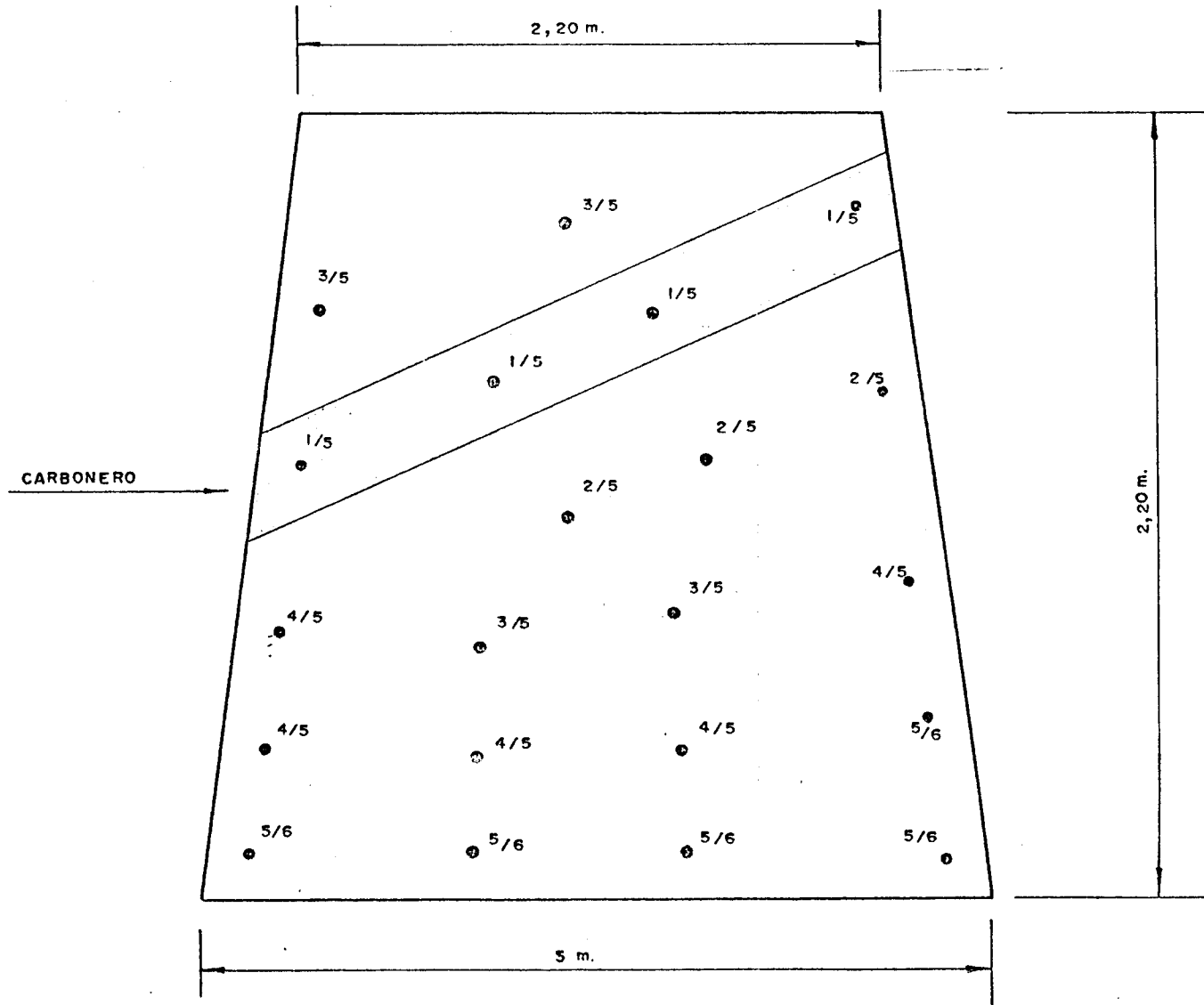


Fig. 4

El sismógrafo utilizado en las pruebas ha sido un Sprengnether VS1100, con un geófono colocado en la zona anteriormente indicada, que registra sobre papel fotosensible las tres componentes longitudinal, transversal y vertical de la velocidad de vibración de partícula.

En la primera de las pruebas se ha utilizado la escala 5 por tanto para obtener la velocidad de partícula se debe dividir la semiamplitud del registro por 5.

En la segunda se ha utilizado la escala 20 con lo que al estar el movimiento amplificado en 20 veces para obtener la velocidad de partícula real se debe dividir la lectura del registro por 20.

En ambos casos se han realizado las mediciones con una velocidad de salida del papel de 100 mm/s, dato éste que nos permite conocer la frecuencia del movimiento.

De los registros obtenidos en las dos voladuras medidas, se desprende que las velocidades de vibración de partícula son muy reducidas. Ello es debido de una parte a las bajas cargas que se disparan en estas voladuras (agravado este problema por la prácticamente nula cooperación entre cargas de barrenos de un mismo número de retardo) y a la distancia voladura-lugar de registro.

Estas elevadas distancias son debidas a dos razones que veremos a continuación que obligan a que actualmente, el personal de Antracitas de Velilla esté

más dedicado a las labores de preparación que a las de extracción.

De la producción total de antracita la citada empresa destina un tanto por ciento elevado a la venta a la central térmica Terminor, la cual no se ha acogido a los préstamos oficiales para la compra de carbón y por tanto únicamente adquiere lo necesario para el consumo inmediato, y el resto a la venta a particulares que actualmente está en un bajo momento. Ante estas circunstancias la Dirección de la mina ha optado por crear las condiciones necesarias para que en el momento en que la demanda del producto sea mayor estar en disposición de cubrirla.

Se han registrado dos voladuras, dadas los días 25 y 26 de enero, la correspondiente al día 27 no se pudo dar dadas las adversas condiciones meteorológicas de la zona que llevaron al corte del suministro eléctrico a la mina durante todo el citado día; y el consiguiente paro de los compresores estáticos accionados por motores eléctricos que abastecen de aire comprimido la explotación. Ante esta circunstancia y su previsible continuidad, se ha dado por concluida la campaña de medición de vibraciones producidas por voladuras.

Características de los registros obtenidos

En el primer registro, correspondiente a la voladura que se dió siguiendo el esquema de la figura 3, se pueden apreciar siete oscilaciones de las cuales, las dos primeras creemos corresponden a las cargas iniciadas con detonadores de retardo del número 1, la tercera a las cargas iniciadas con detonadores del número 2, la cuarta a las cargas iniciadas con el número 3, la quinta al barreno iniciado con retardo número 4 y las dos últimas a las cargas iniciadas con los detonadores del número 5. Esto es debido a que las dispersiones más elevadas de tiempos se deben producir lógicamente en los tiempos más altos de retardo, por este motivo la sexta oscilación que se aprecia en el sismograma pensamos corresponde a las cargas iniciadas con el número 5.

Por la misma razón anteriormente expuesta consideramos en la segunda voladura correspondiente a la figura 4 que la primera, segunda y tercera oscilaciones corresponden a las cargas iniciadas con detonadores de los números 1, 2 y 3, las dos siguientes oscilaciones corresponderían a las cargas iniciadas con los detonadores del número 4 y las dos últimas a detonadores del número 5.

1a Voladura - Componente Longitudinal

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a
	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación
Frecuencia (Hz)	125	120	133	133	125	125	166
Periodo (s)	0,008	0,008	0,007	0,007	0,008	0,008	0,006
Velocidad (mm/s)	0,18	0,16	0,26	0,20	0,15	0,20	0,20
Aceleración (g)	0,014	0,012	0,022	0,017	0,012	0,016	0,021
Amplitud (mm)	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$

1a Voladura - Componente Vertical

	1a Oscilación	2a Oscilación	3a Oscilación	4a Oscilación	5a Oscilación	6a Oscilación	7a Oscilación
Frecuencia (Hz)	125	133	145	133	133	125	150
Periodo (s)	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,007
Velocidad (mm/s)	0,20	0,16	0,30	0,20	0,12	0,20	0,20
Aceleración (g)	0,016	0,014	0,028	0,017	0,010	0,016	0,019
Amplitud (mm)	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$

1a Voladura - Componente Transversal

	1a Oscilación	2a Oscilación	3a Oscilación	4a Oscilación	5a Oscilación	6a Oscilación	7a Oscilación
Frecuencia (Hz)	122	125	145	141	125	125	133
Periodo (s)	0,0082	0,0080	0,0069	0,0071	0,0080	0,0080	0,0075
Velocidad (mm/s)	0,20	0,18	0,4	0,28	0,2	0,28	0,24
Aceleración (g)	0,016	0,014	0,037	0,025	0,016	0,022	0,020
Amplitud (mm)	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$

2a Voladura - Componente Longitudinal

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a
	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación
Frecuencia (Hz)	120	110	142	116	112	90	92
Periodo (s)	0,008	0,009	0,007	0,009	0,009	0,011	0,011
Velocidad (mm/s)	0,09	0,105	0,10	0,10	0,105	0,15	0,10
Aceleración (g)	0,007	0,007	0,009	0,007	0,007	0,009	0,006
Amplitud (mm)	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$

2a Voladura - Componente Vertical

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a
	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación
Frecuencia (Hz)	138	133	163	147	133	142	131
Periodo (s)	0,007	0,007	0,006	0,007	0,007	0,007	0,008
Velocidad (mm/s)	0,213	0,18	0,17	0,125	0,15	0,175	0,188
Aceleración (g)	0,019	0,016	0,018	0,012	0,013	0,016	0,016
Amplitud (mm)	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$

2a Voladura - Componente Transversal

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a
	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación	Oscilación
Frecuencia (Hz)	120	113	120	133	116	105	94
Periodo (s)	0,008	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,011
Velocidad (mm/s)	0,125	0,11	0,125	0,130	0,11	0,125	0,125
Aceleración (g)	0,010	0,008	0,010	0,011	0,008	0,008	0,008
Amplitud (mm)	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$

ANEXO V

MEDIDA DE CONCENTRACION

DE VAPORES NITROSOS

Con motivo de las anormalidades observadas en las medidas de concentraciones de vapores nitrosos efectuadas en la campaña de medición de gases tóxicos producidos por voladura, realizada el pasado mes de enero en el pozo San Nicolás de HUNOSA, se ha realizado una nueva campaña de medidas, en esta ocasión en la cola de la tubería de aspiración.

La razón de esta nueva campaña fue la de haber encontrado en la anterior unas diferencias notables entre las medidas efectuadas en el corte mediante el método Patty Petty y las realizadas en la cola de la tubería de aspiración, mediante el procedimiento Draguer.

Dado que las medidas tomadas en el corte fueron realizadas por personal de las brigadas de salvamento de HUNOSA, dotados de equipos autónomos, personal que lógicamente no está especializado en realizar este tipo de trabajo, se optó en esta segunda campaña por realizar una única estación de medida y situar ésta en un lugar donde las medidas se pudieran realizar por nuestro propio personal, sin necesidad de utilizar equipos autónomos (cola de la turbina de aspiración).

Las tomas de los gases producidos en la voladura se han hecho en dos galerías, una en estéril, la "Pudinga 4a planta" y otra una guía la "14 Oeste 3a planta" con una capa de carbón de aproximadamente 1 metro de potencia.

Las mediciones se han realizado tomando las muestras a la altura del eje de la tubería y se han hecho simultáneamente con tubos Draguer para la determinación de NO y NO₂ como suma de ambas, y por el método Patty Petty

haciendo pasar 2 litros de gas por dos lechos de NaOH y cuidando meticulosamente la hermeticidad de todas las uniones a fin de no alterar los resultados pues se trabajó en todo momento con bombas de aspiración. Así mismo se han contrastado diariamente los aparatos con una solución de 0,00169 mg de NO_2 /cc al objeto de asegurarse de la veracidad de las mediciones realizadas.

Se ha procurado también que las fugas de las tuberías de aspiración fueran reducidas en la mayor medida posible.

Las características de las pegas en las cuales han sido medidos los gases de voladura, son las siguientes:

1a Voladura

Labor: Esteril pudinga 4a planta zona Oeste

Número de barrenos: 45

Iniciación: Detonadores eléctricos de retardo

Explosivo: 35 Kg. de Goma 2 E-C

Tipo de cuele: Sarrois

Sección: 10 m²

2a Voladura

Labor: Esteril pudinga 4a planta zona Oeste

Número de barrenos: 47

Iniciación: Detonadores eléctricos de retardo

Explosivo: 35 Kg. de Goma 2 E-C

Tipo de cuele: Sarrois

Sección: 10 m²

3a Voladura

Labor: Guía 14 Oeste 3a planta

Número de barrenos: 43

Iniciación: Detonadores eléctricos de microrretardo

Explosivo: 25 Kg. Explosivo de Seguridad nº 9

Sección: 10,5 m² (2UA)

Potencia de la capa de carbón cortada: 1 m.

4a Voladura

Labor: Guía 14 Oeste 3a planta

Número de barrenos: 48

Iniciación: Detonadores eléctricos de retardo

Explosivo: 32,5 Kg. de Explosivo de Seguridad 20 SR

Sección: 10,5 m² (2UA)

Potencia de la capa de carbón cortada: 1 m.

5a Voladura

Labor: Guía 14 Oeste 3a planta

Número de barrenos: 45

Iniciación: Detonadores eléctricos de microrretardo

Explosivo: 27,5 Kg. de Explosivo de Seguridad nº 9

Sección: 10,5 m² (2UA)

Potencia de la capa de carbón cortada: 1 m.

Los resultados obtenidos en estas mediciones se expresan a continuación:

la Voladura

TIEMPO DESPUES DEL DISPARO

<u>INICIO DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>FINAL DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>CONCENTRACION</u>
2'	3'	30 p.p.m.
8'15"	9'30"	15 p.p.m.
12'30"	13'45"	15 p.p.m.
17'	17'50"	7 p.p.m.
19'30"	20'25"	7 p.p.m.
22'50"	24'	5 p.p.m.
26'20"	27'45"	5 p.p.m.
31'30"	32'15"	3 p.p.m.

2a VoladuraTIEMPO DESPUES DEL DISPARO

<u>INICIO DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>FINAL DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>CONCENTRACION</u>
1'30"	3'	20 p.p.m.
5'	6'15"	22 p.p.m.
8'	9'30"	15 p.p.m.
11'	12'20"	12 p.p.m.
15'	16'	10 p.p.m.
20'	21'30	8 p.p.m.
25'	26'30"	4 p.p.m.

3a VoladuraTIEMPO DESPUES DEL DISPARO

<u>INICIO DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>FINAL DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>CONCENTRACION</u>
1'15"	2'30"	70 p.p.m.
3'15"	4'36"	40 p.p.m.
5'20"	7'10"	40 p.p.m.

TIEMPO DESPUES DEL DISPARO

<u>INICIO DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>FINAL DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>CONCENTRACION</u>
7'50"	9'35"	30 p.p.m.
10'15"	12'09"	25 p.p.m.
14'30"	16'13"	15 p.p.m.
22'	25'09"	7 p.p.m.
27'	29'15"	5 p.p.m.

4a VoladuraTIEMPO DESPUES DEL DISPARO

<u>INICIO DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>FINAL DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>CONCENTRACION</u>
40"	2'45"	50 p.p.m.
3'45"	6'40"	40 p.p.m.
7'20"	9'20"	40 p.p.m.
10'	13'40"	40 p.p.m.
15'20"	18'30"	20 p.p.m.
25'	29'	10 p.p.m.
30'10"	33'20"	5 p.p.m.

5a VoladuraTIEMPO DESPUES DEL DISPARO

<u>INICIO DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>FINAL DE LA TOMA DE LA MUESTRA</u>	<u>CONCENTRACION</u>
1'10"	3'12"	60 p.p.m.
4'20"	5'50"	45 p.p.m.
7'30"	9'10"	40 p.p.m.
11'	12'30"	20 p.p.m.
15'20"	17'30"	13 p.p.m.
25'	27'15"	7 p.p.m.
30'	32'40"	3 p.p.m.

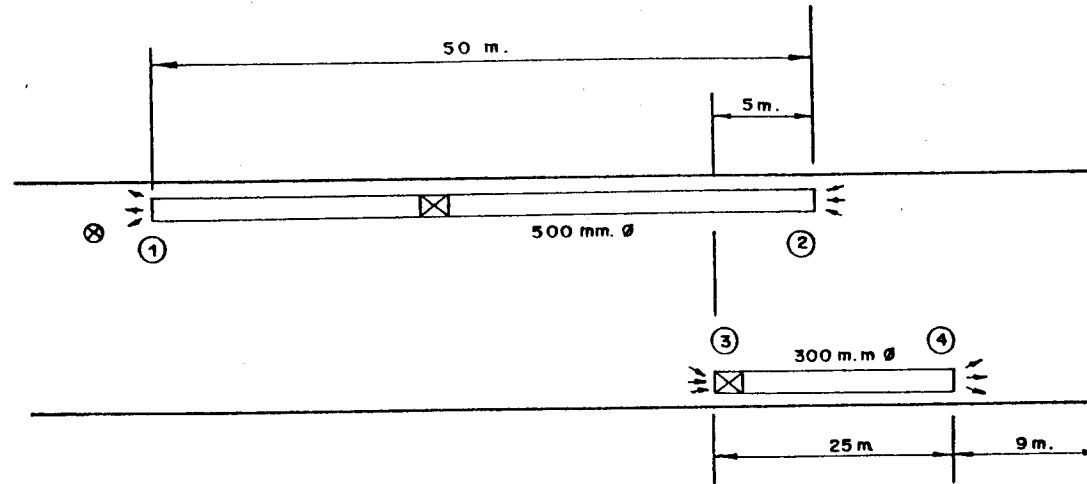
A la vista de los resultados obtenidos en estas pegas en las cuales se han cuidado al máximo las condiciones en que se han realizado las mediciones y teniendo en cuenta que los resultados anteriormente indicados son comparables a los obtenidos en la anterior campaña, en la cola de la tubería de aspiración, se puede concluir que debemos de dar como valores totalmente fiables los que en su día se indicaron como obtenidos en la cola de la tubería de aspiración.

En lo que respecta a las que en su día se indicaron como obtenidas en el corte y realizadas por el método -

Patty Petty no podemos dar una explicación clara de la causa del error, sin embargo pensamos que entre las posibles causas podrían citarse un defecto en el conexionado de los distintos aparatos, con una consiguiente pérdida en la cantidad de gas que debería pasar por los lechos de NaOH, y por último, realizado perfectamente el conexionado, se hayan producido errores de medida en la lectura del contador de gas.

ESQUEMA DE VENTILACION

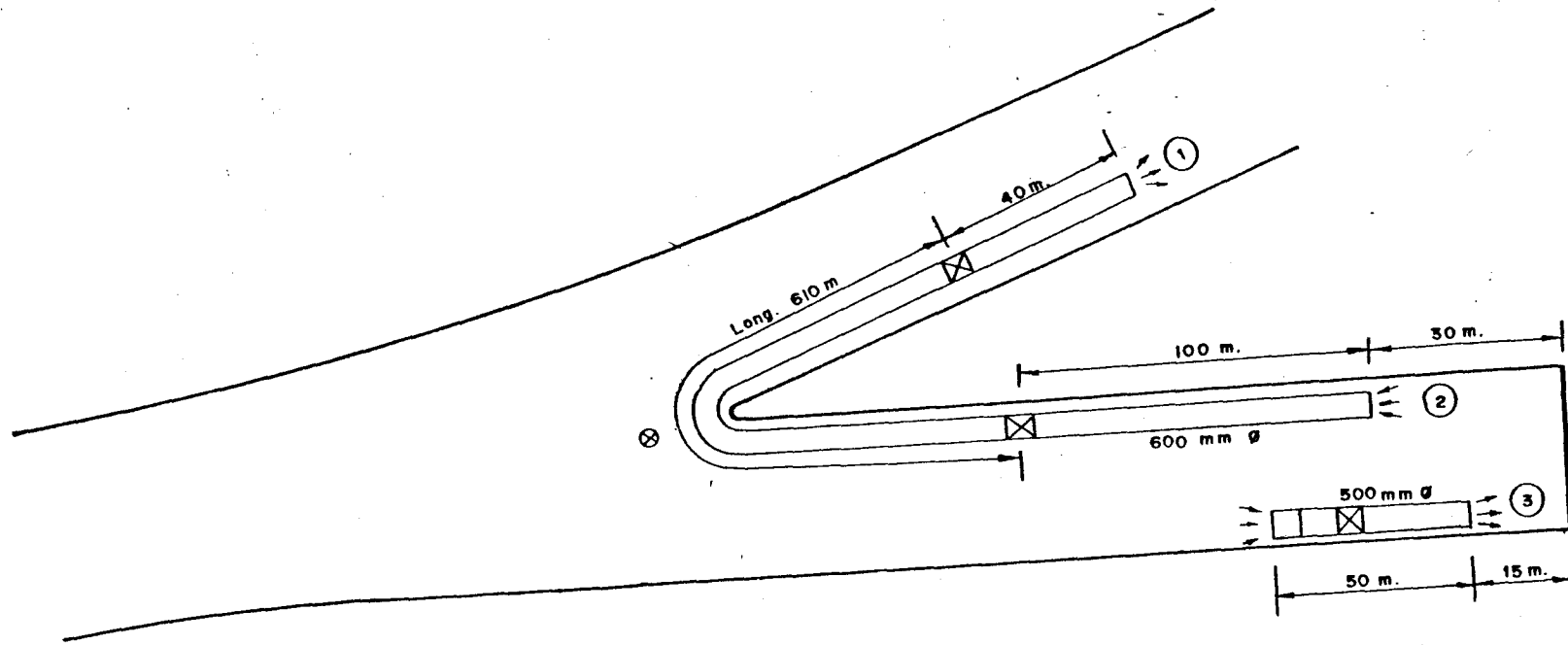
GUIA I4 OESTE 3 PLANTA



	<u>CAUDAL</u>	<u>VELOCIDAD</u>
①	1,840 m ³ /s	9,37 m/s.
②	1,969 m ³ /s	10,03m/s
③	1,2 m ³ /s	16,9 m/s.
④	1,250 m ³ /s	17,6 m/s
⊗	PUNTO DE MEDIDA	

ESQUEMA DE VENTILACION

ESTERIL PUDINGA 4º PLANTA ZONA OESTE



	CAUDAL	VELOCIDAD
①	$2,324 \frac{m^3}{s}$	8,21 m/s.
②	1,315 m/s.	4,65 m/s.
③	1,925 m/s.	9,80 m/s.
⊗	PUNTO DE MEDIDA	