



Ruido y toxicología de los explosivos en las demoliciones

José Jaime ROMERO SANCHEZ
Dr. Ingeniero de Minas

Manuel BERNAOLA ALONSO
Lcdo. en Ciencias Químicas.
INSHT - C.I.A.T Madrid

En las demoliciones con explosivos, aparecen una serie de riesgos de trabajo y enfermedades profesionales, que la ciencia trata de paliar, mediante la aplicación de las medidas preventivas adecuadas.

En este trabajo, analizaremos primeramente la influencia del ruido en el trabajador que maneja explosivos, junto a las medidas de seguridad a tomar, y a continuación la toxicidad de los explosivos, así como la forma de combatirla.

Para terminar, se analizará la instrumentación para la evaluación de los riesgos.

En el espectro de cualquier accidente de trabajo o enfermedad profesional, analizaremos el foco emisor, (fig. 7), el medio de propagación y el foco receptor. Los diferentes agentes agresivos del esquema, perturbarán la salud del trabajador, que la higiene industrial combatirá.

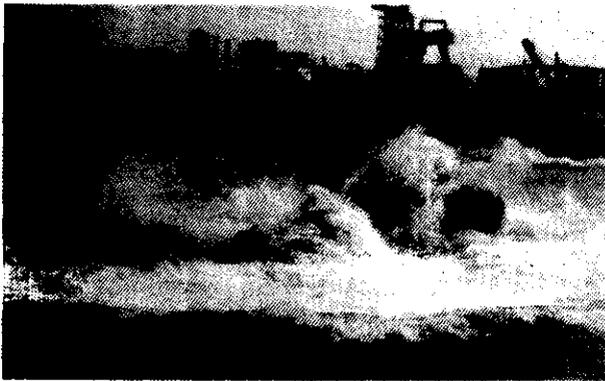
Tanto el ruido como las vibraciones, vapores y gases tóxicos, etc., que aparecen en el esquema, podrían ocasionar en el operario lesiones tales como, sordera profesional, enfermedades cardiovasculares, afecciones pulmonares, etc. En la figura 7 se indican algunas recomendaciones a tener en cuenta al objeto de evitar el accidente o la enfermedad.

RUIDO EN VOLADURAS

1.- Teoría

El ruido producido por las voladuras, origina perturbaciones no solo en los trabajadores que están directamente involucrados en la obra, sino también a terceras personas próximas a la misma. Dicha perturbación, habrá que tenerla muy en cuenta sobre todo en voladuras para demoliciones en zonas urbanas.

El principio teórico se basa en que la energía contenida en el explosivo, se emplea en arrancar y fragmentar el material a destruir; sin embargo hay una parte de dicha energía que se pierde, transmitiéndose parte de ella a través del terreno en forma de vibraciones, y otra parte a través del aire según una onda de presión que es la que produce el ruido.



Voladura en el mar.

La onda aérea de presión, puede producir además de los efectos malignos sobre el trabajador propios del ruido (sordera profesional), otros indirectos, como son los posibles daños a edificios colindantes (resquebrajamiento de estructuras con posibles hundimientos, rotura de cristales, etc.) que podrían acarrear accidentes indirectos.

Se ha comprobado que la presión de aire necesaria para romper cristales deberá alcanzar la cifra de $5 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$ y de $7 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$, para rotura de escayolas. En cualquier caso se recomienda que la presión de aire en las proximidades de los edificios no rebase los $4 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}^2$.

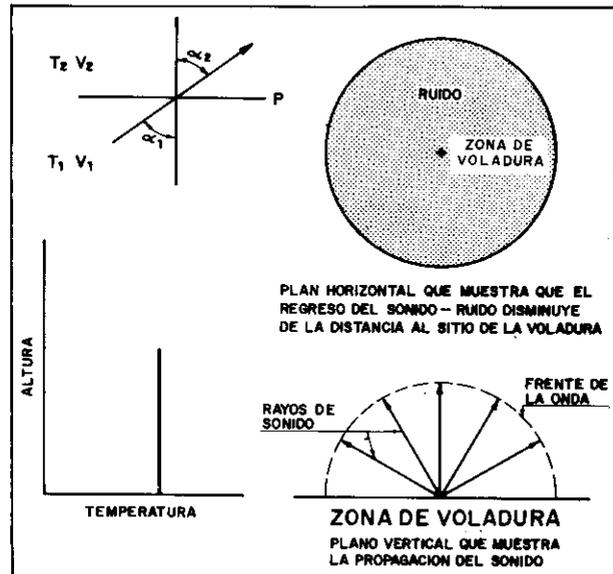


FIGURA 1



Carga de barreno con explosivo líquido: algunas protecciones personales.

Otro aspecto a considerar y que influye en la propagación del ruido es el debido al efecto climático.

Sean T_1 , V_1 y T_2 , V_2 las temperaturas y velocidades del sonido en los medios 1 y 2 y α_1 y α_2 , los ángulos de incidencia y de refracción del rayo de la onda sonora sobre el plano P de separación de los medios. La voladura se producirá en el medio 1 (foco sonoro).

Para el caso ideal de que la temperatura no variara (fig. 1) sería $T_1 = T_2$; $V_1 = V_2$; $\alpha_1 = \alpha_2$, y el ruido disminuye con la distancia al lugar de la voladura.

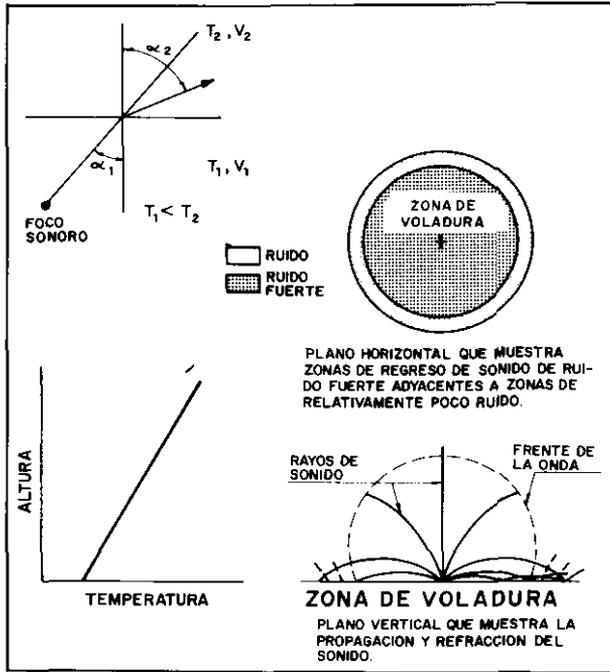


FIGURA 2

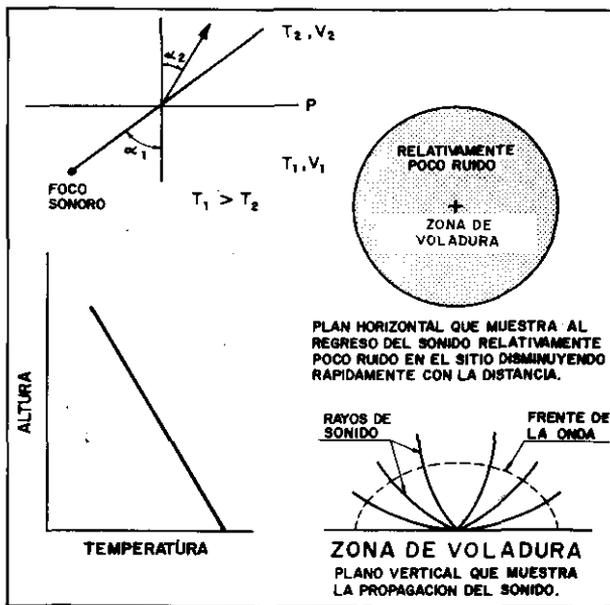


FIGURA 3

Si consideramos que las capas atmosféricas se enfrían a medida que se asciende ($T_1 > T_2$), que será el caso normal, (fig. 3), ocurrirá que la

velocidad del sonido del segundo medio será mayor que el del primero. ($V_1 < V_2$) dado que todo cuerpo que se enfría sus moléculas están más condensadas aumentando su velocidad de propagación en dicho medio. En este caso el ángulo de refracción α_2 disminuirá respecto al de incidencia α_1 , por lo que el sonido tenderá a dispersarse amortiguándose el ruido en las inmediaciones, (ruido débil).

En el caso contrario (calentamiento del aire al ascender) ocurrirá (fig. 2):

$$T_1 < T_2; V_1 > V_2; \alpha_1 < \alpha_2$$

Y el sonido tiende a reflejarse y volver a la zona concentrándose (ruido fuerte).

El caso más normal, es una combinación de los anteriores (fig. 4), donde habrá una capa atmosférica caliente entre dos frías, en este caso las ondas sonoras al llegar a dicha capa caliente se reflejarán creando una corona circular de ruido fuerte que podría ser peligrosa.

El segundo aspecto climático a considerar después del de la temperatura atmosférica, es el de la velocidad y dirección del viento. Los mayores niveles del sonido se situarán en las zonas a favor del viento y la velocidad de propagación de aquel, estará en razón directa a la que tuviera el viento, (fig. 5).

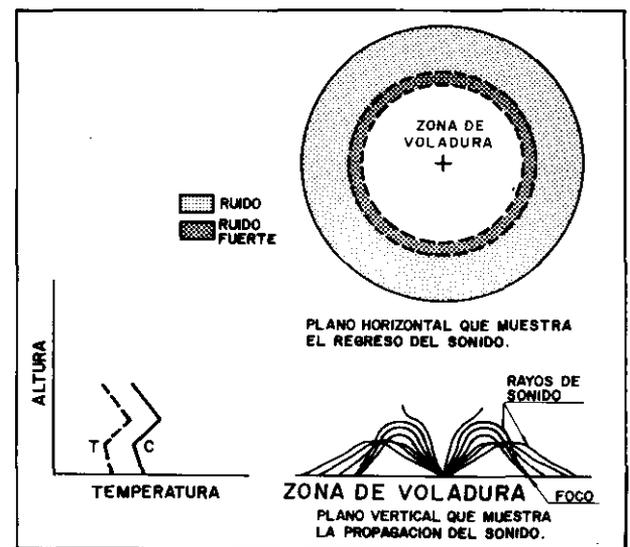


FIGURA 4

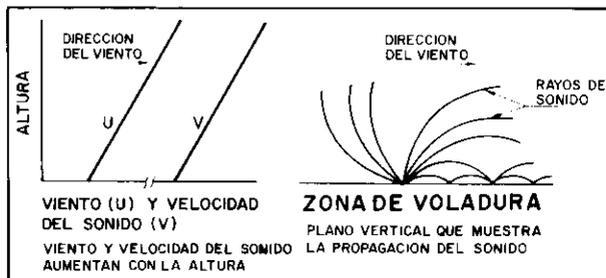


FIGURA 5

2.- Protección.

Como resumen del capítulo indicaremos que para paliar en lo posible el efecto de ruido en voladuras, se tomarán como medidas preventivas las siguientes:

- Utilización de auriculares protectores acústicos.
- Toma de presión de aire en zonas próximas a edificios previa detonación de carga patrón ubicada en el punto de voladura.
- Elección del día y del momento oportuno dentro del mismo, a tenor de las capas calientes atmosféricas y de la dirección del viento. (Emplear globos sonda).
- Cálculo de la carga de explosivo precisa.
- Utilización de detonadores eléctricos de microrretardo.

TOXICIDAD EN LOS EXPLOSIVOS.

1.- Elementos tóxicos y concentraciones máximas permisibles.

Las enfermedades profesionales deben de ser prevenidas de la misma forma que se viene haciendo con los accidentes de trabajo. Los explosivos son elementos agresivos potencialmente y debemos conocer primeramente aquellos perniciosos que pudieran causar daño a nuestra salud tanto por inhalación, como por ingestión o por vía cutánea.

Analizaremos pues en este apartado en una primera parte, la toxicidad de los diferentes tipos de explosivos antes de explotar, y en una segunda parte, los humos o vapores tóxicos que se desprenden una vez efectuada la explosión.

Examinando por orden cronológico las diferentes etapas de la vida de un explosivo antes de detonar, observamos que son las siguientes: fabricación, carga y descarga, transportes, almacenamiento y carga de barrenos.

De los estados anteriormente relacionados, no cabe duda de que los más propensos para una posible acumulación de vapores o gases agresivos para la salud del trabajador, son aquellos donde el explosivo se mantiene ubicado en lugares cerrados durante un cierto periodo de tiempo; por tanto serían peligrosos los de fabricación y almacenamiento fundamentalmente. En el resto, el explosivo o está confinado muy poco tiempo (cosa de carga de barrenos) o está más o menos en contacto con el exterior y al ser mayor la aireación, el peligro de inhalación de gases o vapores tóxicos es menor.

Estudiemos que gases son estos, que patología se detecta en el trabajador y por último, cual sería la forma de prevenir el daño y/o la posible enfermedad profesional.

Los explosivos como ya sabemos, se componen fundamentalmente de NITRATO AMONICO para los "granulares o pulverulentos" y de NITROGLICERINA, para los del tipo "gomas"; el resto como dinamitas, hidrogeles o papillas, etc., son combinaciones de nitroglicerina y/o nitratos amónicos con aditamentos. Respecto a las pólvoras, sus componentes principales son el salitre, el azufre y el carbón.

Estudiando los nitratos en general, se ha investigado que su ingestión produce debilidad, dolores abdominales, vómitos, diarreas, vértigos, convulsiones, colapsos, e incluso cáncer.

En cuanto al nitrato amónico que en su estado natural es un compuesto químico sólido, produce fundamentalmente dermatitis cutánea y bajadas de tensión debidas a la presencia de los nitritos y nitratos.

Respecto a los compuestos nitroglicerínicos, (componente fundamental de los explosivos en forma de gommas), indicaremos que se presentan en forma líquida, siendo su punto de licuefacción los 13°C. Dichas peculiaridades, originan dos aspectos negativos de cara a la seguridad

en su manejo. Por un lado, su alto punto de solidificación, lo hace muy inestable dado que, por debajo de 12°C, el explosivo podría solidificarse perdiendo las propiedades para las que fue creado y por otro lado, al presentarse en estado líquido por encima de los 13°C, su poder de evaporación es mayor que el que presentaría un explosivo si su estado habitual fuera sólido; la concentración máxima permisible de nitroglicerol en aire es de 0,2 partes por millón, aspecto a tener muy en cuenta de cara a los posibles análisis del medio ambiente con los detectores de gases industriales.

La absorción de la toxicidad del nitroglicerol, puede ser por inhalación, por ingestión o percutánea y los síntomas patológicos son la vasodilatación y la metahemoglobinemia fundamentalmente. Los síntomas y signos más frecuentes son los de conjuntivitis, vértigo, enrojecimiento de la piel y dermatitis, pulso rápido, bajada de tensión, disnea, vómitos, ansiedad, inconsciencia y dolor de cabeza. En cuanto al tratamiento preventivo mencionaremos la ventilación, protección personal, (gafas, guantes y delantal de goma, etc.), no comer ni fumar en áreas de trabajo y excluir de la exposición a los individuos que padezcan anemia, hipotensión, hipertiroidismo, o enfermedades del corazón. En los referente al tratamiento curativo, se recomienda lavado frecuente de ojos o partes contaminadas del cuerpo, mediante tiosulfato sódico al 10%. Para el dolor de cabeza se recomienda, inhalaciones de oxígeno, cafeína, benzoato sódico y anfetamina, todo ello bajo supervisión del médico correspondiente.

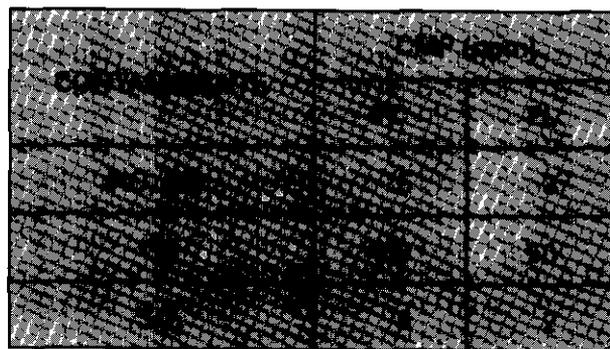
No hay que olvidar que en España y dependientes del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, existen unos Centros Médicos Provinciales, donde se efectúan a los trabajadores reconocimientos preventivos gratuitamente, para lo cual pasan al Servicio de "Circuitos de Reconocimiento", donde se les hacen pruebas de fotoseriación, oftalmológicas, audiométricas y analíticas y posteriormente, una vez detectada la posible anomalía, pasan al Especialista correspondiente para el estudio detallado de la citada anomalía y su posterior tratamiento.

En segundo lugar, haremos referencia a la

toxicología del explosivo una vez explosionado. Lógicamente ésta se manifiesta únicamente por la presencia de los gases o vapores que de hecho se desprenden del mismo, aspecto a tener muy en cuenta sobre todo en los trabajos de interior, donde la acumulación de los gases nocivos del explosivo es más frecuente.

Los humos dañinos son fundamentalmente los óxidos nitrosos, (NO y NO₂) para los explosivos pulverulentos o granulares, el óxido de carbono (CO) para los explosivos gelatinosos o gomas, y el anhídrido sulfuroso (SO₂), para las pólvoras.

Las concentraciones máximas permisibles se distribuyen para los diferentes contaminantes según el cuadro siguiente:

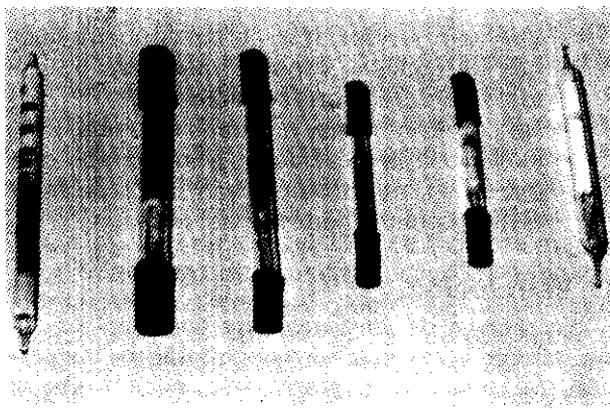


CMP: Concentración máxima permisible.

PC: Período corto de exposición.

PL: Período largo de exposición.

ppm: Partes por millón.



Tubos adsorbentes de contaminantes.

Se considera como "período corto de exposición a cuatro exposiciones de quince minutos separadas al menos una hora, y "período largo de exposición" a la exposición continua durante ocho horas.

Por último diremos que los aparatos más frecuentes empleados para la detección de este tipo de gases o vapores, son el "detector de gases con tubo colormétrico", la detección mediante absorbentes sólidos y posterior análisis en el laboratorio y finalmente, también los equipos de medidores continuos con medición directa. (En el apartado de instrumentación para evaluación de riesgos higiénicos en ambientes industriales de este capítulo, se detallan estos conceptos).

La ventilación es la medida más recomendada para bajar la agresividad del medio ambiente contaminado por este tipo de trabajo. (También se trata con más extensión en este capítulo).

2.- Prevención.

Sintetizando las recomendaciones a tomar para prevenir posibles accidentes, tanto directos como indirectos entre las personas expuestas a los humos y gases tóxicos desprendidos por los explosivos en las voladuras en general, indicaremos entre otras las siguientes:

- Emplear las protecciones individuales correspondientes, mascarillas, gafas, guantes, cremas, delantales, etc.).
- Si fuera posible utilizar protecciones colectivas, (ventilación, cortinas de agua, etc.).
- Verificar periódicamente las concentraciones de gases y vapores utilizando aparatos medidores correspondientes.
- No comer ni fumar en horas de trabajo.
- Excluir de la exposición a individuos que padezcan hipertensión, anemia, hipertiroidismo, o enfermedades del corazón.

3.- Ventilación.

La técnica de ventilación se acomete fundamentalmente de dos formas: mediante aspiración del ambiente contaminado, o bien con el soplado de aire limpio al recinto a descontami-

nar; existe un tercer método que sería el ideal y que no es otro que una combinación de los dos anteriores, (insuflado-aspiración).

El principio de desintoxicación del medio ambiente, (los explosivos al ser explosionados, desprenden CO, NO Y NO₂, que son tóxicos) se fundamenta en el principio de dilución, por el cual la atmósfera a limpiar se diluye en otra más pura la cual se inyecta con los insufladores correspondientes, (ventiladores).

El peligro de accidente y enfermedades ocasionados por una mala ventilación, en el trabajador es doble, en primer lugar por la intrínseca toxicidad de los gases o vapores (anhídridos carbónicos y de nitrógeno) que pudieran producirse al efectuar las voladuras y que posteriormente serían inhaladas por el trabajador, (normalmente enfermedades profesionales), y en segundo lugar, posibles riesgos de explosiones secundarias con el consiguiente peligro de accidentes de trabajo como consecuencia de la acumulación ambiental de materiales, como el grisú.

Considerando pues como método ideal de ventilación el de insuflado-aspiración de aire como ya se indicó anteriormente, estudiemos brevemente este tipo de ventilación.

Veamos en primer lugar el aire de insuflado. al impulsar este hacia el recinto a desintoxicar y que se contaminó como consecuencia de los gases y vapores tóxicos desprendidos de los explosivos empleados en la voladura, deberá realizarse este insuflado convenientemente. (fig. 6).

El aire limpio se inyectará cumpliendo estas tres condiciones: que esté caliente, que se inyecte en la parte baja de la galería o túnel y que llegue hasta el frente volado. Respecto a los dos primeros puntos se explica dado que el aire caliente tiene menos densidad que el frío, por lo que su peso es menor y tenderá a subir y su salida, junto al aire frío contaminado, ascenderá y ayudará a la aspiración que se realizará por la parte superior; por otro lado, al moderar la temperatura del aire insuflado, evitará enfermedades propias del frío al trabajador. En cuanto a que llegue el aire insuflado hasta el mismo fren-

te, se recomienda también para evitar espacios estancos sin limpiar.

En lo referente a la aspiración, esta se recomienda el que se efectúe por la parte superior, que es donde tiende a acumularse el aire inyectado.

h/s, pudiéndose modificar estos, dentro de ciertos límites, para jornadas que difieran de estas. En cuanto a las cantidades de volumen de aire que estos muestreos envuelven suelen estar comprendidos entre varios litros a un metro cúbico en los personales, hasta de varios metros

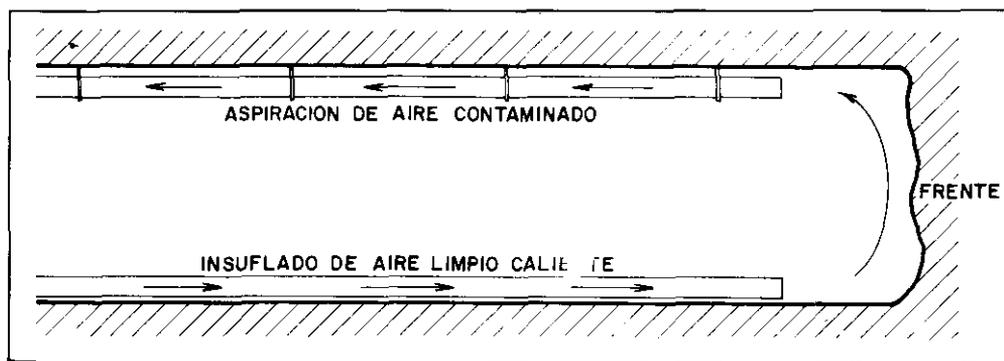


FIGURA 6

4.- Instrumentación para evaluación de riesgos higiénicos en ambientes industriales.

La forma del muestreo que comúnmente suele efectuarse en la evaluación de riesgos higiénicos y verificación de métodos de control, puede ser de distinto tipo, destacando entre otros: los generales, referidos al aire del local en forma general o por zonas, los ambientales, referidos a muestras tomadas en zonas de paso y de trabajo, tomándose a la altura de las vías respiratorias, por lo que requieren el concurso de una persona para portar el equipo, lo que conlleva generalmente una corta duración del mismo y los personales, donde el equipo de muestreo se acopla a la persona de la cual se pretende evaluar su exposición y que por lo tanto es la más representativa de la dosis inhalada en el tiempo (puede durar toda la jornada), como en el espacio (el elemento de captación se coloca lo más próximo posible a las vías respiratorias). De todas ellas, es la última la que se emplea como mayor frecuencia por su representatividad cuando se desea comparar la calidad y cantidad del ambiente respirado con los valores que fijan los criterios de calidad ambiental y que suelen establecerse sobre la base de exposiciones continuadas y diarias, por lo general de 8 h/d, ó 40

cúbicos en los ambientales y cantidades de contaminante retenidas desde $\mu\text{grs.}$ -mgrs. en los primeros a gramos en el segundo caso. La forma de expresar las concentraciones viene efectuándose en mgr/m^3 o en ppm, y solo en algunos casos por conteo de partículas o fibras, (en fibras/cc, pp, cc, o m.p.m.c.).

En cuanto a la duración del muestreo, cabe indicar que se debe tender a cubrir, en el caso de evaluación de exposiciones, el máximo de la jornada y como mínimo de un 60% de la misma si se quieren tener resultados estadísticamente fiables; así mismo y con el ánimo de mejorar la estrategia de muestreo o de acotar el límite de indecisión por incertidumbre, dentro del alto grado de fiabilidad exigida por los métodos de evaluación empleados, del orden del 95%, se requiere seleccionar un método que fije el número de personas a muestrear, cómo elegirlas para asegurarse que el subgrupo presenta un alto grado de seguridad de encontrar al menos uno del subgrupo de los del 10% de máxima exposición y número de muestras, caso de muestras consecutivas y de igual o de diferente duración, significando, el óptimo, en la consideración de optimización estadística y de coste, sería como mínimo de dos y con preferencia de tres, ya que un número superior no presentaría una mejora

estadística considerable y si conllevaría un aumento en el costo y tiempo de trabajo progresivo.

En lo referente a la duración de las muestras, los métodos de muestreo pueden clasificarse en: puntuales, (de muy corta duración y aleatorias), y de período completo, (una o varias consecutivas de igual o de distinta duración). La duración del muestreo con independencia de las exigencias de representatividad deberán cumplir con los requisitos de exactitud que los métodos de toma de muestra/análisis seleccionados "a priori" requieren, caso de tratarse de muestreos "in situ" con posterior envío a laboratorio para su análisis y cuantificación, en orden a recoger suficiente cantidad de contaminante para ser analizado con exactitud y según sensibilidad de la técnica analítica instrumental empleada.

De la instrumentación a emplear en evaluación de riesgos cabe citar los de LECTURA DIRECTA, que analizan "in situ" el contaminante del ambiente industrial, o los que retienen el contaminante para su posterior análisis en laboratorio. Dentro del primer grupo los equipos comerciales, pueden variar simplemente en costo, exactitud y especificidad; de entre ellos caben citarse: TUBOS COLORIMETRICOS, que mediante un equipo de aspiración mecánico tipo fuelle accionados a mano, hacen pasar aire contaminado a través de un tubo graduado con un lecho reactivo específico, cambiando de color y estableciéndose en función de la longitud del cam-

bio para una determinada cantidad de aire la concentración en una forma aproximada, (dada la sencillez del método éste presenta un error considerable así como incertidumbre, debido a posibles interferencias por presencia de otras sustancias con grupos funcionales iguales o que también reaccionan con el reactivo); así mismo todos los empleados para evaluación de AGENTES FISICOS, tales como sonómetros para ruido, etc. o bien aquellos sistemas de MONITOREO CONTINUO, que basándose en la variación de alguna propiedad fisicoquímica de algún elemento sensor que traduciéndolo en una corriente eléctrica y debidamente amplificada puede ser visualizada en un equipo de medida (amperímetro o voltímetro) con escala graduada en concentraciones o lectura digital, habiendo sido el equipo previamente calibrado para distintas concentraciones y confrontando su exactitud con otros métodos de laboratorio.

De todos los equipos para la evaluación de agentes químicos el que comporta una mayor exactitud es el que retiene el contaminante "in situ", de forma mecánica (filtro), por reacción química, (o solubilidad en líquido), de absorción en lecho sólido tipo carbón activo o gel de sílice como más usuales, o aire de volumen conocido y recogido en bolsa, conectado a un sistema de aspiración de aire en forma continua que, funcionando a pilas, establezca un caudal previamente fijado varía según contaminantes entre unos pocos cc/min. hasta 2-3 l/min. y de acuer-

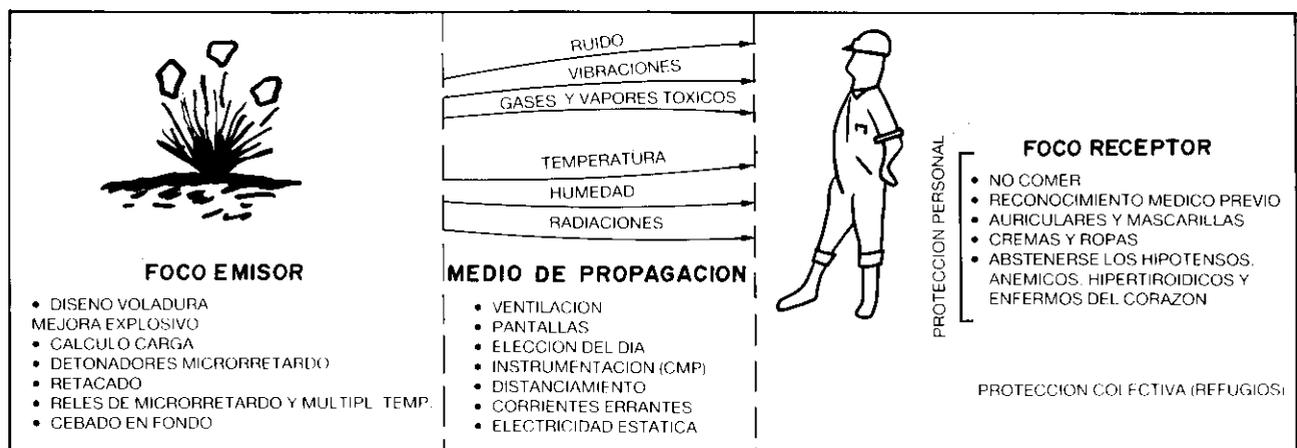


FIGURA 7



Muestradores personales portátiles.

do con la normativa marcada) y después enviarlo al laboratorio para su tratamiento y análisis ulterior.

Estos equipos requieren un calibrado previo del equipo de aspiración, junto con el resto de los elementos que componen el equipo, perfecto estado de mantenimiento y carga del bloque de baterías, que garantice la constancia en el caudal durante el muestreo y permita una autonomía de funcionamiento de al menos seis horas e igualmente de una comprobación previa de la exactitud y rendimiento del conjunto, toma de muestras análisis en atmósfera controlada en la que se genera en laboratorio diversas muestras de aire con diferentes concentraciones del contaminante (s).

Otros equipos que con ánimo de control pueden usarse, son aquellos de carácter fijo, estáticos o dinámicos (por aspiración de aire) y que normalmente por el cambio de alguna propiedad física o físico-química del elemento sensor pone en marcha a una determinada concentración, con independencia de traducirlo en una señal visualizada en una escala, y para la cual ha sido previamente calibrada una alarma luminosa o acústica anteriormente prefijada, y a su vez puede poner automáticamente en funcionamiento los sistemas correctivos, (como p.e. aspiradores en un aparcamiento), con fines de la adopción de medidas tanto de protección personal o de evacuación como de tipo de protección colectiva, (aspiradores de aire, rociadores...).

Por último caben citarse los denominados "DOSIMETROS" como aquellos equipos que acoplados al individuo permiten obtener la dosis inhalada o percibirla al cabo de un cierto tiempo, pudiéndose efectuar la lectura después el muestreo, (como es el caso de algunos empleados para radiaciones ruido, e incluso por tubos colorimétricos para agentes químicos), o efectuar un análisis posterior en laboratorio (como puede ser el caso de monitores pasivos para vapores orgánicos, por difusión a través de membranas, sistema de poros o de lechos sólidos, o por transferencia de materia a través de membranas semipermeables y cambio de coloración del lecho que contiene el reactivo específico y lectura en escala previamente calibrado.