

Director del capítulo  
*Robert F. Herrick*

# 31

## Sumario

Aspectos generales y principios de la protección personal <i>Robert F. Herrick</i> . . . . .	31.2
Protectores de ojos y cara <i>Kikuzi Kimura</i> . . . . .	31.3
Protección de pies y piernas <i>Toyohiko Miura</i> . . . . .	31.7
Protección de la cabeza <i>Isabelle Balty y Alain Mayer</i> . . . . .	31.9
Protección de los oídos <i>John R. Franks y Elliott H. Berger</i> . . . . .	31.11
Ropa protectora <i>S. Zack Mansdorf</i> . . . . .	31.17
Protección respiratoria <i>Thomas J. Nelson</i> . . . . .	31.22

## ● ASPECTOS GENERALES Y PRINCIPIOS DE LA PROTECCION PERSONAL

*Robert F. Herrick*

La cuestión de la protección personal debe considerarse en el contexto de los métodos de control para la prevención de las lesiones y enfermedades profesionales. Este artículo contiene una exposición técnica pormenorizada de los tipos de protección personal disponibles, los riesgos para los que puede estar indicado su uso y los criterios de selección del equipo de protección apropiado. En los casos en que procede, se resumen las homologaciones, certificados y normas que se aplican a los dispositivos y equipos de protección. Al manejar esta información, es esencial tener siempre presente que la *protección personal debe considerarse un último recurso* de reducción del peligro en el lugar de trabajo. En la jerarquía de métodos que pueden utilizarse para controlar los peligros en el lugar de trabajo, la protección personal no es un método de primera elección. De hecho, debe utilizarse sólo cuando los posibles controles técnicos o de ingeniería que reducen el peligro (mediante métodos como el aislamiento, el cierre, la ventilación, la sustitución u otros cambios de proceso) y los controles administrativos (como reducir el tiempo de trabajo con peligro de exposición) ya se han aplicado en la máxima extensión viable. (Véase "Prevención y control de riesgos mediante la intervención".) Sin embargo, hay casos en que la protección personal es necesaria, a corto o a largo plazo, para reducir el riesgo de enfermedad y lesión profesional. En tales casos, el equipo y los dispositivos de protección personal deben utilizarse como parte de un programa global que abarque la evaluación completa de los peligros, la selección y adecuación correctas del equipo, la formación y la educación de las personas que han de utilizarlo, las operaciones de mantenimiento y reparación necesarias para mantenerlo en buen estado de servicio y el compromiso conjunto de directivos y trabajadores con el buen resultado del programa de protección.

### Elementos de un programa de protección personal

La sencillez aparente de ciertos equipos de protección personal puede llevar a subestimar el esfuerzo y los gastos necesarios para utilizarlo de manera eficaz. Aunque algunos instrumentos, como los guantes o el calzado protector, son relativamente simples, los equipos de protección respiratoria y otros aparatos pueden ser muy complejos. Los factores que dificultan la protección personal eficaz están intrínsecamente vinculados con todo método que se basa en la modificación del comportamiento humano para reducir el riesgo y no en la incorporación de la protección en el origen del riesgo. Con independencia del tipo concreto de equipo protector, todo programa de protección personal debe comprender unos elementos determinados.

### Evaluación del peligro

Para que la protección personal constituya una respuesta eficaz a un problema de riesgo profesional, es preciso conocer plenamente la naturaleza del propio riesgo y su relación con el medio ambiente de trabajo en su conjunto. Aunque esto parece tan obvio que apenas debería ser necesario mencionarlo, la sencillez aparente de muchos instrumentos protectores induce a prescindir de este paso de evaluación. Las consecuencias de proporcionar dispositivos y equipos protectores inadecuados para los riesgos y el medio ambiente global de trabajo van desde la resistencia o la negativa a llevar un equipo que resulta inapropiado hasta la merma del rendimiento laboral y el riesgo de lesión e incluso

muerte del trabajador. Para lograr un equilibrio adecuado entre riesgo y medida de protección, es preciso conocer la composición y magnitud (concentración) de los peligros (incluidos los agentes químicos, físicos y biológicos), el tiempo durante el cual debe el dispositivo ejercer un nivel determinado de protección y la naturaleza de la actividad física que puede realizarse mientras se usa el equipo. Esta evaluación preliminar del peligro constituye una etapa de diagnóstico esencial que debe realizarse antes de elegir la protección adecuada.

### Selección

La etapa de selección está determinada en parte por la información obtenida en la evaluación del riesgo, combinada con los datos sobre el rendimiento de la medida de protección que se prevé utilizar y el grado de exposición que seguirá habiendo una vez aplicada la medida de protección personal. Además de estos factores basados en el rendimiento, hay directrices y normas prácticas de selección de equipos, en particular de aparatos de protección respiratoria. Los criterios de selección de los aparatos de protección respiratoria se han formalizado en publicaciones como *Respirator Decision Logic*, del Instituto Nacional para la Salud y la Seguridad en el Trabajo (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) de Estados Unidos. El mismo tipo de lógica puede aplicarse a la selección de otros tipos de equipos y dispositivos protectores en función de la naturaleza y la magnitud del peligro, el grado de protección proporcionado y la cantidad o concentración del agente peligroso que seguirá existiendo y que se considerará aceptable mientras se utilicen los dispositivos de protección. Al elegir dispositivos y equipos de protección es importante tener en cuenta que su objetivo no es reducir el riesgo y la exposición a cero. Los fabricantes de equipos de protección respiratoria, protectores auditivos y otros dispositivos similares facilitan datos sobre el rendimiento de su equipo, entre ellos los factores de protección y atenuación. Combinando tres datos esenciales —naturaleza y magnitud del riesgo, grado de protección proporcionado y nivel admisible de exposición y riesgo mientras se usa el equipo— se pueden seleccionar equipos y dispositivos para proteger debidamente a los trabajadores.

### Ajuste

Todos los dispositivos de protección deben ajustarse correctamente para que proporcionen el grado de protección para el cual se han diseñado. Además de influir en su rendimiento, el ajuste constituye un factor importante para la aceptación del equipo y la motivación de las personas que lo utilizan. Es poco probable que se utilicen de la manera prevista los instrumentos de protección mal ajustados o incómodos. En el peor de los casos, los dispositivos mal ajustados, como la ropa o los guantes, pueden constituir un peligro cuando se trabaja entre máquinas. Los fabricantes de equipos y dispositivos protectores ofrecen un gama de tallas y diseños, y los trabajadores deben disponer de los protectores adecuados para desempeñar las funciones previstas.

En el caso de los protectores respiratorios, hay normas específicas como las publicadas por la Administración para la Salud y la Seguridad en el Trabajo de Estados Unidos. El principio del ajuste adecuado se aplica a todos los equipos y dispositivos protectores, con independencia de que lo exija o no una norma determinada.

### Formación y educación

Como las características de los dispositivos protectores obligan a modificar el comportamiento humano para aislar al trabajador del medio ambiente de trabajo (en lugar de aislar la fuente del riesgo del medio ambiente), es poco probable que los programas de protección personal den buenos resultados si no abarcan la

educación y formación completas del trabajador. Un sistema que controle la exposición en el origen (como un sistema de ventilación aspirante local) puede funcionar eficazmente sin intervención directa del trabajador. Por el contrario, la protección personal exige la participación y el compromiso totales de quienes la utilizan y de los directivos que la proporcionan.

Los responsables de la gestión y el funcionamiento del programa de protección personal deben estar formados en la selección del equipo adecuado, la verificación de su correcto ajuste a quienes lo utilizan, la naturaleza de los peligros frente a los cuales el equipo debe ofrecer protección y las consecuencias del mal funcionamiento o el fallo del equipo. También deben saber reparar, mantener y limpiar el equipo, así como identificar los daños y desgastes que se produzcan durante su uso.

Quienes utilizan equipos y dispositivos protectores deben conocer la necesidad de protección, los motivos por los cuales se utiliza en lugar (o además) de otros métodos de control y las ventajas que se derivan de su empleo. Hay que explicar con claridad las consecuencias de la exposición sin protección y la forma en que el usuario puede detectar si el equipo no funciona correctamente. Los usuarios deben recibir formación sobre métodos de inspección, ajuste, uso, mantenimiento y limpieza del equipo protector y deben conocer las limitaciones de dicho equipo, sobre todo en situaciones de emergencia.

### **Mantenimiento y reparación**

Para diseñar cualquier programa de protección personal es imprescindible evaluar de forma completa y realista los costes de mantenimiento y reparación del equipo. Los dispositivos protectores están sujetos a degradación paulatina de su rendimiento en el uso normal y a fallos completos en condiciones extremas, como las emergencias. Al considerar los costes y las ventajas de utilizar la protección personal como medio de control de riesgos, es muy importante tener en cuenta que los costes de iniciar un programa suponen sólo una parte de los gastos totales de mantenimiento del programa a lo largo del tiempo. Las actividades de mantenimiento, reparación y sustitución del equipo deben considerarse costes fijos de ejecución del programa, pues son esenciales para conservar la eficacia de la protección. Estas consideraciones sobre el programa deben comprender ciertas decisiones básicas, por ejemplo, si deben emplearse dispositivos protectores de un solo uso (de usar y tirar) o reutilizables y, en este segundo caso, cuál es la duración del servicio razonablemente previsible antes de que sea necesario sustituirlos. Estas decisiones pueden ser muy obvias, como ocurre en el caso de los guantes o mascarillas de protección respiratoria de un solo uso; pero en muchas otras ocasiones es preciso evaluar con atención si resulta eficaz reutilizar trajes o guantes protectores contaminados por el uso anterior. La decisión de desechar o reutilizar un dispositivo protector caro debe adoptarse después de estimar con detenimiento el riesgo de exposición que implicaría para un trabajador la degradación de la protección o la contaminación del propio dispositivo. Los programas de mantenimiento y reparación del equipo deben prever la toma de decisiones de este tipo.

### **Resumen**

El equipo y los dispositivos de protección son elementos esenciales de toda estrategia de control del riesgo. Pueden utilizarse eficazmente si se conoce bien el lugar que ocupan en la jerarquía de control. El uso de equipos y dispositivos protectores debe apoyarse en un programa de protección personal que garantice el funcionamiento de la protección en las condiciones de uso previstas y que quienes deben llevarla sepan usarla correctamente en su actividad laboral.

## **PROTECTORES DE OJOS Y CARA**

*Kikuzi Kimura*

Para proteger los ojos y la cara se utilizan gafas, gafas con montura integral, pantallas faciales y elementos parecidos que impiden la penetración de partículas y cuerpos extraños, compuestos químicos corrosivos, humos, láseres y radiaciones. Con frecuencia es necesario proteger toda la cara frente a las radiaciones o los peligros de naturaleza mecánica, térmica o química. En ocasiones, una pantalla facial protege también los ojos, pero en muchos casos éstos exigen un protector específico, sea independiente o en forma de complemento del protector facial.

Son muchas las actividades profesionales que requieren protección de los ojos y la cara. Entre los peligros cabe citar las partículas volantes, los vapores y sólidos corrosivos, los líquidos o vapores utilizados para pulir, esmerilar, cortar, hacer voladuras, aplastar, galvanizar o realizar otras operaciones químicas, la luz intensa que se emplea en los trabajos con láser y la radiación ultravioleta o infrarroja que emiten los equipos de soldadura y los hornos. Hay numerosos tipos de protectores de los ojos y la cara adecuados para cada clase de peligro. Cuando éste es grave, es preferible proteger la cara completa. En caso necesario se emplean protectores del rostro en forma de capucha o de casco, así como pantallas faciales. La protección específica de los ojos puede lograrse con gafas o gafas con montura integral.

Los dos problemas básicos que plantea el uso de protectores de los ojos y la cara son: (1) cómo proporcionar una protección eficaz que resulte aceptable durante muchas horas de trabajo sin resultar excesivamente incómoda, y (2) la impopularidad de este tipo de protectores a consecuencia de las limitaciones que imponen a la visión. La visión periférica está limitada por los lados de la montura y el puente de la nariz, que puede alterar la visión binocular; además, el empañado es un inconveniente constante. En climas o entornos de trabajo calurosos, los objetos que tapan la cara llegan a ser intolerables y puede descartarse su uso. A corto plazo, también plantean dificultades las operaciones intermitentes, pues los trabajadores pueden olvidar la protección o mostrarse poco inclinados a usarla. Antes de plantearse la posibilidad de utilizar equipos de protección personal es preciso considerar siempre la mejora del medio ambiente de trabajo. Antes de usar protectores de los ojos y la cara (o al mismo tiempo), hay que proteger las máquinas y herramientas (con protectores interbloqueados), eliminar los gases y el polvo mediante sistemas de ventilación aspirante, apantallar las fuentes de calor o radiaciones y los puntos que puedan lanzar partículas, como las muelas abrasivas y los tornos. Si los ojos y la cara pueden protegerse por medio de pantallas transparentes o con tabiques de tamaño y calidad adecuados, por ejemplo, deben preferirse estas opciones al uso de la protección personal de los ojos.

Hay seis tipos básicos de protectores de los ojos y la cara:

1. Gafas, con o sin protectores laterales; (Figura 31.1).
2. Gafas con montura integral (Figura 31.2).
3. Pantallas que protegen las cuencas oculares y la parte central del rostro (Figura 31.3).
4. Tipo casco, que protegen por completo la parte frontal del rostro (Figura 31.4).
5. Pantallas protectoras de mano (Figura 31.4).
6. Capuchas que cubren por completo la cabeza, como los cascos de buzo (Figura 31.4).

Algunas gafas con montura integral pueden usarse por encima de las lentes con cristales correctores. Suelen ser de material duro y es preferible graduarlas con la supervisión de un oftalmólogo.

Figura 31.1 • Tipos comunes de gafas de protección ocular, con y sin protectores laterales.



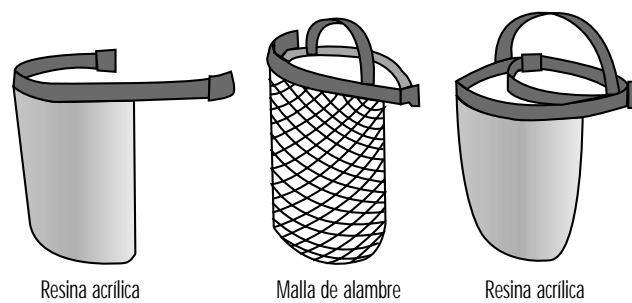
**Protección frente a peligros concretos**

*Lesiones traumáticas y químicas.* Se utilizan pantallas faciales o protectores oculares para resguardarse de partículas volantes, humos, polvo y peligros de carácter químico. Son tipos comunes las gafas (frecuentemente con protectores laterales), gafas con montura integral, las pantallas oculares de plástico y las pantallas faciales. Los protectores tipo casco se utilizan cuando el riesgo de lesión previsto puede llegar desde varias direcciones. Los que tienen forma de capucha y de casco de buzo se usan en operaciones de chorro de arena y soplado. Como protección frente a cuerpos extraños se utilizan plásticos transparentes de diversos tipos, vidrio endurecido y malla de alambre. Frente a productos químicos se emplean gafas cerradas con lentes de plástico o vidrio

Figura 31.2 • Ejemplos de gafas de montura integral de protección ocular.



Figura 31.3 • Pantallas faciales para trabajar a temperaturas elevadas.



y pantallas oculares de plástico, así como cascos tipo buzo y pantallas faciales de plástico.

Entre los materiales de uso común están los policarbonatos, las resinas acrílicas y los plásticos con base de fibra. Los primeros son eficaces frente al impacto, pero no resisten bien los agentes corrosivos. Los protectores acrílicos son más débiles frente a los impactos, pero protegen adecuadamente de los peligros de carácter químico. Los plásticos con base de fibra presentan la ventaja de que incorporan un revestimiento anti-vaho que también evita los efectos electrostáticos. Por ello, este tipo de plásticos puede emplearse, no sólo para trabajos físicos ligeros y durante la manipulación de compuestos químicos, sino también en el moderno trabajo en salas limpias.

*Radiación térmica.* Las pantallas faciales y los protectores oculares frente a la radiación infrarroja se emplean sobre todo en trabajos con horno y otros trabajos que suponen la exposición a fuentes de radiación a temperatura elevada. Casi siempre es necesario protegerse al mismo tiempo frente a chispas y objetos proyectados ardientes. Los tipos más usados son los de casco y las pantallas faciales. En cuanto a los materiales, se utilizan mallas de alambre metálico, chapas de aluminio

Figura 31.4 • Protectores para soldadura.

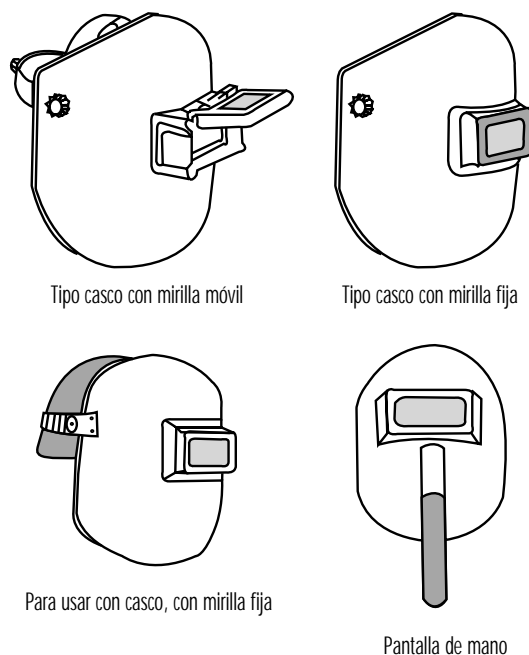


Tabla 31.1 • Requisitos de transmitancia (ISO 4850-1979).

Número de escala	Transmitancia máxima en el espectro ultravioleta		Transmitancia luminosa		Transmitancia media máxima en el espectro infrarrojo	
	Multiplicado por $t(\lambda)$		$\tau_v$		$\tau_{NIR}$	$\tau_{MIR}$
	313 nm %	365 nm %	máxima %	mínima %	IR próximo 1.300 a 780 nm %	IR medio 2.000 a 1.300 nm %
1,2	0,0003	50	100	74,4	37	37
1,4	0,0003	35	74,4	58,1	33	33
1,7	0,0003	22	58,1	43,2	26	26
2,0	0,0003	14	43,2	29,1	21	13
2,5	0,0003	6,4	29,1	17,8	15	9,6
3	0,0003	2,8	17,8	8,5	12	8,5
4	0,0003	0,95	8,5	3,2	6,4	5,4
5	0,0003	0,30	3,2	1,2	3,2	3,2
6	0,0003	0,10	1,2	0,44	1,7	1,9
7	0,0003	0,037	0,44	0,16	0,81	1,2
8	0,0003	0,013	0,16	0,061	0,43	0,68
9	0,0003	0,0045	0,061	0,023	0,20	0,39
10	0,0003	0,0016	0,023	0,0085	0,10	0,25
11	Valor inferior o igual a la transmitancia admitida a 365 nm	0,00060	0,0085	0,0032	0,050	0,15
12		0,00020	0,0032	0,0012	0,027	0,096
13		0,000076	0,0012	0,00044	0,014	0,060
14		0,000027	0,00044	0,00016	0,007	0,04
15		0,0000094	0,00016	0,000061	0,003	0,02
16		0,0000034	0,000061	0,000029	0,003	0,02

Las Tablas 31.1 - 31.6 se han tomado de ISO 4850:1979 y se han reproducido con licencia de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Estas normas pueden solicitarse a cualquier miembro de la ISO o a ISO Central Secretariat, Case postale 56, 1211 Ginebra 20, Suiza. El copyright sigue siendo propiedad de ISO.

perforadas o placas metálicas similares y pantallas de plástico aluminizado o con revestimientos de oro. Una pantalla facial de malla de alambre puede reducir la radiación térmica entre un 30 % y un 50 %. Las de plástico aluminizado protegen bien frente al calor radiante. En la Figura 31.3 se ilustran algunos ejemplos de pantallas faciales protectoras frente a radiaciones térmicas.

Tabla 31.2 • Grados<sup>1</sup> de protección que deben utilizarse en operaciones de soldadura con gas y con latón.

Trabajo realizado	I = caudal de acetileno en litros por hora			
	I ≤ 70	70 < I ≤ 200	200 < I ≤ 800	I > 800
Soldadura con gas y con latón de metales pesados	4	5	6	7
Soldadura con flujos de emisión (sobre todo aleaciones ligeras)	4a	5a	6a	7a

<sup>1</sup> Según las condiciones de uso, puede emplearse la escala inmediatamente superior o inferior. Fuente: ISO 4850.

*Soldadura.* Operarios, soldadores y ayudantes deben llevar gafas de montura integral, cascos o pantallas que proporcionen la máxima protección ocular en cada tipo de trabajo de soldadura y corte. No sólo es necesario protegerse eficazmente frente a la luz y la radiación intensas, sino también frente a los impactos en el rostro, la cabeza y el cuello. Los protectores de plástico o nylon reforzados con fibra de vidrio son eficaces, pero bastante caros. Como material protector se emplean mucho las fibras vulcanizadas. Como se ilustra en la Figura 31.4, para proteger los ojos y la cara al mismo tiempo se usan protectores

Tabla 31.3 • Grados<sup>1</sup> de protección que deben utilizarse en operaciones de corte con oxígeno.

Trabajo realizado	Caudal de oxígeno en litros por hora		
	900 a 2.000	2.000 a 4.000	4.000 a 8.000
Corte con oxígeno	5	6	7

<sup>1</sup> Según las condiciones de uso, puede emplearse la escala inmediatamente superior o inferior.

NOTA: Los valores 900 a 2.000 y 2.000 a 8.000 litros por hora corresponden muy aproximadamente al uso de boquillas de corte de 1, 1,5 y 2 mm, respectivamente.

Fuente: ISO 4850.

Tabla 31.4 • Grados<sup>1</sup> de protección que deben utilizarse en operaciones de corte con arco de plasma.

Trabajo realizado	I = Intensidad en amperios		
	I ≤ 150	150 < I ≤ 250	250 < I ≤ 400
Corte térmico	11	12	13

<sup>1</sup> Según las condiciones de uso, puede emplearse la escala inmediatamente superior o inferior.  
Fuente: ISO 4850.

de tipo casco y de sujeción manual. A continuación se describen los filtros que deben utilizarse en las distintas operaciones de soldadura y corte.

*Bandas de espectro amplia.* Durante las operaciones de soldadura y corte y en los hornos se emiten radiaciones en las bandas ultravioleta, visible e infrarroja del espectro, todas ellas potencialmente nocivas para los ojos. Pueden usarse protectores tipo gafas o gafas de montura integral, como los ilustrados en las Figuras 31.1 y 31.2

y protectores de soldadura, como los que se muestran en la Figura 31.4. En trabajos de soldadura suelen emplearse protectores de casco y de sujeción manual, a veces combinados con gafas o gafas de montura integral. Hay que señalar que también debe usar protección el ayudante del soldador.

Los valores y tolerancias de transmitancia de distintos tipos de filtros y placas filtrantes de protección ocular frente a luz de intensidad elevada se recogen en la Tabla 31.1. Las Tablas 31.2 a 31.6 ofrecen una guía para elegir el filtro adecuado en función del grado de protección.

Constituye una novedad el uso de placas filtrantes fabricadas con superficies de cristal soldadas que se oscurecen y aumentan la capacidad de protección en cuanto se enciende el arco de soldadura. Este oscurecimiento es casi instantáneo, y en algunos tipos se produce en tan sólo 0,1 ms. La buena visibilidad que proporcionan las placas cuando no se está soldando puede favorecer su uso.

*Rayos de láser.* No hay ningún filtro que proteja frente a todas las longitudes de onda del láser. Los distintos tipos de láser varían en longitud de onda; hay tipos que emiten haces de distintas longitudes y otros en los que este valor se modifica con ayuda de sistemas

Tabla 31.5 • Grados<sup>1</sup> de protección que deben utilizarse en operaciones de soldadura o vaciado con arco eléctrico.

Uso	I = Intensidad en amperios																								
	10	15	20	30	40	60	80	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500					
Electrodos cubiertos (arco metálico blindado)				9			10				11					12				13			14		
MIG con metales pesados <sup>2</sup>							10			11					12				13			14			
MIG con aleaciones ligeras							10			11			12				13				14			15	
TIG con todos los metales y aleaciones			9			10			11				12				13				14				
MAG						10			11			12				13				14			15		
Vaciado con arco y aire									10			11			12				13			14			15

<sup>1</sup> Según las condiciones de uso, puede emplearse la escala inmediatamente superior o inferior.

<sup>2</sup> La expresión "metales pesados" se aplica a los aceros, las aleaciones del acero, el cobre y sus aleaciones, etc.

NOTA: Las zonas sombreadas corresponden a los intervalos dentro de los cuales no suelen emplearse operaciones de soldadura en la práctica actual de soldadura manual.

Fuente: ISO 4850.

Tabla 31.6 • Grados<sup>1</sup> de protección que deben utilizarse en operaciones de soldadura directa con arco de plasma.

Uso	I = Intensidad en amperios									
	0,5	1	2,5	5	9	15	30			
Soldadura con arco de microplasma										
			5	6	7	8	9	10		

<sup>1</sup> Según las condiciones de uso, puede emplearse la escala inmediatamente superior o inferior.

Las zonas sombreadas corresponden a los intervalos dentro de los cuales no suelen emplearse operaciones de soldadura en la práctica actual de soldadura manual.

Fuente: ISO 4850.

ópticos. Por tanto, las empresas en las que se trabaja con láser no pueden limitarse al uso de protectores de láser genéricos para evitar las quemaduras oculares de sus trabajadores. No obstante, los operarios de láser necesitan con frecuencia protección ocular. Se comercializan gafas y gafas de montura integral de formas similares a las ilustradas en las Figuras 31.1 y 31.2. Cada tipo de protector presenta una atenuación máxima a una longitud de onda de láser determinada y la protección disminuye rápidamente a otras longitudes. Es esencial elegir el protector ocular adecuado para el tipo de láser, la longitud de onda y la densidad óptica. El dispositivo empleado debe proteger frente a reflejos y luces dispersas y hay que adoptar las máximas precauciones para prevenir y evitar la exposición a radiaciones nocivas.

Cuando se trabaja con protectores oculares y faciales hay que prestar la atención debida a la comodidad y la eficacia. Es importante encomendar el ajuste y la adaptación de estos dispositivos a una persona que haya recibido alguna formación en este terreno. Cada trabajador debe disponer de un protector de uso personal, aunque en talleres grandes pueden suministrarse en común con operaciones de limpieza y tratamiento antivaho. La comodidad es particularmente importante cuando se trabaja con protectores de capucha y casco, pues el calor que producen llega a ser casi insostenible (este efecto puede evitarse con tubos de ventilación). Siempre que los riesgos del proceso de trabajo lo permitan, conviene aprovechar la ventaja psicológica de ofrecer al trabajador la posibilidad de elegir entre distintos tipos de protección.

Los protectores deben examinarse con regularidad para comprobar que se encuentran en orden de servicio. Hay que cerciorarse de que proporcionan protección adecuada en todo momento, incluso cuando se usan instrumentos de corrección de la vista.

Figura 31.5 • Zapatos de seguridad.



desaconsejarse, porque este tipo de calzado puede provocar accidentes.

En ocasiones bastan unos zapatos protectores o unos zuecos y en otros casos hay que usar botas o polainas (véanse las Figuras 31.5, 31.6 y 31.7). La altura del calzado —hasta el tobillo, la rodilla o el muslo— depende del peligro, pero también deben tenerse en cuenta la comodidad y la movilidad. Así, en algunos casos es mejor usar zapatos con polainas que botas altas.

Los zapatos y botas de protección pueden ser de cuero, caucho, caucho sintético o plástico y pueden estar cosidos,

Figura 31.6 • Botas de protección térmica.



## ● PROTECCION DE PIES Y PIERNAS

*Toyohiko Miura*

Las lesiones de pies y piernas son comunes en muchos sectores industriales. La caída de un objeto pesado puede lesionar el pie, en particular los dedos, en cualquier lugar de trabajo, pero sobre todo en industrias pesadas, como la minería, la fabricación de productos metálicos, la ingeniería, la construcción y el montaje. Las quemaduras de las extremidades inferiores por metal fundido, chispas o compuestos químicos corrosivos son frecuentes en talleres de fundición, siderurgia del hierro y el acero, fabricación de productos químicos, etc. Los compuestos ácidos y alcalinos y muchos otros agentes pueden causar dermatitis o eccema. Además, los pies pueden lesionarse al golpear contra algún objeto o al pisar en salientes afilados, como ocurre en el sector de la construcción.

Las mejoras en el medio ambiente de trabajo han hecho de las perforaciones y laceraciones causadas por pisar inadvertidamente clavos salientes y otros objetos agudos un accidente menos común, pero continúan produciéndose lesiones por trabajar en suelos húmedos o inundados, sobre todo si se usa calzado inadecuado.

### Tipos de protección.

El tipo de protección del pie y la pierna debe elegirse en función del peligro. En ciertas industrias ligeras pueden ser suficientes los zapatos normales. Muchas mujeres, por ejemplo, usan calzado que les resulta cómodo, como sandalias o zapatillas viejas o zapatos con tacones muy altos o desgastados. Esta práctica debe

Figura 31.7 • Zapatillas de seguridad.



vulcanizados o moldeados. Como los dedos de los pies son las partes más expuestas a las lesiones por impacto, una puntera metálica es un elemento esencial en todo calzado de seguridad cuando haya tal peligro. Para mejorar la comodidad, la puntera puede ser razonablemente delgada y ligera, y por ello suele fabricarse en acero rápido al carbono. Esta puntera de seguridad puede añadirse a muchos tipos de botas y zapatos. En algunos trabajos en los que la caída de objetos supone un peligro especial, los zapatos de seguridad pueden cubrirse con unas defensas metálicas externas.

Para evitar el riesgo de resbalamiento se usan suelas externas de caucho o sintéticas en diversos dibujos; esta medida es particularmente importante cuando se trabaja en pisos que pueden mojarse o volverse resbaladizos. El material de la suela es mucho más importante que el dibujo, y debe presentar un coeficiente de fricción elevado. En obras de construcción es necesario utilizar suelas reforzadas a prueba de perforación; hay también plantillas internas metálicas para añadir al calzado que carece de esta clase de protección.

Cuando hay peligro de descargas eléctricas, el calzado debe estar íntegramente cosido o pegado o bien vulcanizado directamente y sin ninguna clase de clavos ni elementos de unión conductores de la electricidad. En ambientes con electricidad estática, el calzado protector debe estar provisto de una suela externa de caucho conductor que permita la salida de las cargas eléctricas.

Ahora es de uso común el calzado de doble propósito con propiedades antielectrostáticas y capaz de proteger frente a descargas eléctricas generadas por fuentes de baja tensión. En este último caso hay que regular la resistencia eléctrica entre la plantilla interna y la suela externa con el fin de que el calzado proteja dentro de un intervalo de tensiones determinado.

Antes las únicas consideraciones eran la seguridad y la durabilidad, pero ahora también se tiene en cuenta la comodidad del trabajador y se buscan cualidades como ligereza, comodidad, e incluso diseño atractivo. Las zapatillas deportivas de seguridad son un ejemplo de este tipo de calzado. El diseño y el color pueden utilizarse como símbolo de identidad corporativa, un asunto que en algunos países, como Japón, suscita un interés especial.

Las botas de caucho sintético protegen bien frente a las lesiones de origen químico. El material no debe sufrir una reducción superior al 10 % en la resistencia a la tensión o el alargamiento después de estar sumergido durante 48 horas a temperatura ambiente en una solución de ácido clorhídrico al 20 %.

En medios donde las quemaduras causadas por metales fundidos o productos químicos constituyen un peligro destacado, es importante que los zapatos o botas no tengan lengüeta y que los cordones salgan por la parte superior y no se enganchen por dentro.

Las polainas y espinilleras de caucho o metálicas sirven para proteger la pierna por encima de la línea del calzado, en especial frente al riesgo de quemaduras. A veces hay que utilizar rodilleras, sobre todo cuando el trabajo obliga a arrodillarse, como ocurre en algunos talleres de fundición y moldeo. Cerca de fuentes de calor intenso hay que usar zapatos, botas o polainas protectoras aluminizadas.

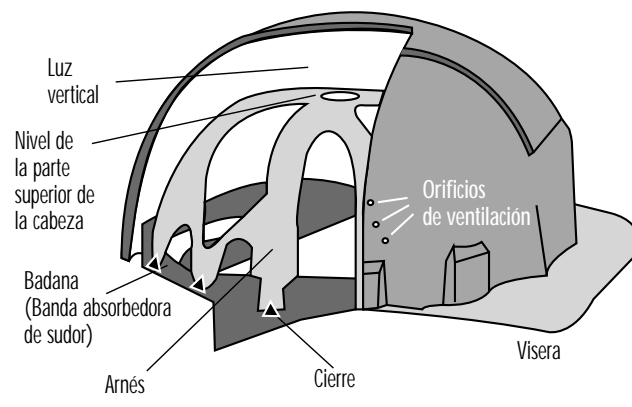
### Uso y mantenimiento

Todo calzado protector debe mantenerse limpio y seco cuando no se usa y debe sustituirse tan pronto como sea necesario. Cuando varias personas comparten las mismas botas de caucho hay que organizar la desinfección sistemática entre usos para evitar la transmisión de infecciones de los pies. El uso de botas o zapatos excesivamente apretados y pesados favorece la aparición de micosis en los pies.

El éxito de cualquier calzado protector depende de su aceptabilidad, un hecho que ahora se refleja de forma generalizada en la muy superior atención que se presta al diseño. La comodidad es una cualidad irrenunciable, y el calzado debe ser todo lo ligero que permita su utilidad. Deben evitarse los zapatos que pesen más de dos kilogramos el par.

A veces la legislación obliga a la empresa a proporcionar protección de seguridad para pies y piernas. Muchas firmas interesadas en aplicar programas avanzados y no sólo en cumplir las obligaciones legales han observado que resulta muy eficaz organizar la venta a precios ventajosos en el lugar de trabajo. Cuando el material de seguridad se ofrece a precio de mayorista o a plazos cómodos de pagar, los trabajadores suelen estar más dispuestos a adquirir y utilizar equipos mejores. Este método permite controlar mejor el tipo de protección que se obtiene y utiliza. No obstante, muchos convenios y reglamentos consideran obligación de la empresa proporcionar a los trabajadores ropa de faena y equipo protector.

Figura 31.8 • Ejemplo de elementos esenciales de la estructura de un casco de seguridad.





## ● PROTECCION DE LA CABEZA

*Isabelle Balty y Alain Mayer*

### Lesiones en la cabeza

Las lesiones en la cabeza son bastante comunes en la industria y suponen entre el 3 % y el 6 % de todas las lesiones laborales en los países industrializados. Suelen ser graves y causan por término medio la pérdida de unas tres semanas de trabajo. Estas lesiones son casi siempre consecuencia de golpes provocados por el impacto de objetos contundentes, como herramientas o tornillos que caen desde varios metros de altura; en otros casos es el trabajador el que se golpea al caer al suelo o chocar contra algún objeto fijo.

Se han registrado distintos tipos de lesiones:

- perforación del cráneo por aplicación de una fuerza excesiva sobre una zona muy localizada, como ocurre cuando se entra en contacto directo con un objeto punzante o afilado;
- fractura del cráneo o de las vértebras cervicales cuando se aplica una fuerza excesiva sobre una superficie mayor, que somete al cráneo a una tensión superior a su elasticidad o a la resistencia a la compresión de la región cervical de la columna;
- lesión cerebral sin fractura del cráneo como consecuencia del desplazamiento súbito del cerebro dentro de la cabeza, con el resultado de contusión, conmoción cerebral, hemorragia cerebral o trastornos circulatorios.

Aunque esencial, es difícil determinar los parámetros físicos responsables de estos distintos tipos de lesión; la abundante documentación dedicada a este asunto revela un desacuerdo considerable. Algunos especialistas consideran que la fuerza es el principal factor, mientras que otros sostienen que la clave está en la energía o la cantidad de movimiento; otras opiniones vinculan la lesión cerebral con la aceleración, la tasa de aceleración o un

índice de choque específico, como HIC, GSI o WSTC. En la mayor parte de los casos intervienen en mayor o menor grado todos estos factores. Se puede afirmar que nuestro conocimiento de los mecanismos del choque de la cabeza es por el momento sólo parcial o contradictorio. La tolerancia de la cabeza al choque se determina experimentalmente en cadáveres o animales, y no es fácil extrapolar los valores así obtenidos a personas vivas.

Según los resultados del análisis de accidentes sufridos por trabajadores de la construcción protegidos con casco, parece que se producen lesiones de cabeza a consecuencia de choques cuando la cantidad de energía es superior a unos 100 J.

Hay otros tipos de lesiones menos frecuentes pero que no deben infravalorarse: quemaduras por salpicadura de líquidos calientes o corrosivos o materiales fundidos, o descargas eléctricas debidas al contacto accidental de la cabeza con conductores que están al descubierto.

### Cascos de seguridad

El principal objetivo del casco de seguridad es proteger la cabeza de quien lo usa de peligros y golpes mecánicos. También puede proteger frente a otros riesgos de naturaleza mecánica, térmica o eléctrica.

Para reducir las consecuencias destructivas de los golpes en la cabeza, el casco debe cumplir las siguientes condiciones:

1. Limitar la presión aplicada al cráneo distribuyendo la carga sobre la mayor superficie posible. Esto se logra dotándolos de un arnés lo suficientemente grande para que pueda adaptarse bien a las distintas formas del cráneo, combinado con un armazón duro de resistencia suficiente para evitar que la cabeza entre en contacto directo con objetos que caigan accidentalmente o contra los que golpee el usuario (Figura 31.8). Por tanto, el armazón debe resistir la deformación y la perforación.

Tabla 31.7 • Cascos de seguridad: requisitos de ensayo de la norma ISO 3873-1997.

Característica	Descripción	Criterios
<b>Pruebas obligatorias</b>		
Absorción de impactos	Se deja caer una masa hemisférica de 5 kg desde una altura de 1 m y se mide la fuerza transmitida por el casco a una falsa cabeza fija.	La fuerza máxima medida no debe ser superior a 500 daN.
Resistencia a la penetración	La prueba se repite con un casco a temperaturas de -10°, +50°C y en condiciones de humedad. Se golpea el casco dentro de una zona de 100 mm de diámetro situada en su punto más alto con un punzón cónico de 3 kg de peso y un ángulo de punta de 60°.	La punta del punzón no debe entrar en contacto con la cabeza falsa.
Resistencia a la llama	La prueba debe realizarse en las condiciones que hayan arrojado el peor resultado en la prueba de impacto. El casco se expone durante 10 s a la llama de un mechero Bunsen de 10 mm de diámetro alimentado por propano.	El armazón exterior no debe arder durante más de 5 s después de haber retirado la llama.
<b>Pruebas opcionales</b>		
Resistencia dieléctrica	Se llena el casco con una solución de CINA y se sumerge en un baño de esta misma solución. Se aplica una tensión de 1.200 V a 50 Hz y se miden las fugas eléctricas.	La intensidad de la corriente de fuga no debe ser superior a 1,2 mA.
Rigidez lateral	Se coloca el casco de lado entre dos placas paralelas y se somete a una fuerza de compresión de 430 N	La deformación bajo carga no debe ser superior a 40 mm y la deformación permanente no debe exceder de 15 mm.
Prueba de baja temperatura	Se somete el casco a las pruebas de impacto y penetración a una temperatura de -20°C.	El casco debe satisfacer los requisitos indicados para estas dos pruebas.

2. Desviar los objetos que caigan por medio de una forma adecuadamente lisa y redondeada. Los cascos con rebordes salientes tienden a parar los objetos que caen en lugar de desviarlos y, por tanto, absorben algo más de energía cinética que los totalmente lisos.
3. Disipar y dispersar la posible energía que se les transmita de modo que no pase en su totalidad a la cabeza y el cuello. Esto se logra por medio revestimiento del arnés, que debe estar bien sujeto al armazón duro y absorber los golpes sin desprenderse de él. También debe ser suficientemente flexible para deformarse por efecto del impacto sin tocar la superficie interior del armazón. Esta deformación, que absorbe casi toda la energía del choque, está limitada por la cantidad de espacio libre entre el armazón duro y el cráneo, y por la elongación máxima que tolera el arnés antes de romperse. Por tanto, la rigidez o dureza del arnés debe atender tanto a la cantidad máxima de energía que puede absorber como a la tasa progresiva a la que el golpe puede transmitirse a la cabeza.

Los cascos utilizados para trabajos especiales deben cumplir otros requisitos, como la protección frente a salpicaduras de metal fundido, en la industria del hierro y del acero, o frente a descargas eléctricas por contacto directo en trabajos de electricidad.

Los materiales empleados en la fabricación de cascos y arneses deben conservar sus propiedades protectoras durante mucho tiempo y en todas las condiciones climatológicas previsibles, como sol, lluvia, calor, heladas, etc. También deben ofrecer buena resistencia a la llama y resistir sin romperse caídas de algunos metros contra superficies duras.

### Pruebas de rendimiento

La norma internacional ISO 3873-1977 se publicó en 1977 como resultado del trabajo del Subcomité dedicado al estudio de "cascos industriales de seguridad". Esta norma, aprobada prácticamente por todos los Estados miembros de la ISO, describe las características esenciales que debe cumplir un casco de seguridad y los métodos de prueba relacionadas con éstas. Las pruebas pueden dividirse en dos grupos (véase la Tabla 31.7):

1. *Pruebas obligatorias:* se aplican a todos los tipos de cascos, sea cual sea el uso al que estén destinadas: capacidad de absorción de golpes, resistencia a la perforación y resistencia a la llama.
2. *Pruebas opcionales:* se aplican a cascos de seguridad diseñados para grupos de usuarios especiales: resistencia dieléctrica, resistencia a la deformación lateral y resistencia a bajas temperaturas.

La resistencia al envejecimiento de los materiales plásticos utilizados en la fabricación de cascos no está especificada en la norma ISO 3873-1977, pero esta especificación debería exigirse en cascos de plástico. Una prueba sencilla consiste en exponer el casco a una lámpara de xenón de alta presión de 450 vatios con ampolla de cuarzo durante 400 horas a una distancia de 15 cm y comprobar a continuación si todavía resiste la prueba de perforación apropiada.

Se recomienda someter los cascos utilizados en la industria del hierro y del acero a una prueba de resistencia a las salpicaduras de metal fundido. Una forma rápida de comprobar el comportamiento en estas circunstancias consiste en verter 300 gramos de metal fundido a 1.300°C sobre la parte superior del casco y comprobar que no ha pasado nada al interior.

La norma europea EN 397 adoptada en 1995 especifica requisitos y métodos de ensayo para estas dos importantes características.

### Elección de un casco de seguridad

Todavía no se ha inventado el casco ideal que proporcione protección y comodidad perfectas en todas las situaciones. De hecho, protección y comodidad son exigencias frecuentemente contradictorias. En lo que se refiere a la protección, hay que elegir el casco considerando los peligros frente a los que se busca protección y las condiciones de uso, prestando especial atención a las características de los productos de seguridad disponibles.

#### Consideraciones generales

Es aconsejable que se utilicen cascos que cumplan las recomendaciones de la norma ISO 3873 (o equivalente). La norma europea EN 397-1993 se utiliza como referencia para la certificación de cascos en aplicación de la Directiva 89/686/CEE. El equipo sujeto a esta certificación (casi todo el material de protección personal) se somete obligatoriamente a la certificación por un tercero antes de comercializarlo en Europa. En cualquier caso, los cascos deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Un buen casco de seguridad para uso general debe tener un armazón exterior fuerte, resistente a la deformación y la perforación (si es de plástico, ha de tener al menos 2 mm de grosor); un arnés sujeto de manera que deje una separación de 40 a 50 mm entre su parte superior y el armazón; y una banda de cabeza ajustable sujeta al revestimiento interior que garantice una adaptación firme y estable (véase la Figura 31.8).
2. La mejor protección frente a la perforación la proporcionan los cascos de materiales termoplásticos (policarbonatos, ABS, polietileno y policarbonato con fibra de vidrio) provistos de un buen arnés. Los cascos de aleaciones metálicas ligeras no resisten bien la perforación por objetos agudos o de bordes afilados.
3. No deben utilizarse cascos con salientes interiores, ya que pueden provocar lesiones graves en caso de golpe lateral. Deben estar provistos de un relleno protector lateral que no sea inflamable ni se funda por el calor. Para este fin sirve un acolchado de espuma rígida y resistente a la llama de 10 a 15 mm de espesor y al menos 4 cm de anchura.
4. Los cascos fabricados con polietileno, polipropileno o ABS tienden a perder la resistencia mecánica por efecto del calor, el frío y la exposición al sol fuerte o a fuentes intensas de radiación ultravioleta (UV). Si este tipo de cascos se utilizan con regularidad al aire libre o cerca de fuentes de UV, como las estaciones de soldadura, deben sustituirse al menos una vez cada tres años. En estas condiciones conviene utilizar cascos de policarbonato, poliéster o policarbonato con fibra de vidrio, ya que resisten mejor el paso del tiempo. En todo caso, el casco debe desecharse si se decolora, se agrieta, desprende fibras o cruje al combarlo.
5. También debe desecharse el casco si ha sufrido un golpe fuerte, aunque no presente signos visibles de haber sufrido daños.

#### Consideraciones particulares

Los cascos fabricados con aleaciones ligeras o provistos de un reborde lateral no deben utilizarse en lugares de trabajo expuestos al peligro de salpicaduras de metal fundido. En estas circunstancias se recomiendan los de poliéster con fibra de vidrio, tejidos fenólicos, policarbonato con fibra de vidrio o policarbonato.

Cuando hay peligro de contacto con conductores eléctricos desnudos, deben utilizarse exclusivamente cascos de materiales termoplásticos. Deben carecer de orificios de ventilación y los remaches y otras posibles piezas metálicas no deben asomar por el exterior del armazón.

Los cascos destinados a personas que trabajan en lugares altos, en particular los montadores de estructuras metálicas, deben estar provistos de barboquejo con una cinta de aproximadamente 20 mm de anchura y capaz de sujetar el casco con firmeza en cualquier situación.

Los cascos construidos en su mayor parte de polietileno no son recomendables para trabajar a temperaturas elevadas. En estos casos son más adecuados los de policarbonato, policarbonato con fibra de vidrio, tejido fenólico o poliéster con fibra de vidrio. El arnés debe ser de un material tejido. Si no hay peligro de contacto con conductores desnudos, el armazón puede llevar orificios de ventilación.

En situaciones en las que haya peligro de aplastamiento hay que usar cascos de poliéster o policarbonato reforzados con fibra de vidrio y provistos de un reborde de al menos 15 mm de anchura.

### Consideraciones de comodidad

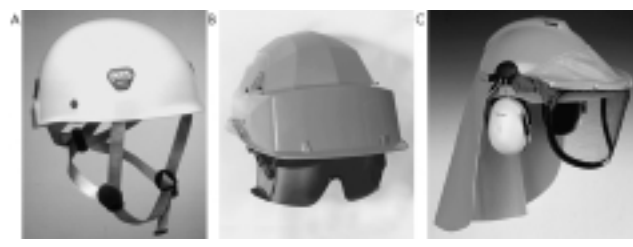
Además de la seguridad hay que considerar los aspectos fisiológicos de comodidad del usuario.

El casco debe ser lo más ligero posible y, en cualquier caso, no pesar más de 400 gramos. El arnés debe ser flexible y permeable a los líquidos y no irritar ni lesionar al usuario; por ello, los de material tejido son preferibles a los de polietileno. La badana de cuero, completa o media, es necesaria para absorber el sudor y reducir la irritación de la piel; por motivos higiénicos, debe sustituirse varias veces a lo largo de la vida del casco. Para mejorar la comodidad térmica, el armazón debe ser de color claro y tener orificios de ventilación con una superficie comprendida entre 150 y 450 mm<sup>2</sup>. Es imprescindible ajustar bien el casco al usuario para garantizar la estabilidad y evitar que se deslice y limite el campo de visión. La forma de casco más común dentro de las diversas comercializadas es la de "gorra", con visera y reborde alrededor. En canteras y obras de demolición protege mejor un casco de este tipo pero con un reborde más ancho, en forma de "sombbrero". Cuando se trabaja a cierta altura es preferible utilizar cascos sin visera ni reborde, con forma de "casquete" ya que estos elementos podrían entrar en contacto con las vigas o pilares entre los que deben moverse a veces los trabajadores, con el consiguiente riesgo de pérdida del equilibrio.

### Accesorios y otros protectores de la cabeza

Los cascos pueden estar equipados con pantallas protectoras de los ojos o la cara hechas de plástico, malla metálica o filtros ópticos. Pueden contar también con protectores de los oídos, cintas para sujetar el casco firmemente a la barbilla o a la nuca, y protectores de cuello o capuchas de lana para abrigarse del frío o el viento (Figura 31.9). En minas y canteras subterráneas se usan soportes para bombilla y cable.

Figura 31.9 • Ejemplos de cascos de seguridad con barboquejo (a), filtro óptico (b) y faldilla de lana para proteger el cuello del viento y el frío (c).



Hay también equipos protectores de la cabeza pensados para proteger al trabajador de la suciedad, el polvo, las abrasiones de la piel y los chichones. A veces se llaman chichoneras y son de plástico ligero o de lino. Cuando se trabaja cerca de máquinas herramientas, como taladradoras, tornos, devanaderas, etc., en las que hay peligro de que se enrede el pelo, puede usarse una gorra de lino con una redecilla, redecillas con visera o un simple turbante, siempre que no tengan puntas sueltas.

### Higiene y mantenimiento

Todo el equipo protector de la cabeza se debe limpiar y verificar con regularidad. Si el casco presenta hendiduras o grietas o indicios de envejecimiento o deterioro del arnés, debe desecharse. La limpieza y desinfección son particularmente importantes si el usuario suda mucho o si el casco deben compartirlo varios trabajadores.

Los materiales que se adhieran al casco, tales como yeso, cemento, cola o resinas, se pueden eliminar por medios mecánicos o con un disolvente adecuado que no ataque el material del que está hecho el armazón exterior. También se puede usar agua caliente, un detergente y un cepillo de cerda dura.

La desinfección se realiza sumergiendo el casco en una solución apropiada, como formol al 5 % o hipoclorito sódico.

## PROTECCION DE LOS OIDOS

*John R. Franks y Elliott H. Berger*

### Protectores para los oídos

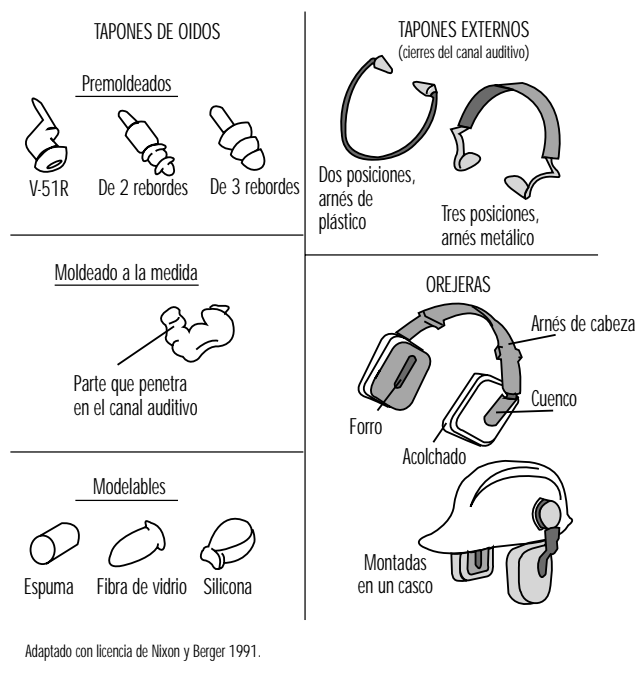
No se sabe cuándo se observó por primera vez que taparse los oídos con las palmas de las manos o taponar los canales auditivos con los dedos reducía la intensidad del sonido no deseado —es decir, del ruido—, pero esta técnica elemental se ha utilizado durante muchas generaciones como última línea defensiva frente a los ruidos fuertes. Por desgracia, esta tecnología impide el uso de casi todas las demás. Los protectores de los oídos, una solución obvia al problema, reducen el ruido obstaculizando su trayectoria desde la fuente hasta el canal auditivo. Adoptan formas muy variadas, como ilustra la Figura 31.10.

Los tapones para los oídos se llevan en el canal auditivo externo. Se comercializan tapones premoldeados de uno o varios tamaños normalizados que se ajustan al canal auditivo de casi todo el mundo. Los moldeables se fabrican en un material blando que el usuario adapta a su canal auditivo de modo que forme una barrera acústica. Los tapones a la medida se fabrican individualmente para que encajen en el oído del usuario. Hay tapones auditivos de vinilo, silicona, elastómeros, algodón y cera, lana de vidrio hilada y espumas de celda cerrada y recuperación lenta.

Los tapones externos se sujetan aplicándolos contra la abertura del canal auditivo externo y ejercen un efecto similar al de taponarse los oídos con los dedos. Se fabrican en un único tamaño y se adaptan a la mayor parte de los oídos. Se sujetan con un arnés de cabeza ligero que ejerce una presión leve.

Las orejeras están formadas por un arnés de cabeza de metal o de plástico que sujeta dos copas circumauriculares hechas casi siempre de plástico. Este dispositivo encierra por completo el pabellón auditivo externo y se aplica herméticamente a la cabeza por medio de una almohadilla de espuma plástica o rellena de líquido. Casi todas las orejeras tienen un revestimiento interior que absorbe el sonido transmitido a través del armazón diseñado para mejorar la atenuación por encima de aproximadamente 2.000 Hz. En algunos de estos dispositivos, el arnés de cabeza puede colocarse por encima de la cabeza, por detrás del cuello y por debajo de la barbilla, aunque la

Figura 31.10 • Ejemplos de distintos tipos de protectores auditivos.



protección que proporcionan en cada posición varía. Otros se montan en un casco rígido, pero suelen ofrecer una protección inferior, porque esta clase de montura hace más difícil el ajuste de las orejeras y no se adapta tan bien como la diadema a la diversidad de tamaños de cabeza.

En Estados Unidos hay 53 fabricantes y distribuidores de protectores auditivos que, en julio de 1994, comercializaban 86 modelos de tapones, 138 de orejeras y 17 de tapones externos. Pese a esta diversidad, los tapones de espuma de usar y tirar representan más de la mitad de los protectores auditivos utilizados en Estados Unidos.

**La última línea defensiva**

La forma más eficaz de evitar la pérdida auditiva debida al ruido es mantenerse lejos de zonas con ruidos peligrosos. En muchos entornos de trabajo podría rediseñarse el proceso de producción de manera que los trabajadores pudiesen operar desde salas de control cerradas y aisladas acústicamente. En estos recintos el ruido se reduce hasta un nivel que no supone ningún peligro y permite mantener en ellas una comunicación oral sin obstáculos. La siguiente medida en orden de eficacia para evitar la pérdida auditiva debida al ruido es reducir éste en el origen, de modo que deje de ser peligroso. Esto suele hacerse diseñando equipos silenciosos o adaptando dispositivos de control a los equipos en uso.

Cuando no es posible evitar el ruido o reducirlo en su origen, los protectores de los oídos se convierten en el último recurso. Como última línea defensiva carecen de red de seguridad y es fácil que disminuya su eficacia.

Una forma de limitar la eficacia de los protectores auditivos es no utilizarlos durante todo el tiempo. La Figura 31.11 ilustra lo que ocurre: a la larga, por muy buena protección que proporcione el diseño del dispositivo, esa protección se ve reducida a medida que se acorta el tiempo de uso. Los trabajadores que se quitan uno de los tapones o se levantan una de las orejeras para

hablar con un compañero en un medio ruidoso pueden ver gravemente mermada la protección auditiva.

**Sistemas de valoración y formas de utilizarlos**

Hay muchas formas de valorar los protectores auditivos. Los métodos más comunes son los de una sola cifra, como la Noise Reduction Rating (NRR) (EPA 1979) utilizada en Estados Unidos, y la Single Number Rating (SNR) utilizada en Europa (ISO 1994). Otro método europeo de valoración es el HML (ISO 1994), que se sirve de tres números para clasificar los protectores. Por último, hay métodos basados en la atenuación de los protectores auditivos para cada banda de octava de la escala; este método se denomina el largo o de banda de octava en Estados Unidos y de valor de protección asumido en Europa (ISO 1994).

Todos estos métodos utilizan la atenuación auditiva real a valores umbral provocada por los protectores según se determina en el laboratorio de acuerdo con las normas relevantes. En Estados Unidos las pruebas de atenuación se basan en la norma ANSI S3.19, Método de Medida de la protección auditiva real de los protectores de los oídos y la atenuación física de las orejeras (ANSI 1974). Aunque esta norma ha sido reemplazada por otra más nueva (ANSI 1984), la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos controla el valor de NRR que figura en las etiquetas de los protectores auditivos y exige que se aplique la norma más antigua. En Europa, las pruebas de atenuación se rigen por la norma ISO 4869-1 (ISO 1990).

En general, los métodos de laboratorio exigen que se determinen los umbrales auditivos del campo acústico con los protectores colocados y sin ellos. En Estados Unidos, los protectores debe ajustarlos el experimentador, mientras que en Europa es el sujeto, ayudado por el experimentador, quien se encarga de esta tarea. La diferencia entre los umbrales del campo acústico determinados con y sin los protectores es la atenuación auditiva real en el umbral. Se recopilan datos correspondientes a un grupo de sujetos, en este momento diez en Estados Unidos con tres ensayos cada uno y 16 en Europa, con un ensayo cada uno. Para cada banda de octava ensayada se determinan la atenuación media y la desviación típica correspondiente.

Figura 31.11 • Disminución de la protección eficaz a medida que aumenta el tiempo sin usarla en una jornada de 8 horas (basado en una tasa de cambio de 3 dB).

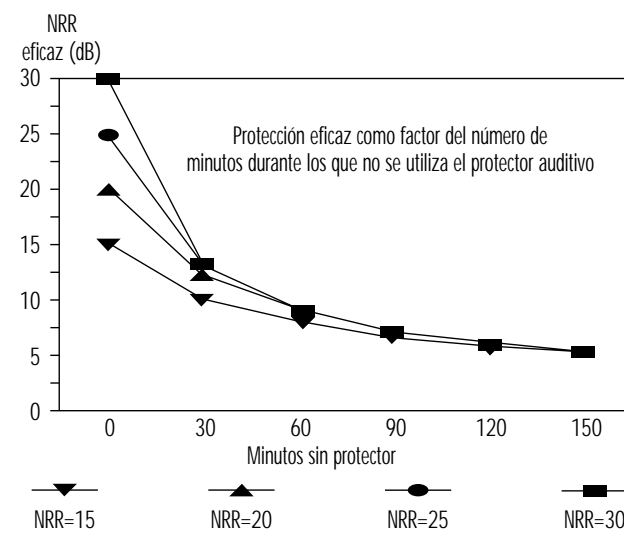


Tabla 31.8 • Ejemplo de cálculo de la puntuación de reducción de ruido (NRR) de un protector auditivo.

**Procedimiento:**

1. Tabular las intensidades de presión sonora de un ruido con energía constante por octava ajustado arbitrariamente para simplificar el cálculo a una intensidad de 100 dB en cada octava.
2. Tabular los ajustes para la escala ponderada C para cada centro de octava.
3. Sumar las líneas 1 y 2 para obtener las intensidades ponderadas C por octava y combinarlas logaritmicamente para determinar la presión sonora ponderada C.
4. Tabular los ajustes para la escala ponderada A en el centro de cada octava.
5. Sumar las líneas 1 y 4 para obtener la intensidad ponderada A por octava.
6. Tabular la atenuación proporcionada por el dispositivo.
7. Tabular las desviaciones típicas de la atenuación (multiplicadas por 2) proporcionada por el dispositivo.
8. Restar los valores de las atenuaciones medias (paso 6) y sumar los valores de las desviaciones típicas multiplicadas por 2 (paso 7) a los valores ponderados A (paso 5) para obtener las intensidades ponderadas A por octava dentro del dispositivo tal como se haya ajustado y ensayado en el laboratorio. Combinar logaritmicamente las intensidades ponderadas A por octava para obtener la intensidad sonora ponderada A efectiva cuando se utiliza el dispositivo.
9. Restar de la intensidad de presión sonora ponderada C (paso 3) la intensidad de la presión sonora ponderada A (paso 8) y un factor de seguridad de 3 dB para obtener el NRR.

Pasos	Frecuencia central de la octava en Hz							dBX
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Intensidad sonora supuesta por octava	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
2. Corrección de ponderación C	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,8	-3,0	
3. Intensidades ponderadas C por octava	99,8	100,0	100,0	100,0	99,8	99,2	97,0	107,9 dBC
4. Corrección ponderada A	-1,0	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1	
5. Intensidades ponderadas A por octava	83,9	91,4	96,8	100,0	101,2	101,0	98,9	
6. Atenuación del protector auditivo	27,4	26,6	27,5	27,0	32,0	46,0 <sup>1</sup>	44,2 <sup>2</sup>	
7. Desviación típica × 2	7,8	8,4	9,4	6,8	8,8	7,3 <sup>3</sup>	12,8 <sup>4</sup>	
8. Intensidades ponderadas A estimadas por octava	64,3	73,2	78,7	79,8	78,0	62,3	67,5	84,2 dBA
9. $NRR = 107,9 - 84,2 - 3 = 20,7$ (Paso 3 - Paso 8 - 3 dB <sup>5</sup> )								

<sup>1</sup> Atenuación media a 3.000 y 4.000 Hz. <sup>2</sup> Atenuación media a 6.000 y 8.000 Hz. <sup>3</sup> Suma de las desviaciones típicas a 3.000 y 4.000 Hz. <sup>4</sup> Suma de las desviaciones típicas a 6.000 y 8.000 Hz.  
<sup>5</sup> El factor de corrección de 3 dB tiene por objeto compensar la incertidumbre espectral debida a que el ruido bajo el cual debe utilizarse el protector auditivo puede desviarse del espectro de ruido con energía constante por octava utilizado para calcular el NRR.

En la Tabla 31.8 se describen, para ilustrar el debate, los métodos NRR y de banda de octava.

La escala NRR puede utilizarse para determinar el nivel acústico protegido, es decir, la presión acústica real ponderada A en el oído, restando del nivel acústico ambiental ponderado C. Así, si el nivel acústico ambiental ponderado C es de 100 dBC y el valor NRR del protector es de 21 dB, el nivel acústico protegido sería igual a 79 dBA (100 - 21 = 79). Si sólo se conoce el nivel acústico ambiental ponderado A, se utiliza una corrección de 7 dB (Franks, Themann y Sheris 1995). Así, si el nivel acústico ponderado A es de 103 dBA, el nivel acústico protegido sería de 89 dBA (103-[21-7] = 89).

El método de la banda de octava exige conocer los niveles acústicos ambientales por octava (no hay ninguna técnica abreviada). Muchos medidores acústicos modernos determinan al mismo tiempo los niveles ambientales por octava, ponderado C y ponderado A. Sin embargo, no hay dosímetros que proporcionen datos por octava. El cálculo por el método de la banda de octava se describe a continuación y se ilustra en la Tabla 31.9.

Las correcciones de desviación típica sustractiva aplicadas en los métodos de banda de octava y NRR tienen por objeto

utilizar las medidas de variabilidad de laboratorio para ajustar las estimaciones de protección de manera que se correspondan con los valores esperados para la mayor parte de los usuarios (el 98 % con una corrección igual a dos veces la desviación típica o el 84 % con una corrección igual a una vez la desviación típica) que utilizan los protectores en condiciones idénticas a las empleadas en el ensayo. Como es lógico, la idoneidad de estos ajustes depende en buena parte de la validez de las desviaciones típicas estimadas en el laboratorio.

**Comparación entre los métodos de la banda de octava y NRR**

Los cálculos de los métodos de la banda de octava y NRR pueden compararse restando el valor NRR (20,7) de la presión acústica ponderada C para el espectro de la Tabla 31.9 (95,2 dBC) para predecir el nivel real cuando se lleva el protector auditivo (74,5 dBA). Este resultado se compara favorablemente con el valor de 73,0 dBA calculado mediante el método de la banda de octava en la Tabla 31.9. Parte de la disparidad entre las dos estimaciones se debe al uso del factor de seguridad espectral aproximado de 3 dB incorporado en la línea 9 de la Tabla 31.8. Este factor tiene por objeto compensar los errores derivados del uso de un ruido supuesto en lugar de uno

Tabla 31.9 • Ejemplo de método de cálculo de banda de octava de la reducción de ruido ponderada A correspondiente a un protector auditivo en un medio ruidoso conocido.

**Procedimiento:**

1. Tabular las intensidades de ruido medioambiental medidas por octava.
2. Tabular los ajustes de ponderación A para el centro de cada octava de frecuencias.
3. Sumar los resultados de los pasos 1 y 2 para obtener las intensidades ponderadas A por octava. Combinar logarítmicamente estas intensidades para obtener la intensidad medioambiental de ruido ponderada A.
4. Tabular la atenuación proporcionada por el dispositivo para cada octava.
5. Tabular las desviaciones típicas de la atenuación (multiplicada por 2) que proporciona el dispositivo en cada octava.
6. Obtener las intensidades ponderadas A por octava dentro del protector restando la atenuación media (paso 4) de las intensidades por octava ponderadas A (paso 3) y sumando la desviación típica de las atenuaciones multiplicada por 2 (paso 5). Las intensidades ponderadas A por octava se combinan logarítmicamente para obtener la intensidad sonora efectiva ponderada A cuando se usa el protector. La reducción de ruido ponderada A estimada en un medio ambiente dado se calcula restando la intensidad sonora ponderada A dentro del protector de la intensidad sonora medioambiental (resultado del paso 3 menos resultado del paso 6).

Pasos	Frecuencia central de la octava en Hz							dBA
	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	
1. Intensidades sonoras medidas por octava	85,0	87,0	90,0	90,0	85,0	82,0	80,0	
2. Corrección ponderada A	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	+1,2	+1,0	-1,1	
3. Intensidades ponderadas A por octava	68,9	78,4	86,8	90,0	86,2	83,0	78,9	93,5
4. Atenuación del protector auditivo	27,4	26,6	27,5	27,0	32,0	46,0 <sup>1</sup>	44,2 <sup>2</sup>	
5. Desviación típica × 2	7,8	8,4	9,4	6,8	8,8	7,3 <sup>3</sup>	12,8 <sup>4</sup>	
6. Intensidades protegidas ponderadas A estimadas por octava (Paso 3 – Paso 4 + Paso 5)	49,3	60,2	68,7	69,8	63,0	44,3	47,5	73,0

<sup>1</sup> Atenuación media a 3.000 y 4.000 Hz. <sup>2</sup> Atenuación media a 6.000 y 8.000 Hz. <sup>3</sup> Suma de desviaciones típicas a 3.000 y 4.000 Hz. <sup>4</sup> Suma de desviaciones típicas a 6.000 y 8.000 Hz.

real. Según la pendiente del espectro y la forma de la curva de atenuación del protector auditivo, las diferencias entre los dos métodos pueden ser mayores de lo ilustrado en este ejemplo.

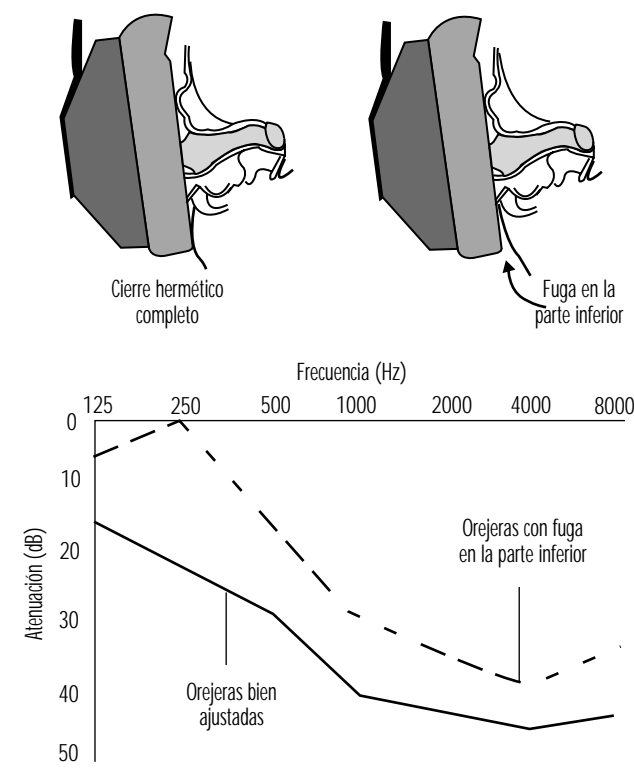
**Fiabilidad de los datos de las pruebas**

Por desgracia, los valores de atenuación y las correspondientes desviaciones típicas obtenidas en los laboratorios de Estados Unidos y, en menor medida, de Europa no son representativos de los obtenidos por los usuarios en su trabajo diario. Berger, Franks y Lindgren (1996) revisaron 22 estudios de protectores auditivos en condiciones reales y descubrieron que los valores comunicados por los laboratorios de Estados Unidos en la etiqueta exigida por la EPA sobrestimaban la protección en un factor comprendido entre el 140 % y casi el 2.000 %. La sobrestimación era máxima para los tapones auditivos y mínima para las orejeras. Desde 1987, el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos recomienda que el valor NRR atribuido a las orejeras se reduzca en un 25 %, el atribuido a los tapones moldeables en un 50 % y el atribuido a los tapones moldeados en un 70 % antes de realizar los cálculos de nivel acústico con el protector auditivo (Rosenstock 1995).

**Variabilidad dentro del laboratorio y entre laboratorios**

Otra consideración, aunque con repercusiones menos importantes que los aspectos relacionados con las condiciones reales que acaban de comentarse, es la relativa a la validez y la variabilidad dentro del laboratorio y a las diferencias entre laboratorios. Esta última puede ser considerable (Berger, Kerivan y Mintz 1982) y afectar a los valores calculados de octava y NRR, tanto en términos de cálculos absolutos como de clasificación. Por tanto, incluso la clasificación de los protectores auditivos basada en valores de atenuación es preferible basarla por el momento en datos obtenidos en un único laboratorio.

Figura 31.12 • Orejeras bien y mal ajustadas y consecuencias para la atenuación.



### Aspectos importantes en los que basar la elección de protectores

Al elegir un protector auditivo hay que considerar varios aspectos importantes (Berger 1988). El más importante es la idoneidad del protector para el ruido ambiental en el que debe utilizarse. La Modificación sobre conservación del oído de la Norma sobre ruidos de la OSHA (1983) recomienda que el nivel acústico en el interior del protector sea, como máximo de 85 dB. El NIOSH ha recomendado que el nivel acústico dentro del protector no supere los 82 dBA, con el fin de que el riesgo de pérdida auditiva inducida por el ruido sea mínimo (Rosenstock 1995).

En segundo lugar, la protección no debe ser excesiva. Si el nivel acústico protegido está más de 15 dB por debajo del valor deseado, el protector induce una atenuación excesiva y se considera que el usuario está excesivamente protegido y, por tanto, se siente aislado del entorno (BSI 1994). Puede resultar difícil escuchar la voz y las señales de advertencia y el usuario se retirará el protector cuando necesite comunicarse (como ya se ha comentado) y verificar las señales de aviso o deberá modificarlo para reducir su atenuación. En cualquiera de los dos casos, la protección se reducirá hasta el extremo de no impedir la pérdida auditiva.

En la actualidad es difícil determinar con exactitud los niveles acústicos protegidos, puesto que las atenuaciones y desviaciones típicas y los valores de NRR resultantes están sobreestimados. No obstante, la aplicación de los factores de reducción recomendados por el NIOSH mejoraría la exactitud a corto plazo de estas determinaciones.

La comodidad es un aspecto decisivo. Llevar un protector auditivo nunca puede ser tan cómodo como no llevar ninguno. Cubrir u obstruir el oído causa muchas sensaciones no naturales, que van desde la alteración del sonido de la propia voz a consecuencia del "efecto de oclusión" (véase más adelante) hasta la sensación de ocupación del oído o de presión sobre la cabeza. Las orejeras y los tapones resultan más incómodos en ambientes calurosos porque aumentan la transpiración. El usuario necesita tiempo para acostumbrarse a las sensaciones y la incomodidad que provoca el protector. No obstante, si experimenta incomodidades como dolor de cabeza a consecuencia de la presión del arnés de cabeza o dolor en el canal auditivo provocado por los tapones se le deberían proporcionar dispositivos protectores de otro tipo.

Si se utilizan orejeras o tapones reutilizables hay que adoptar medidas para mantenerlos limpios. En el caso de las orejeras, el usuario debe disponer de repuestos, como almohadillas o revestimientos interiores del cuenco. Cuando se usan tapones de usar y tirar, hay que disponer de suficientes unidades nuevas para reponer. Si se emplean tapones reutilizables, hay que instalar un dispositivo de limpieza. Los usuarios de tapones a la medida deben contar con instalaciones para limpiarlos y con tapones nuevos para sustituir a los desgastados o rotos.

El trabajador estadounidense medio está expuesto a 2,7 peligros profesionales al día (Luz y cols. 1991). Estos peligros pueden exigir el uso de otros dispositivos de protección, como cascos, pantallas oculares o equipos de protección respiratoria. Es importante que el protector auditivo elegido sea compatible con otros dispositivos de seguridad. El *Compendium of Hearing Protective Devices* (Franks, Themann and Sherris 1995) del NIOSH tiene tablas que, entre otras cosas, indican la compatibilidad de cada protector auditivo con otros dispositivos de seguridad.

### El efecto de oclusión

El efecto de oclusión describe el aumento de la eficacia con que el sonido transmitido por el hueso llega al oído a frecuencias inferiores a 2.000 Hz cuando el canal auditivo se obstruye con el

dedo o con un tapón o se cubre con orejeras. La magnitud del efecto de oclusión depende de la forma de tapar el oído. El efecto máximo se obtiene cuando se bloquea la entrada del canal auditivo. Las orejeras de cuenco grande y los tapones insertados profundamente provocan el efecto de oclusión mínimo (Berger 1988). El efecto de oclusión suele inducir a los trabajadores a resistirse a utilizar protectores porque les desagrada el sonido de su propia voz, que perciben más fuerte y amortiguada.

### Efecto sobre la comunicación

Debido al efecto de oclusión que causan la mayor parte de los protectores auditivos, la propia voz tiende a sonar más fuerte (como los protectores reducen el ruido ambiental, la voz suena más alta que cuando se desprotegen los oídos). Para adaptarse al mayor volumen de su propia voz, casi todos los usuarios tienden a bajarla considerablemente. Bajar la voz en un medio ruidoso donde el interlocutor lleva también protectores auditivos contribuye a dificultar la comunicación. Además, incluso sin efecto de oclusión, casi todos los usuarios elevan la voz en sólo 5 a 6 dB por cada 10 dB de aumento del ruido ambiental (efecto Lombard). Por tanto, la combinación de voz más baja a consecuencia del uso de protectores auditivos y de una elevación insuficiente para compensar el ruido ambiental afecta gravemente a la capacidad de los usuarios de protectores auditivos para escucharse y entenderse en ambientes ruidosos.

### Funcionamiento de los protectores del oído

#### Orejeras

La función básica de las orejeras es cubrir el oído externo con un cuenco que forma un cierre acústico atenuador del ruido. La

Figura 31.13 • Tapón de espuma para los oídos, bien y mal ajustado, y consecuencias para la atenuación.

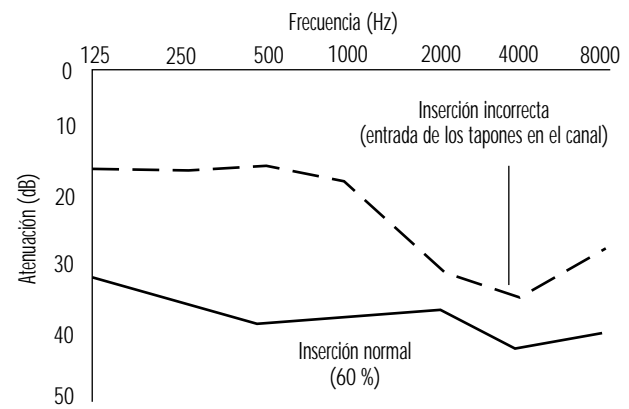
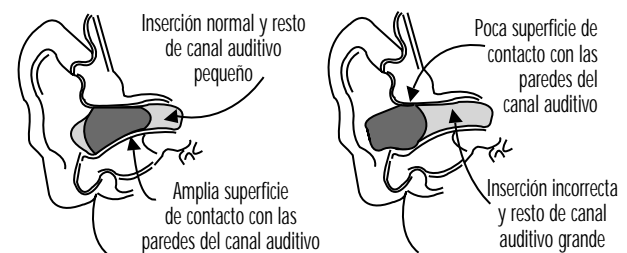
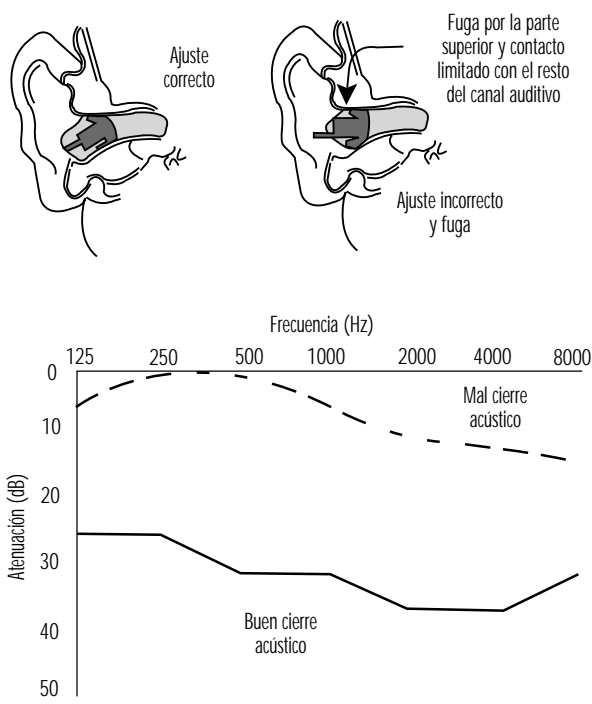


Figura 31.14 • Tapón premoldeado para los oídos, bien y mal ajustado, y consecuencias para la atenuación.



forma del cuenco y el tipo de almohadillado y la tensión del arnés de cabeza de sujeción son los factores que determinan en un grado mayor la eficacia con que las orejeras atenúan el ruido ambiental. La Figura 31.12 ilustra una orejera bien ajustada con buen cierre en todo el perímetro del pabellón auditivo y otra con una fuga bajo la almohadilla. El gráfico incluido en la misma figura muestra que, mientras que la orejera bien adaptada proporciona buena atenuación a todas las frecuencias, la mal adaptada no produce prácticamente ninguna atenuación de las frecuencias bajas. Casi todas las orejeras proporcionan una atenuación que se acerca a la conducción ósea, de aproximadamente 40 dB, para frecuencias de 2.000 Hz o superiores. La capacidad de atenuación de bajas frecuencias de unas orejeras bien ajustadas está determinada por factores de diseño y materiales, como el volumen del cuenco, la superficie de la abertura del cuenco, la presión del arnés de cabeza o el peso.

### Tapones

La Figura 31.13 ilustra un tapón de espuma bien ajustado y plenamente insertado (alrededor del 60 % de su longitud queda dentro del canal auditivo) y otro mal ajustado que se limita a cerrar la entrada del canal auditivo sin apenas penetrar en el interior. El primero presenta buena atenuación a todas las frecuencias, mientras que el tapón de espuma mal ajustado induce una atenuación claramente menor. Bien ajustado, el tapón de espuma puede proporcionar una atenuación que se acerca a la conducción ósea a muchas frecuencias. Cuando el ruido es muy intenso, las diferencias de atenuación entre tapones de espuma bien y mal ajustados pueden ser suficiente para impedir o no impedir la pérdida de audición inducida por el ruido.

La Figura 31.14 ilustra un tapón premoldeado bien ajustado y otro mal ajustado. En general, los tapones premoldeados no proporcionan el mismo grado de atenuación que los de espuma o las orejeras bien ajustados. No obstante, cuando están bien

ajustados proporcionan una atenuación suficiente para la mayor parte de los ruidos industriales. Sin embargo, cuando están mal ajustados presentan una atenuación muy inferior, que es nula a 250 y 500 Hz. En algunos usuarios se ha observado una ganancia a estas frecuencias, lo que significa que el ruido protegido es más intenso que el ambiental, de manera que el trabajador está expuesto a un riesgo de sufrir pérdida de audición inducida por el ruido mayor que si no llevase protectores.

### Protección acústica doble

Para algunos ruidos ambientales, en especial cuando la exposición diaria equivalente supera un valor de aproximadamente 105 dBA, un solo protector auditivo puede ser insuficiente. En estas situaciones el usuario puede utilizar al mismo tiempo orejeras y tapones para lograr una protección complementaria de 3 a 10 dB, limitada primordialmente por la conducción ósea de la cabeza. La atenuación cambia muy poco cuando se usan distintas orejeras con los mismos tapones, pero mucho cuando se utilizan distintos tapones con las mismas orejeras. Cuando se emplea protección doble la elección de los tapones determina de forma decisiva la atenuación por debajo de 2.000 Hz, mientras que a este valor y por encima de él prácticamente todas las combinaciones de orejeras y tapones proporcionan una atenuación más o menos igual a la conducción ósea.

### Interferencias con gafas y dispositivos de protección personal utilizados en la cabeza

Las gafas de seguridad, los protectores respiratorios y otros dispositivos que interrumpen el cierre circumauricular de las orejeras pueden degradar la atenuación. Las gafas, por ejemplo, pueden reducir la atenuación en determinadas octavas en 3 a 7 dB.

### Dispositivos de respuesta plana

Los tapones y orejeras de respuesta plana proporcionan una atenuación aproximadamente uniforme para frecuencias comprendidas entre 100 y 8.000 Hz. Estos dispositivos mantienen la misma respuesta de frecuencia que el oído sin obstruir y no distorsionan la audición de las señales acústicas (Berger 1991). Los tapones y orejeras corrientes, además del efecto de reducción del nivel acústico, dan la sensación de que se han eliminado los agudos de la señal. Los protectores auditivos de atenuación plana dan la sensación de que sólo se ha reducido el volumen, pues las características de atenuación se "sintonizan" mediante resonadores, amortiguadores y diafragmas. La atenuación plana puede ser importante para usuarios con pérdida de audición a frecuencias elevadas, cuando es importante conservar la comprensión de la voz sin prescindir de los protectores y para quienes necesitan conservar un sonido de calidad elevada, como los músicos. Hay tanto orejeras como tapones de respuesta plana, pero ambos presentan el inconveniente de que el grado de atenuación que proporcionan es siempre inferior al de los dispositivos corrientes.

### Dispositivos pasivos sensibles a la amplitud

Los protectores auditivos pasivos sensibles a la amplitud carecen de circuitos electrónicos y están diseñados para permitir la comunicación oral en períodos de silencio; la atenuación que proporcionan, escasa cuando el nivel de ruido es bajo, aumenta con la intensidad acústica. Están provistos de orificios, válvulas o diafragmas que provocan una atenuación no lineal, que suele comenzar cuando el nivel sonoro sobrepasa una presión acústica de 120 dB. Por debajo de este valor, los dispositivos de orificios y válvulas actúan como protectores auditivos abiertos que



proporcionan una atenuación máxima de 25 dB a las frecuencias más altas y muy escasa a 1.000 Hz o menos. Pocas actividades profesionales o recreativas, fuera de las competiciones de tiro al blanco (sobre todo en exteriores) se prestan al uso de este tipo de protectores si se pretende evitar la pérdida de audición inducida por el ruido.

### **Dispositivos activos sensibles a la amplitud**

Los protectores auditivos activos sensibles a la amplitud tienen circuitos electrónicos y su finalidad es similar a la descrita para los protectores pasivos. Utilizan un micrófono colocado en el exterior del cuenco o sujeto junto al tapón auditivo y un circuito electrónico que proporciona una amplificación cada vez menor, que puede llegar a ser nula, cuando aumenta el ruido ambiental. Al nivel de conversación normal, estos dispositivos proporcionan una ganancia igual a uno (esto significa que el habla se percibe como si no se utilizase protector) o una ligera amplificación. El objetivo es mantener el nivel acústico por dentro del protector a un valor inferior a un campo difuso de 85 dBA. Algunas orejeras disponen de un canal por cada oído y permiten conservar cierta capacidad de localización de la fuente sonora; otras llevan sólo un micrófono. La fidelidad (naturalidad) de estos sistemas depende del fabricante. Debido a los circuitos electrónicos internos, estos dispositivos proporcionan en estado pasivo, con los circuitos desconectados, una atenuación entre cuatro y seis decibelios menor que la obtenida con orejeras similares sin dispositivo.

### **Reducción activa del ruido**

La reducción activa del ruido es una idea antigua, pero su aplicación a los protectores auditivos es relativamente nueva. Algunos dispositivos funcionan captando el sonido dentro del cuenco auricular, invirtiendo la fase y retransmitiendo el ruido invertido hacia el interior del protector para neutralizar el sonido entrante. Otros funcionan capturando el sonido exterior, modificando su espectro para tener en cuenta la atenuación e introduciendo el ruido invertido en el cuenco auricular; los circuitos electrónicos sincronizan el sonido invertido enviado hacia el interior del cuenco con el ruido transmitido a través de éste. La reducción activa se limita a las bajas frecuencias, por debajo de 1.000 Hz; la atenuación máxima es de 20 a 25 dB y tiene lugar a 300 Hz o menos. Pero una parte de la atenuación proporcionada por el sistema de reducción activa del ruido se limita a compensar la pérdida de capacidad de atenuación de las orejeras debida a la incorporación en el interior de los cuencos de los circuitos electrónicos necesarios para lograr el efecto de reducción activa. En la actualidad estos dispositivos cuestan entre 10 y 50 veces más que los pasivos. Si la electrónica falla, el usuario puede quedar insuficientemente protegido y sufrir un ruido más intenso que con el circuito compensador desconectado. La generalización de los dispositivos activos debería ir acompañada de la reducción del coste y la ampliación del campo de aplicación.

### **El protector auditivo óptimo**

El protector auditivo óptimo es aquél que el usuario está dispuesto a llevar voluntariamente durante todo el tiempo. Se estima que aproximadamente el 90 % de los trabajadores del sector manufacturero de Estados Unidos que operan en ambientes ruidosos están expuestos a intensidades inferiores a 95 dBA (Franks 1988) y necesitan una atenuación comprendida entre 13 y 15 dB para quedar adecuadamente protegidos. Hay una gama muy amplia de protectores auditivos que proporcionan una atenuación suficiente; lo difícil es descubrir el que cada trabajador está dispuesto a utilizar durante todo el tiempo de exposición al ruido.

## **ROPA PROTECTORA**

*S. Zack Mansdorf*

### **Riesgos**

Hay varias categorías generales de riesgos para el cuerpo de los que es posible protegerse con ropa especializada; estas categorías comprenden los riesgos de naturaleza química, física y biológica. Se resumen en la Tabla 31.10.

### **Riesgos químicos**

La ropa protectora es un medio de control utilizado habitualmente para reducir la exposición del trabajador a compuestos químicos potencialmente tóxicos o peligrosos cuando no es posible aplicar otros métodos de control. Muchos compuestos químicos son peligrosos por más de un motivo (el benceno, por ejemplo, es tóxico e inflamable). En el caso de los compuestos químicos hay que prestar atención al menos a tres aspectos decisivos: (1) el efecto potencialmente tóxico de la exposición; (2) las vías de entrada probables, y (3) el potencial de exposición asociado con el trabajo. De estos tres aspectos, la toxicidad del material es el más importante. Algunas sustancias plantean únicamente un problema de limpieza (como los aceites y grasas), mientras que otras (como el contacto con cianhídrico líquido) pueden resultar inmediatamente peligrosas para la vida y la salud (IDLH). En particular, el factor decisivo es la toxicidad o peligrosidad de la sustancia por vía transcutánea. Otros efectos negativos del contacto con la piel, además de la toxicidad, son la corrosión, la inducción de cáncer de piel y ciertos traumas físicos, como quemaduras y cortes.

Un ejemplo de compuesto cuya toxicidad es máxima por vía transcutánea es la nicotina, que presenta una permeabilidad excelente a través de la piel pero, en general, no resulta peligrosa por inhalación (salvo cuando se autoadministra). Este es sólo uno de los muchos casos en que la vía transdérmica supone un peligro mucho más importante que el de otras vías de penetración. Como ya se ha sugerido, hay muchas sustancias que en principio no son tóxicas pero que sí resultan peligrosas para la piel por su naturaleza corrosiva o por otro motivo. De hecho, algunos materiales y compuestos químicos pueden resultar más peligrosos cuando se absorben a través de la piel que los cancerígenos sistémicos más temidos. Por ejemplo: una sola exposición de la piel sin proteger a ácido fluorhídrico (a una concentración superior al 70 %) puede ser mortal. En este caso, una quemadura que afecte sólo al 5 % de la superficie basta para provocar la muerte a consecuencia del efecto del ión fluoruro. Otro ejemplo de riesgo dérmico, aunque no de carácter agudo, es la inducción de cáncer de piel por sustancias como el alquitrán de hulla. El plomo inorgánico es un ejemplo de material muy tóxico para el hombre pero escasamente peligroso por vía transcutánea. En este caso, el riesgo de la contaminación del cuerpo o la ropa estriba en que el producto se puede absorber por inhalación o ingestión, ya que no atraviesa la piel intacta.

Una vez evaluadas las vías de penetración y la toxicidad de los materiales, hay que estimar la probabilidad de exposición. ¿Están los trabajadores en contacto con el compuesto en una medida suficiente para quedar visiblemente mojados o la exposición es improbable y la ropa protectora se utiliza simplemente como medida de protección redundante? Si el material es mortal, el trabajador debe disponer del máximo grado de protección posible, aunque la probabilidad de contacto sea remota. Si la exposición representa un riesgo mínimo (una enfermera que manipula una solución de alcohol isopropílico en agua al 20 %, por ejemplo), el grado de protección no ha de ser necesariamente infalible. Esta elección lógica se basa

esencialmente en una estimación de los efectos adversos del material combinada con otra de la probabilidad de la exposición.

### **Propiedades de resistencia química de las barreras**

En los decenios de 1980 y 1990 se han publicado trabajos de investigación que revelan la difusión de disolventes y otros compuestos químicos a través de ropa protectora "a prueba de líquidos". Una prueba de investigación estándar consiste, por ejemplo, en aplicar acetona a caucho de neopreno (del grosor utilizado habitualmente en la confección de guantes). Después del contacto directo con la acetona en la superficie externa normal, el disolvente puede detectarse normalmente en la cara interna (el lado que está en contacto con la piel) al cabo de 30 minutos, si bien en pequeñas cantidades. Esta penetración de un compuesto a través de una barrera protectora se llama *permeación*. El fenómeno de permeación consiste en la difusión de compuestos químicos a escala molecular a través de la ropa protectora. Ocurre en tres fases: absorción del compuesto en la superficie de la barrera, difusión a través de ésta y desorción en la superficie interna normal de la barrera. El tiempo transcurrido desde el contacto inicial del compuesto en la superficie externa hasta su detección en la interna se llama *tiempo de permeación*. La *velocidad de permeación* es el ritmo uniforme de movimiento del compuesto químico a través de la barrera una vez alcanzado el equilibrio.

Casi todas las pruebas actuales de resistencia a la permeación se prolongan durante periodos de hasta ocho horas, para reproducir los turnos de trabajo normales. No obstante, estas pruebas se realizan en condiciones de contacto directo de líquidos o gases que normalmente no se encuentran en el medio ambiente de trabajo. Por tanto, cabe argumentar que las pruebas incluyen un "factor de seguridad" considerable. Sin embargo, hay hechos que neutralizan esta hipótesis, como que la prueba de permeación es estática, mientras que el medio de trabajo es dinámico (esto significa que los materiales están sometidos a flexión y presión al sujetar y hacer otros movimientos); o que los guantes o prendas pueden encontrarse dañados. A la vista de la falta de datos publicados sobre permeabilidad de la piel y toxicidad dérmica, el enfoque adoptado por la mayoría de los profesionales de la salud y la seguridad es elegir una barrera que no presente permeación mientras dure el trabajo o la tarea (por lo general ocho horas), una idea que en lo esencial no considera la dosis. Se trata de un planteamiento conservador, pero es importante señalar que en este momento no hay ninguna barrera que proporcione resistencia a la permeación frente a todos los compuestos químicos. Cuando los tiempos de permeación son breves, el profesional de la salud y la seguridad debe elegir las barreras que mejor se comporten (es decir, que tengan la velocidad de permeación más baja) y considerar otras medidas de control y mantenimiento (como cambiar la ropa con regularidad).

Además del proceso de permeación descrito, el profesional de la salud y la seguridad debe considerar otras dos importantes propiedades de resistencia a los compuestos químicos: la *degradación* y la *penetración*. La degradación es un cambio perjudicial que afecta a una o varias propiedades físicas del material protector a consecuencia del contacto con el compuesto químico. Así, el polímero polivinil alcohol (PVA) proporciona una buena barrera frente a casi todos los disolventes orgánicos, pero se degrada en presencia de agua. El caucho de látex, muy utilizado para fabricar guantes quirúrgicos, es resistente al agua, pero fácilmente soluble en disolventes como el tolueno y el hexano; por tanto, es inútil como protección frente a estos compuestos. Por otra parte, la alergia al látex puede inducir reacciones graves en algunas personas.

Se llama penetración al flujo de un compuesto químico a través de pequeños cortes o perforaciones o de otros defectos de la ropa protectora de escala no molecular. La mejor barrera de protección será inútil si se perfora o se rompe. La protección frente a la penetración es importante cuando la exposición es improbable o infrecuente y la toxicidad o el peligro son mínimos. La penetración suele ser motivo de preocupación en la ropa utilizada como protección frente a salpicaduras.

Se han publicado varias guías con datos de resistencia a los compuestos químicos (muchas de ellas se encuentran también en formato electrónico). Además de estas guías, casi todos los fabricantes de los países desarrollados industrialmente publican también datos actualizados de resistencia química y física de sus productos.

### **Riesgos físicos**

Como se señala en la Tabla 31.10, son riesgos físicos las condiciones térmicas, la vibración, la radiación y los traumas, y todos ellos pueden afectar adversamente a la piel. Se clasifican como riesgos térmicos los efectos nocivos del frío y el calor extremos sobre la piel. Los atributos protectores de la ropa en relación con estos riesgos dependen de su grado de aislamiento; en cambio, la ropa que debe proteger frente a llamaradas y arco eléctrico debe presentar propiedades de resistencia a la llama abierta.

La ropa especializada puede proporcionar protección limitada frente a algunas formas de radiaciones ionizantes y no ionizantes. En general, la eficacia de la ropa que protege frente a radiaciones ionizantes se basa en el principio del apantallamiento (como los mandiles y guantes forrados de plomo, por ejemplo); en cambio, la ropa que protege frente a radiaciones no ionizantes, como las microondas, se basa en la conexión a tierra o el aislamiento. Las vibraciones excesivas pueden afectar adversamente a distintas partes del cuerpo, sobre todo las manos. La minería (con perforadoras manuales) y la reparación de carreteras (en la que se utilizan martillos y cinceles neumáticos) son ejemplos de ocupaciones en las que la excesiva vibración que sufren las manos puede provocar degeneración ósea y pérdida de circulación. Los traumas de la piel a consecuencia de riesgos físicos (cortes, abrasiones, etc.) son comunes en muchas ocupaciones, como la construcción o el despiece de carne. Ahora hay ropa especializada (también guantes) resistente a los cortes, que se utiliza en tareas como el despiece de carne y la silvicultura (con sierras de cadena). Las propiedades de estas prendas se basan en una resistencia esencial al corte o en la inclusión de una masa de fibras suficiente para atascar las piezas móviles (la sierra de cadena, por ejemplo).

Tabla 31.10 • Ejemplos de categorías de riesgos dérmicos.

Riesgo	Ejemplos
Químico	Toxinas dérmicas Toxinas sistémicas Corrosivos Alérgenos
Físico	Peligros térmicos (calor/frío) Vibración Radiación Traumáticos
Biológico	Patógenos para el hombre Patógenos para los animales Nocivos para el medio ambiente

Tabla 31.11 • Requisitos comunes de comportamiento físico, químico y biológico.

Riesgo	Característica de comportamiento exigida	Materiales comunes para ropa de protección
Térmico	Valor de aislamiento	Algodón grueso y otros tejidos naturales
Fuego	Aislamiento y resistencia a la llama	Guantes aluminizados; guantes tratados resistentes a la llama; otros tejidos especiales
Abrasión mecánica	Resistencia a la abrasión; resistencia a la tensión	Tejidos gruesos; cuero
Cortes y perforaciones	Resistencia al corte	Malla metálica; fibras aromáticas de poliamida y otros tejidos especiales
Químico y toxicológico	Resistencia a la permeación	Materiales poliméricos y elastómeros; (incluido el látex)
Biológico	"A prueba de líquidos"; (resistente a la punción)	
Radiológico	Normalmente resistente al agua o a las partículas (para radionúclidos)	

### Riesgos biológicos

Son riesgos biológicos la infección por agentes y enfermedades comunes al hombre y los animales, y el medio ambiente de trabajo. Esta clase de riesgos han recibido mucha atención a consecuencia de la difusión del SIDA y la hepatitis, que se transmiten con la sangre. Por tanto, los puestos de trabajo que puedan suponer exposición a la sangre o los fluidos orgánicos suelen exigir el uso de ropa y guantes resistentes a los líquidos. Las enfermedades transmitidas por los animales mediante la manipulación (el ántrax, por ejemplo) se conocen desde hace mucho tiempo y requieren medidas de protección similares a las utilizadas para manipular los patógenos transportados por la sangre que afectan al hombre. Son ambientes de trabajo que pueden presentar riesgos debidos a agentes biológicos los laboratorios clínicos y microbiológicos y otros ambientes de trabajo especiales.

### Tipos de protección

En un sentido general, el concepto de ropa de protección incluye todos los elementos que forman un conjunto protector (bata,

guantes y botas, por ejemplo). Por tanto, la ropa de protección abarca desde el dedal que evita los cortes causados por los cantos de las hojas de papel hasta el traje aislante completo con equipo de respiración autónomo que se utiliza en las situaciones de emergencia que siguen a los vertidos de compuestos químicos.

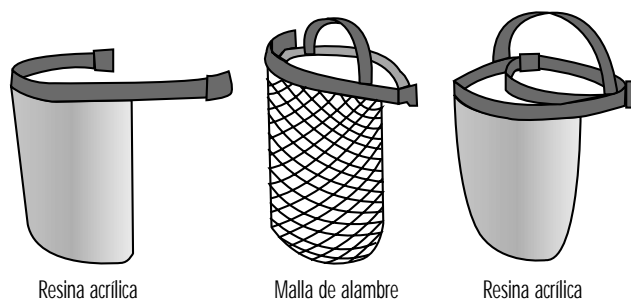
La ropa de protección puede ser de materiales naturales (algodón, lana y cuero, por ejemplo), sintéticos (nylon) o distintos polímeros (plásticos y cauchos, como el butilo, el cloruro de polivinilo o el polietileno de cloro). Los materiales tejidos, cosidos o con poros por cualquier otro motivo (no resistentes a la penetración ni a la impregnación por líquidos) no deben utilizarse en

Figura 31.16 • Dos trabajadores con trajes de protección química de distinta configuración.

Figura 31.15 • Ropa y guantes de protección para trasvasar productos químicos.



Figura 31.17 • Distintos tipos de guantes resistentes a los compuestos químicos.



situaciones que exigen protección frente a líquidos o gases. Los tejidos y materiales porosos tratados o incombustibles por su naturaleza se utilizan habitualmente en la protección frente a llamaradas y arco eléctrico (en la industria petroquímica, por ejemplo), aunque no protegen frente a las temperaturas constantemente elevadas. Hay que señalar que la lucha contra incendios exige ropa especializada resistente a la llama y que proporcione impermeabilidad frente al agua y aislamiento térmico (protección frente a temperaturas elevadas). Algunas aplicaciones exigen también protección infrarroja (IR), que se logra superponiendo una película aluminizada (lucha contra incendios producidos por combustibles derivados del petróleo, por ejemplo). En la Tabla 31.11 se resumen las necesidades de comportamiento físico, químico y biológico y los materiales protectores de uso común en la protección frente a riesgos.

La configuración de la ropa protectora varía mucho en función del uso a que vaya destinada. No obstante, los elementos normales son casi siempre similares a las prendas de uso común (pantalones, chaqueta, capucha, botas y guantes). En aplicaciones como la resistencia a la llama o la manipulación de metales fundidos se utilizan elementos especiales, como calzones, brazaletes y mandiles fabricados con fibras o materiales naturales o sintéticos, tratados o sin tratar (un ejemplo histórico sería el amianto). La ropa protectora frente a riesgos químicos suele ser de confección más especializada, como se ilustra en las Figuras 31.15 y 31.16.

Se comercializan guantes de protección química de polímeros y combinaciones muy diversos; así, hay guantes de algodón recubiertos de polímeros (mediante inmersión) que presentan las propiedades deseadas. (Véase la Figura 31.17). Algunos de los nuevos "guantes" de hoja metálica o capas múltiples tienen sólo dos dimensiones (planos) y, por tanto, imponen algunas limitaciones ergonómicas, aunque a cambio presentan una elevada resistencia química. Estos guantes suelen funcionar mejor cuando se lleva sobre el guante plano interior otro exterior de material polimerizado (esta técnica se llama de *doble enguantado*) que ajusta el primero a la forma de la mano. Hay guantes de polímeros de muchos grosores, desde los muy ligeros (<2 mm) hasta los muy gruesos (>5 mm), con o sin forros o sustratos interiores (*cañamazo*). También son muy variables las longitudes, que oscilan entre aproximadamente 30 cm para proteger las manos y unos 80 cm, que cubren desde el hombro hasta la mano. La longitud óptima depende del tipo de protección necesaria pero, en general, el guante debe llegar al menos hasta la muñeca, para evitar la penetración de líquidos en el interior (véase la Figura 31.18).

También es muy variable la altura de las botas, que va desde el pie hasta la altura de la cadera. Las de protección química sólo se comercializan en una gama limitada de polímeros, pues deben presentar además una elevada resistencia a la abrasión. Entre los polímeros y cauchos utilizados habitualmente para fabricar botas resistentes a los compuestos químicos están el PVC y los cauchos de butilo y neopreno. También se comercializan botas especiales de materiales laminados en las que se utilizan otros polímeros, pero son bastante caras y, por el momento, sólo se encuentran en algunos países.

Hay prendas de protección química de una sola pieza totalmente cerrada (a prueba de gases) con guantes y botas incorporados o formada por varias piezas (pantalones, chaqueta, capucha, etc.). Algunos de los materiales protectores utilizados para fabricar conjuntos están formados por varias capas o láminas. Estos materiales multicapa suelen emplearse cuando se usan polímeros cuyas propiedades de integridad física y resistencia a la abrasión no permiten la fabricación ni el uso de las prendas o guantes (tales como el caucho de butilo frente al teflón®). Entre los tejidos utilizados habitualmente como soporte están el nylon, el poliéster, las aramidas y la fibra de vidrio. Estos sustratos se recubren o laminan con polímeros, como el cloruro de polivinilo (PVC), el teflón®, el poliuretano y el polietileno.

En el curso del último decenio ha experimentado un crecimiento enorme el uso de polietileno y materiales microporosos no tejidos en la fabricación de trajes de usar y tirar. Estos trajes confeccionados por hilado, a veces llamados incorrectamente "de papel", se fabrican mediante un proceso especial que une las fibras en lugar de tejerlas. Son prendas baratas y muy ligeras. Los materiales microporosos no recubiertos (llamados "transpirables", porque permiten cierto grado de transmisión del vapor de agua y, por tanto, son menos estresantes) y los unidos por hilado son útiles como protección frente a partículas, pero normalmente no son resistentes a los compuestos químicos y los líquidos. También se comercializa ropa unida por hilado con distintos revestimientos, como polietileno y Saranex®. Según las características del recubrimiento, estas prendas pueden proporcionar buena resistencia química a la mayor parte de las sustancias comunes.

### Homologación, certificación y normas

La comercialización, confección y diseño de ropa protectora varían mucho de unos a otros lugares del mundo. Como era de esperar, también varían los requisitos de homologación, normas y certificación. No obstante, se aplican normas de comportamiento voluntarias similares en Estados Unidos (por ejemplo, las normas de la

Figura 31.18 • Guantes de fibra natural de longitud suficiente para proteger la muñeca.



American Society for Testing and Materials, ASTM), Europa (normas del Comité Europeo de Normalización, CEN) y algunas zonas de Asia (normas locales, como las de Japón). La elaboración de normas de comportamiento de alcance mundial ha comenzado gracias al trabajo del grupo Comité Técnico 94 para el Equipo y la Ropa de Protección Personal de la Organización Internacional de Normalización. Muchas de las normas y métodos de ensayo para medir el comportamiento creados por este grupo se basan en normas CEN o de otros países, como la ASTM de Estados Unidos.

En los territorios de Estados Unidos, México y buena parte de Canadá no se exige certificación ni homologación para la ropa protectora, aunque hay excepciones que afectan a aplicaciones especiales, como la aplicación de pesticidas (regulada por los requisitos de las etiquetas de los pesticidas). No obstante, hay muchas organizaciones que publican normas voluntarias, como la ASMT ya mencionada, la National Fire Protection Association (NFPA) de Estados Unidos y la Canadian Standards Organization (CSO) de Canadá. Estas normas voluntarias influyen sustancialmente en la comercialización y venta de ropa protectora y, por tanto, actúan de forma muy similar a las normas obligatorias.

En Europa, la fabricación de equipo de protección personal está regulada por la Directiva de la Comunidad Europea 89/686/CEE, que define los productos amparados por ella y los clasifica en distintas categorías. En las categorías de equipo protector en las que el riesgo no es mínimo y en las cuales el usuario no puede identificar fácilmente el peligro, el equipo de protección debe cumplir determinadas normas de calidad y fabricación detalladas en la Directiva.

Dentro de la Comunidad Europea no pueden comercializarse productos de protección que no lleven la marca de la CE (Comunidad Europea). Para recibir esta marca es necesario cumplir ciertos requisitos de ensayo y garantía de calidad.

### Capacidades y necesidades individuales

Salvo en unos pocos casos, el uso de ropa y equipo de protección disminuye la productividad y aumenta la incomodidad del trabajador. También puede perjudicar a la calidad, porque la ropa de protección incrementa las tasas de error. La ropa de protección química e ignífuga obliga a considerar una serie de normas generales relativas a los conflictos inevitables entre comodidad del trabajo, eficacia y protección. En primer lugar, cuanto más gruesa sea la barrera, tanto mejor (aumento del tiempo de permeación o mejor aislamiento térmico); pero cuanto más gruesa sea la barrera, tanto menor es la facilidad de movimientos y la comodidad del usuario. Las barreras gruesas también aumentan el potencial de estrés por calor. En segundo lugar, las barreras que proporcionan muy buena resistencia química tienden a incrementar la incomodidad del trabajo y el estrés por calor, porque normalmente también actúan como barrera frente a la transmisión de vapor de agua (transpiración). En tercer lugar, cuanto mayor sea la protección general, tanto mayores serán el tiempo necesario para realizar una tarea determinada y la probabilidad de cometer errores. Hay asimismo algunas tareas en las que el uso de ropa protectora puede incrementar determinados tipos de riesgo (en las proximidades de maquinaria móvil, por ejemplo, el riesgo de estrés por calor es mayor que el químico); se trata de una situación rara, pero debe tenerse en cuenta.

Hay que pensar también en las limitaciones físicas que impone la ropa protectora. Un trabajador equipado con un par de guantes gruesos, por ejemplo, no será capaz de realizar fácilmente tareas que exigen mucha destreza o movimientos repetitivos. Un pintor que trabaje con pistola protegido por un mono totalmente cerrado no podrá mirar hacia los lados ni hacia arriba o hacia abajo, pues el equipo de protección respiratoria y el visor del mono casi siempre limitan la visión. Estos son sólo

algunos ejemplos de las limitaciones ergonómicas asociadas con el uso de ropa y equipo de protección.

Al elegir la ropa protectora hay que considerar siempre la situación de trabajo. La solución óptima es seleccionar el grado mínimo de ropa y equipo de protección necesarios para realizar el trabajo de forma segura.

### Educación y formación

Es esencial proporcionar educación y formación adecuadas a los usuarios de ropa protectora. La educación y la formación deben comprender los siguientes aspectos:

- Naturaleza y magnitud de los riesgos;
- Condiciones en las que debe llevarse la ropa de protección;
- Ropa de protección necesaria;
- Uso y limitaciones de la ropa de protección que vaya a asignarse;
- Forma de inspeccionar, ponerse, quitarse, ajustarse y llevar correctamente la ropa protectora;
- En caso necesario, métodos de descontaminación;
- Signos y síntomas de sobreexposición o fallo de la ropa;
- Procedimientos de primeros auxilios y emergencia;
- Conservación, duración, cuidado y eliminación correctos de la ropa protectora.

La formación debe cubrir al menos todos los elementos que acaban de mencionarse y cualquier otra información relevante no facilitada al trabajador en otros programas. No obstante, es conveniente proporcionar a los usuarios de la ropa un resumen de todos los puntos enseñados en ocasiones anteriores. Si, por ejemplo, ya se han explicado a los trabajadores los signos y síntomas de la sobreexposición, como parte de la formación necesaria para manipular productos químicos, convendría insistir de nuevo en los síntomas asociados con la exposición dérmica importante y con la inhalación. Por último, los trabajadores deben tener la oportunidad de probar la ropa protectora pensada para un puesto determinado antes de que se haga la selección definitiva.

El conocimiento del peligro y de las limitaciones de la ropa protectora no sólo reduce el riesgo para el trabajador, sino que también permite al profesional de la salud y la seguridad solicitar información adecuada y precisa sobre la eficacia del equipo de protección.

### Mantenimiento

La conservación, inspección, limpieza y reparación de la ropa protectora son aspectos importantes para la protección global que estos productos proporcionan al usuario.

Hay ropa protectora que presenta limitaciones de conservación, como una duración máxima predeterminada, necesidad de protección frente a la radiación UV (luz solar, antorcha de soldar, etc.), el ozono, la humedad o extremos de temperatura, o prohibición de plegar el producto. Así, las prendas de caucho natural exigen por lo general todas las precauciones que acaban de indicarse. Muchos de los monos de polímero cerrados pueden dañarse si se guardan doblados en lugar de colgados rectos. Hay que consultar estas limitaciones de conservación al distribuidor o el fabricante.

El usuario debe inspeccionar la ropa protectora con frecuencia (por ejemplo, después de cada uso). Puede utilizarse la técnica de inspección por parte de los compañeros para que éstos participen en asegurar la integridad de la ropa protectora que tienen que usar. Como política de gestión, es también aconsejable encargar a los supervisores que inspeccionen (a intervalos adecuados) la ropa protectora de uso habitual. Los criterios de inspección dependen del uso previsto del elemento protector, aunque normalmente incluye el examen de desgarramientos,

agujeros, imperfecciones y degradación. Como ejemplo de técnica de inspección, los guantes de polímero utilizados como protección frente a líquidos deben llenarse de aire para comprobar si son estancos frente a las fugas.

La limpieza de la ropa protectora de varios usos debe hacerse con cuidado. Las fibras naturales se pueden limpiar con métodos de lavado normales si no están contaminadas con materiales tóxicos. Los procedimientos de limpieza apropiados para fibras y materiales sintéticos suelen ser limitados. Así, algunos productos tratados para que presenten resistencia a la llama pierden eficacia si no se limpian correctamente. La ropa utilizada como protección frente a compuestos no solubles en agua casi nunca puede descontaminarse lavándola con agua y un jabón o un detergente corrientes. Ensayos realizados con ropa de aplicadores de pesticidas indican que los métodos de lavado corrientes son ineficaces frente a muchos de estos productos. La limpieza en seco no es recomendable en ningún caso, pues con frecuencia resulta ineficaz y puede degradar o contaminar las prendas. Es importante consultar al fabricante o al distribuidor de la ropa antes de intentar métodos de limpieza cuya inocuidad no se conozca de forma específica.

En general, la ropa de protección no se puede arreglar. Algunas prendas, como los monos de polímero totalmente cerrados, admiten ciertas reparaciones. No obstante, hay que consultar con el fabricante antes de hacer ningún arreglo.

### Uso y mal uso

*Uso.* Por encima de todo, la selección y el uso correctos de la ropa protectora deben basarse en una evaluación de los riesgos asociados con la tarea que exige protección. A la luz de esta evaluación es posible elaborar una definición pormenorizada de los requisitos de comportamiento y las limitaciones ergonómicas del trabajo. Por último, puede hacerse una selección que equilibre protección del trabajador, facilidad de uso y coste.

Un planteamiento más formal consiste en elaborar un programa modelo escrito; de esta forma se reducen las probabilidades de error, se mejora la protección del trabajador y se aborda de manera coherente la selección y el uso de la ropa protectora. El programa modelo podría constar de los siguientes elementos:

1. Programa de organización y un plan administrativo.
2. Metodología de evaluación del riesgo.
3. Evaluación de otras opciones de control para proteger al trabajador.
4. Criterios de comportamiento de la ropa protectora.
5. Criterios de selección y procedimientos de determinación de la elección óptima.
6. Especificaciones de compra de la ropa protectora.
7. Plan de validación de la selección realizada.
8. En su caso, criterios de descontaminación y reutilización.
9. Programa de formación del usuario.
10. Plan de auditoría que garantice la aplicación sistemática de los procedimientos.

*Mal uso.* Hay diversos ejemplos de mal uso de la ropa protectora frecuentes en la industria. El mal uso suele ser consecuencia del desconocimiento de las limitaciones de la ropa protectora por parte de la dirección, los trabajadores o ambos. Un ejemplo claro de práctica incorrecta es el uso de ropa protectora no resistente a la llama abierta para trabajadores que manipulan disolventes inflamables o que trabajan en situaciones en las que hay llamas abiertas, hulla en combustión o metales fundidos. La ropa protectora confeccionada con polímeros, como el polietileno, puede resistir la combustión, pero al mismo tiempo fundirse y adherirse a la piel, lo que provoca quemaduras todavía más graves.

Un segundo ejemplo común es la reutilización de ropa protectora (incluidos los guantes) cuando algún compuesto químico ha contaminado su interior, de manera que la exposición del trabajador aumenta con cada uso. Una variación frecuente de este problema consiste en el uso de guantes de fibras naturales (cuero o algodón, por ejemplo) o el calzado personal para trabajar con compuestos químicos líquidos. Si éstos salpican las fibras naturales, quedarán retenidos durante mucho tiempo y migrarán hasta la piel. Otra variante del mismo error consiste en llevar la ropa de trabajo a casa para lavarla, una práctica que puede exponer a una familia completa a compuestos químicos nocivos, si la ropa de faena se limpia junto con el resto de las prendas familiares. Como muchos compuestos no son solubles en agua, pueden difundirse a otras prendas sólo por acción mecánica. Se han documentado varios de estos casos de difusión de contaminantes, sobre todo en industrias de fabricación de pesticidas o tratamiento de metales pesados (como la intoxicación de familias de trabajadores que manipulan mercurio o plomo). Estos no son sino unos pocos de los ejemplos más llamativos de mal uso de la ropa protectora. Estos problemas se evitan sencillamente conociendo el uso correcto y las limitaciones de este tipo de prendas. El fabricante y los expertos en salud y seguridad deben proporcionar esta información.

## PROTECCION RESPIRATORIA

Thomas J. Nelson

En algunas industrias, el aire contaminado por polvos, humos, neblinas, vapores o gases potencialmente nocivos puede ser perjudicial para el trabajador. Es importante controlar la exposición a estos materiales para reducir el riesgo de enfermedades profesionales causadas por respirar el aire contaminado. La mejor forma de controlar la exposición es reducir al mínimo la contaminación en el lugar de trabajo. Esto puede lograrse por medio de medidas de control técnico (encerrar o limitar la operación con ayuda de equipos de ventilación general y local y uso de materiales menos tóxicos). Cuando sea inviable aplicar medidas de control técnico eficaces o mientras se están implantando o evaluando, hay que usar equipos de protección respiratoria para proteger la salud del trabajador. Para que los equipos de protección respiratoria funcionen como está previsto, es necesario instaurar un programa adecuado y bien planificado de equipos de protección respiratoria.

### Riesgos respiratorios

Los riesgos para el aparato respiratorio pueden presentar la forma de contaminantes o de falta de oxígeno suficiente. Las partículas, gases o vapores que constituyen los contaminantes atmosféricos pueden estar asociados con distintas actividades (véase la Tabla 31.12).

El oxígeno es un componente normal del medio ambiente imprescindible para sostener la vida. En términos fisiológicos, la deficiencia de oxígeno es una reducción de la disponibilidad de este elemento para los tejidos del organismo. Puede deberse a la reducción del porcentaje de oxígeno en el aire o a la disminución de su presión parcial (la presión parcial de un gas es igual a la concentración relativa del gas de que se trate multiplicada por la presión atmosférica total). La forma más común de deficiencia de oxígeno en ambientes de trabajo es la reducción del porcentaje de oxígeno en consecuencia del desplazamiento de este elemento por otro gas en un espacio limitado.

Tabla 31.12 • Riesgos materiales asociados con actividades determinadas.

Tipo de riesgo	Fuentes o actividades típicas	Ejemplos
Polvos	Coser, pulir con muela, pulir con arena, desmenuzar, chorro de arena	Serrín, carbón, polvo de sílice
Humos	Soldadura autógena, soldadura con latón, fundición	Humos de óxidos de plomo, zinc, hierro
Nebulizaciones	Pintura con pistola, chapado de metales, mecanización	Nebulinas de pintura, nebulinas de aceite
Fibras	Productos de aislamiento y fricción	Amianto, fibra de vidrio
Gases	Soldadura, motores de combustión, tratamiento de aguas	Ozono, dióxido de carbono, monóxido de carbono, cloro
Vapores	Desengrasado, pintura, productos de limpieza	Cloruro de metileno, tolueno, alcoholes minerales

### Tipos de equipos de protección respiratoria

Los equipos de protección respiratoria se clasifican en función del tipo de cobertura que proporcionan al aparato respiratorio (cobertura de entradas) y del mecanismo mediante el cual protegen al usuario del contaminante o de la deficiencia de oxígeno. Estos mecanismos son la purificación o el suministro de aire.

#### Cobertura de entradas

Las "entradas" al aparato respiratorio son la nariz y la boca. Para que un equipo de protección respiratoria funcione debe estar aislado por un cierre que, de algún modo, separe el aparato respiratorio del usuario del medio respirable, y que al mismo tiempo permita la entrada de una cantidad suficiente de oxígeno. Hay coberturas estancas y sueltas.

Las coberturas estancas pueden adoptar la forma de mascarilla, semimáscara, máscara o boquilla. La mascarilla cubre la nariz y la boca. La superficie de cierre se extiende desde el puente de la nariz hasta debajo de los labios (la cuarta parte de la cara). La semimáscara forma un cierre que va desde el puente de la nariz hasta la parte inferior de la barbilla (la mitad de la cara). El cierre de la máscara completa llega desde encima de los ojos (por debajo de la línea del pelo) hasta por debajo de la barbilla (cubre la cara completa).

El mecanismo de cobertura de la boquilla es ligeramente distinto: el usuario muerde una pieza de caucho conectada al equipo de protección respiratoria y se obstruye la nariz con una pinza. De este modo quedan cerradas las dos entradas del aparato respiratorio. Estos equipos de protección respiratoria de boquilla se usan sólo en situaciones en las que hay que huir de una atmósfera peligrosa; como su aplicación es muy especializada, no volverán a tratarse en este capítulo.

Las coberturas de mascarilla, semimáscara o máscara pueden utilizarse con equipos purificadores o suministradores de aire. El tipo de boquilla sólo se utiliza con purificadores.

Las coberturas sueltas, como sugiere su nombre, no se basan en una superficie cerrada herméticamente para proteger el aparato respiratorio del trabajador, sino que cubren la cara, la cabeza o la cabeza y los hombros y proporcionan un medio ambiente inocuo. También se incluyen en este apartado los monos que cubren el cuerpo completo (pero no las prendas que se llevan sólo para proteger la piel, como los monos

antisalpaduras). Como no cierran la cara, las coberturas sueltas sólo funcionan con equipos que suministran un caudal de aire; éste debe ser superior al aire necesario para respirar, con el fin de evitar que el contaminante del exterior del equipo de protección respiratoria penetre en el interior.

#### Equipos de protección respiratoria purificadores del aire

En estos aparatos el aire del medio ambiente pasa a través de un elemento purificador que retiene los contaminantes. El aire atraviesa el elemento purificador impulsado por la acción respiratoria (equipos de protección respiratoria de presión negativa) o por un ventilador (equipos de protección respiratoria purificadores mecánicos).

El tipo de elemento purificador del aire determina los contaminantes retenidos. Para retener aerosoles se utilizan filtros de diversa eficacia. La elección depende de las propiedades del aerosol; normalmente, el tamaño de la partícula es la característica más importante. Hay cartuchos químicos que se llenan con un material elegido específicamente para absorber un vapor o un gas contaminantes o para reaccionar con ellos.

#### Equipos de protección respiratoria suministradores de aire

Estos equipos de protección respiratoria suministran una atmósfera respirable con independencia de la que reine en el lugar de trabajo. El tipo llamado *equipo semiautónomo* admite tres modos de funcionamiento: demanda, caudal continuo o demanda de presión. Los aparatos que funcionan en los modos de demanda y demanda de presión pueden combinarse con semimáscaras y máscaras completas. Los de caudal continuo admiten también un casco o capuz o una mascarilla facial suelta.

Un segundo tipo de equipo de protección respiratoria suministrador de atmósfera, llamado *aparato respirador autónomo*, está equipado con una fuente de aire incorporada. Puede utilizarse sólo para escapar de una atmósfera peligrosa o para entrar y salir de ella. El aire está contenido a presión en una botella o se genera mediante una reacción química.

Algunos equipos de protección respiratoria semiautónomos están equipados con una pequeña botella de aire comprimido que permite al usuario salir indemne si se corta el suministro principal.

#### Equipos mixtos

Algunos equipos de protección respiratoria especializados pueden funcionar tanto en modo de suministro como de purificación del aire; son los llamados *equipos mixtos*.

### Programas de protección respiratoria

Para que un equipo de protección respiratoria funcione correctamente, es preciso elaborar un programa de protección respiratoria mínimo. Con independencia del tipo de equipo de protección respiratoria utilizado, el número de personas que intervengan y la complejidad del equipo de protección respiratoria que se utilice, todo programa debe incluir una serie de consideraciones básicas. En el caso de programas sencillos, los requisitos pueden ser mínimos. En programas más amplios, la tarea es complicada.

Considérese, a modo de ilustración, la necesidad de mantener registros de las pruebas de ajuste del equipo. En programas de una o dos personas, la fecha de la última prueba, el ajuste del equipo de protección respiratoria ensayado y el método pueden consignarse en una simple ficha; en un programa amplio, con centenares de usuarios, puede ser necesario crear una base de datos informatizada con un sistema de seguimiento de las personas que deben someterse a pruebas de ajuste.

En los seis apartados siguientes se exponen los requisitos de un buen programa.

### 1. Administración del programa

La responsabilidad del programa de equipos de protección respiratoria debe asignarse a una sola persona, denominada *administrador del programa*. Esta tarea se asigna a una sola persona con el fin de que la dirección sepa con claridad quién es el responsable. Tan importante como esto es conceder a esta persona la autoridad necesaria para tomar decisiones y ejecutar el programa.

El administrador del programa debe tener conocimientos suficientes de protección de las vías respiratorias para supervisar el programa de equipos de protección respiratoria de forma segura y eficaz. Son responsabilidades del administrador del programa supervisar los riesgos respiratorios, mantener registros y evaluar el programa.

### 2. Procedimientos operativos escritos

Los procedimientos escritos se utilizan para documentar el programa, de modo que cada participante sepa lo que hay que hacer, quién es el responsable de cada actividad y cómo debe ejecutarse. El documento de procedimiento debe incluir una declaración de los objetivos del programa. En esta declaración se debe afirmar con claridad que la dirección de la empresa es responsable de la salud de los trabajadores y de la aplicación del programa de equipos de protección respiratoria. Un documento escrito que cubra los procedimientos esenciales de un programa de equipos de protección respiratoria debe cubrir las funciones siguientes:

- elección de equipo de protección respiratoria;
- mantenimiento, inspección y reparación;
- formación de los trabajadores y los supervisores y de la persona que entrega los equipos de protección respiratoria;
- pruebas de ajuste;
- actividades administrativas, entre ellas compra, control de inventario y mantenimiento de registros;
- control de los riesgos;
- supervisión del uso del equipo de protección respiratoria;
- evaluación médica;
- suministro de equipos de protección respiratoria para situaciones de emergencia;
- evaluación del programa.

### 3. Formación

La formación es un elemento importante de todo programa de equipos de protección respiratoria. Necesitan formación el supervisor de quienes utilizan los equipos de protección respiratoria, los propios usuarios y quien entrega a éstos los equipos de protección respiratoria. El supervisor necesita saber lo suficiente del equipo de protección respiratoria en uso y de por qué se usa como para poder vigilar si se utiliza correctamente; en cuanto a la persona que entrega el equipo de protección respiratoria al usuario, necesita tener formación suficiente para estar segura de que proporciona el equipo correcto.

Los trabajadores que utilizan equipos de protección respiratoria deben recibir formación inicial y actualizaciones periódicas. La formación debe comprender la explicación y descripción de lo siguiente:

1. Naturaleza del peligro para las vías respiratorias y posibles efectos sobre la salud si el equipo de protección respiratoria no se utiliza correctamente.
2. Motivo por el que se ha elegido un tipo de equipo de protección respiratoria determinado.
3. Funcionamiento y limitaciones del equipo de protección respiratoria.
4. Forma de poner el equipo de protección respiratoria en funcionamiento y de comprobar que funciona correctamente y está bien ajustado.

5. Forma de mantener, inspeccionar y guardar el equipo de protección respiratoria.
6. Si se utilizan equipos de protección respiratoria de presión negativa, hay que enseñar la forma de hacer la prueba de ajuste.

### 4. Mantenimiento del equipo de protección respiratoria

El mantenimiento del equipo de protección respiratoria comprende limpieza regular, inspección de daños y sustitución de piezas desgastadas. El fabricante es la mejor fuente de información sobre cómo realizar las operaciones de limpieza, inspección, reparación y mantenimiento.

Los equipos de protección respiratoria deben limpiarse e higienizarse periódicamente. Si deben utilizarlos varias personas, es preciso limpiarlos e higienizarlos antes de que los usen otros. Los reservados para situaciones de emergencia deben limpiarse e higienizarse después de cada uso. Esta operación no debe descuidarse, pues quizá sea necesario realizar ajustes especiales para que el equipo de protección respiratoria funcione correctamente, tales como controlar las temperaturas de las soluciones de limpieza con el fin de no dañar los elastómeros del dispositivo. Además, puede ser necesario limpiar algunas piezas con cuidado o de una forma especial para no estropearlas. El fabricante del equipo de protección respiratoria sugerirá algún procedimiento.

Después de limpiar e higienizar los equipos de protección respiratoria, deben inspeccionarse para determinar si se encuentran en buenas condiciones de servicio, si hay que sustituir o reparar piezas o si deben tirarse. El usuario debe estar suficientemente formado y familiarizado con el equipo de protección respiratoria para ser capaz de inspeccionarlo inmediatamente antes de cada uso con el fin de cerciorarse de que se halla en buen estado de servicio.

Los equipos de protección respiratoria reservados para situaciones de emergencia deben inspeccionarse periódicamente (se sugiere una frecuencia de una vez al mes). Estos equipos de protección respiratoria deben limpiarse e inspeccionarse después de cada uso y antes de volver a almacenarlos.

En general, la inspección comprenderá una verificación de la estanqueidad de las conexiones; del estado de la cobertura de las entradas de las vías respiratorias, el arnés de cabeza, las válvulas y los tubos de conexión, los conjuntos de sujeción, las mangueras, filtros, cartuchos, cajas filtrantes, indicador de final de vida útil, componentes eléctricos y fecha de caducidad, y del correcto funcionamiento de reguladores, alarmas y otros sistemas de advertencia.

Hay que prestar especial atención a la inspección de elastómeros y piezas de plástico, frecuentes en este tipo de equipos. Las piezas de caucho y otros elastómeros se pueden inspeccionar, para determinar su flexibilidad y los signos de deterioro, estirando y doblando el material y observando los posibles signos de agrietamiento o desgaste. Las válvulas de inhalación y exhalación suelen ser delgadas y se dañan con facilidad. También hay que vigilar la acumulación de jabones y otros productos de limpieza en las superficies de hermeticidad y los asientos de las válvulas; el deterioro y la acumulación pueden provocar fugas excesivas a través de las válvulas. Las piezas de plástico deben inspeccionarse para averiguar si han sufrido daños, como el desgaste o la rotura de hilos de rosca en los cartuchos, por ejemplo.

Las botellas de aire y oxígeno debe inspeccionarse para determinar si están plenamente cargadas según las instrucciones del fabricante. Algunos tipos deben inspeccionarse periódicamente para verificar si el metal no está dañado u oxidado. Estas verificaciones pueden incluir la prueba hidrostática periódica de integridad de la botella.



Las piezas defectuosas deben sustituirse por recambios suministrados por el propio fabricante. Algunas piezas pueden parecer similares a las de otros fabricantes, pero quizá se comporten de forma distinta una vez montadas en el equipo de protección respiratoria. Los encargados de las reparaciones deben haber recibido formación sobre la forma de mantener y montar los equipos de protección respiratoria.

Los equipos semiautónomos y autónomos exigen un grado de formación más elevado. Las válvulas reductoras y de admisión, los reguladores y las alarmas sólo deben ajustarlos y repararlos el fabricante del equipo de protección respiratoria o un técnico formado por él.

Los equipos de protección respiratoria que no cumplan los criterios de inspección deben retirarse del servicio inmediatamente y repararse o sustituirse.

Los equipos de protección respiratoria deben almacenarse correctamente. Pueden sufrir daños si no se protegen de agentes físicos y químicos como vibraciones, luz solar, calor, frío extremo, humedad excesiva o compuestos dañinos. Los elastómeros utilizados para fabricar la pieza facial se dañan fácilmente si no se protegen. Los equipos de protección respiratoria no se deben guardar en lugares como cajas de herramientas o armarios roperos, salvo que estén protegidos de contaminación y daños.

### 5. Evaluaciones médicas

Debido al estrés a que someten al aparato respiratorio, los equipos de protección respiratoria pueden afectar a la salud de quienes los utilizan. Es recomendable que un médico evalúe a cada uno de los usuarios de equipos de protección respiratoria para determinar si pueden llevar estos equipos sin dificultad. Es el médico quien debe determinar en qué consistirá la evaluación médica, y puede exigir o no que esta evaluación de la salud incluya un reconocimiento médico.

Para realizar esta tarea, el médico debe recibir información sobre el tipo de equipo de protección respiratoria utilizado y el tipo y la duración del trabajo que debe ejecutarse mientras se utiliza el equipo. En la mayor parte de los casos, una persona sana normal no se verá afectada por el uso del equipo de protección respiratoria, sobre todo si éste es un modelo ligero del tipo depurador del aire.

Quien se prevea que habrá de utilizar un equipo de protección respiratoria autónomo en condiciones de emergencia deberá someterse a una evaluación más detenida. El peso del aparato de protección respiratoria autónomo contribuirá considerablemente a la carga de trabajo que se debe realizar.

### 6. Equipos de protección respiratoria homologados

Muchos gobiernos disponen de sistemas para probar y homologar el funcionamiento de los equipos de protección respiratoria que se van a emplear en su jurisdicción. En estos casos hay que utilizar un equipo de protección respiratoria homologado, puesto que la propia homologación indica que el equipo ha superado algunos requisitos de rendimiento mínimos. Si el gobierno no exige homologación formal, es probable que cualquier equipo homologado de forma válida proporcione mayores garantías de funcionamiento correcto que otro que no se ha sometido a ninguna clase de ensayos de homologación.

### Dificultades que afectan a los programas de equipos de protección respiratoria

Hay varios aspectos de uso del equipo de protección respiratoria que pueden dificultar la gestión de un programa de equipos de protección respiratoria, como el pelo facial y la compatibilidad

con gafas y otros equipos protectores utilizados junto con el equipo de protección respiratoria.

#### **Pelo facial**

El pelo facial puede plantear un problema práctico a la hora de gestionar un programa de equipos de protección respiratoria. Algunos trabajadores llevan barba por motivos estéticos y a otros les resulta difícil afeitarse porque sufren una afección médica que hace que el pelo se curve y crezca hacia el interior de la piel después del afeitado. Al inhalar, se instaura dentro del equipo de protección respiratoria una presión negativa y, si el cierre con la cara no es estanco, pueden penetrar contaminantes; esto afecta tanto a los equipos de protección respiratoria purificadores como a los de suministro de aire. La dificultad estriba en cómo ser ecuánime y permitir a los trabajadores que lleven barba o bigote y, al mismo tiempo, proteger su salud.

Varios estudios de investigación demuestran que el pelo facial en la superficie de cierre de un equipo de protección respiratoria estanco provoca fugas excesivas. Estos estudios demuestran también que la magnitud de las fugas provocadas por el pelo es tan variable que no es posible determinar si los trabajadores recibirán protección adecuada, incluso si los equipos de protección respiratoria se han ajustado a la medida. Esto significa que un trabajador con barba o bigote equipado con un equipo de protección respiratoria estanco podría no quedar suficientemente protegido.

El primer paso para resolver este problema consiste en determinar si puede utilizarse un equipo de ajuste suelto. Por cada tipo de equipo de protección respiratoria de ajuste estanco —salvo los equipos de protección respiratoria autónomos y los mixtos de evacuación y semiautónomos— hay otro de ajuste suelto que proporciona una protección similar.

Otra opción consiste en destinar a los trabajadores afectados a puestos que no exijan el uso de equipo de protección respiratoria. La última opción posible es obligar al trabajador a afeitarse. Si al trabajador le resulta difícil esta solución por motivos de salud, en la mayor parte de los casos se puede encontrar una solución médica que le permita afeitarse y utilizar equipo de protección respiratoria.

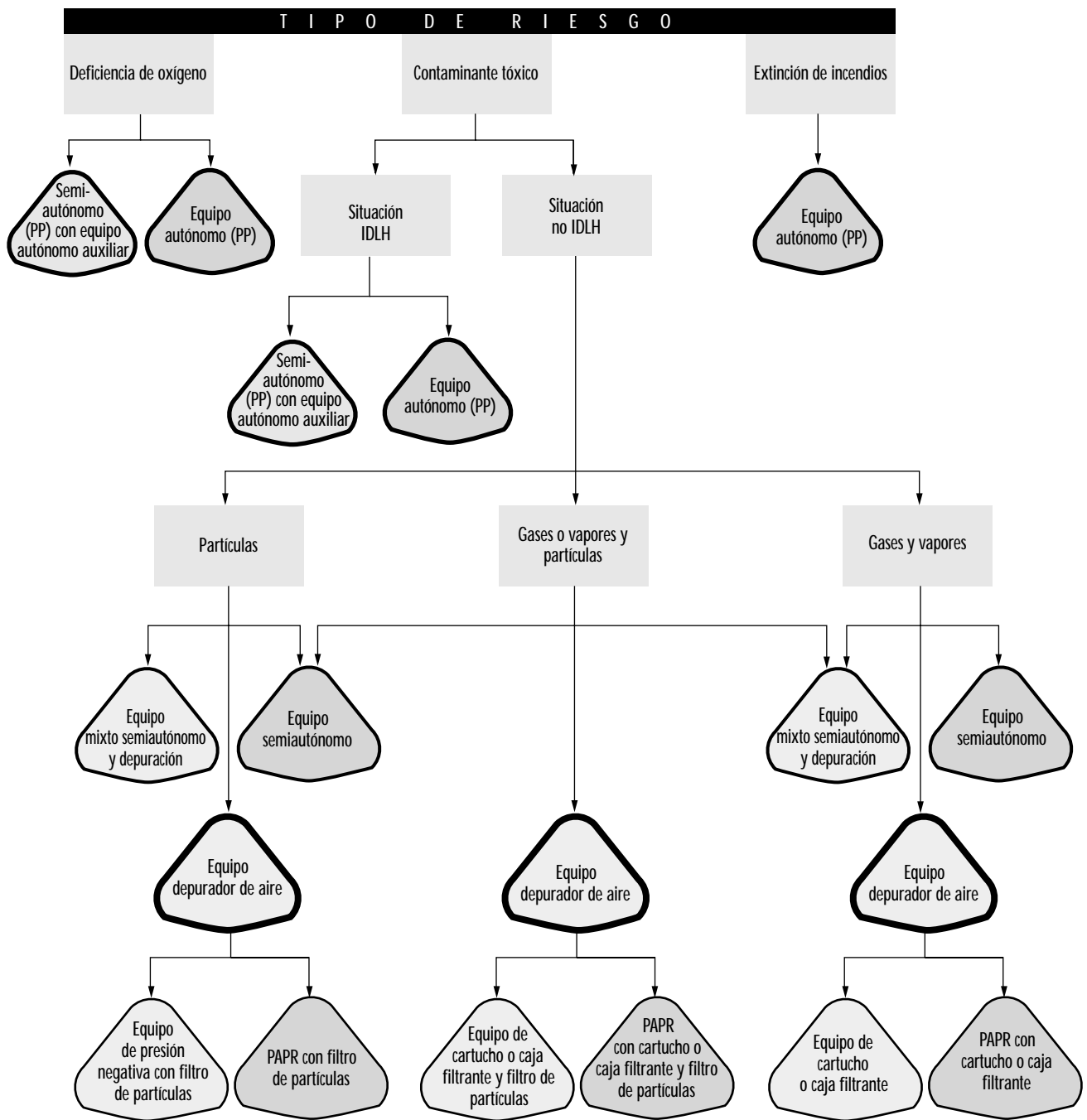
#### **Gafas y otros equipos protectores**

Algunos trabajadores usan gafas para ver y, en determinados medios industriales, hay que llevar gafas de seguridad, normales o de montura ajustada para proteger los ojos de las partículas volantes. Al llevar un equipo de protección respiratoria de tipo semimáscara, las gafas pueden interferir con el ajuste del equipo de protección respiratoria en la zona del puente de la nariz. Si se utiliza una máscara completa, las patillas interrumpirán la superficie de cierre y provocarán fugas.

A continuación se proponen algunas soluciones para estas dificultades. Si se usa semimáscara, primero se realiza una prueba de ajuste durante la cual el trabajador debe llevar las gafas o elementos protectores que puedan interferir con el funcionamiento del equipo de protección respiratoria. El ensayo de ajuste sirve para demostrar que las gafas u otros accesorios no interfieren con el funcionamiento del equipo de protección respiratoria.

En el caso de los equipos de protección respiratoria de máscara completa, las opciones posibles son utilizar lentes de contacto o gafas especiales montadas dentro de la mascarilla (casi todos los fabricantes proporcionan monturas especiales con este fin). En ocasiones se ha pensado que no deben utilizarse lentes de contacto con equipos de protección respiratoria, pero la investigación ha demostrado que los trabajadores pueden usar las dos cosas al mismo tiempo sin ninguna dificultad.

Figura 31.19 • Guía de selección de equipos de protección respiratoria.



Fuente: American Industrial Hygiene Association 1991.

### Propuesta de procedimiento de elección de equipo de protección respiratoria

Para elegir un equipo de protección respiratoria hay que analizar cómo se utilizará y conocer las limitaciones de cada tipo. Son consideraciones generales lo que hará el trabajador, la forma de utilizar el equipo de protección respiratoria, la ubicación del trabajo y cualesquiera limitaciones que el equipo de protección respiratoria pueda imponer al trabajo, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 31.19.

Para elegir el equipo de protección respiratoria adecuado, hay que tener en cuenta la actividad del trabajador y su situación dentro de la zona peligrosa (por ejemplo, hay que saber si estará dentro de la zona peligrosa continuamente o de forma intermitente durante el turno de trabajo y si el trabajo es ligero, medio o pesado). En el caso de uso continuo y trabajo pesado, sería preferible utilizar un equipo de protección respiratoria de peso ligero.

Las condiciones ambientales y el grado de esfuerzo que deba realizar el usuario del equipo de protección respiratoria pueden

afectar a la duración de éste. Así, el esfuerzo físico extremo puede hacer que el usuario agote la reserva de aire de un equipo de protección respiratoria autónomo, cuya duración en servicio se reducirá a la mitad o menos.

Un factor importante que debe tenerse en cuenta es el tiempo durante el cual debe llevarse equipo de protección respiratoria. También hay que prestar atención al tipo de tarea que debe realizarse con el equipo de protección respiratoria: rutinaria, no rutinaria, de urgencia o de salvamento.

Hay que considerar también la localización del área peligrosa en relación con el área segura en la que hay aire respirable. Este conocimiento permitirá planificar la salida de los trabajadores en caso de emergencia y la entrada para realizar operaciones de mantenimiento y salvamento. Si hay mucha distancia hasta la zona con aire respirable o si el trabajador necesita sortear obstáculos o subir escaleras, los equipos de aire suministrado pueden no ser buena idea.

Si hay posibilidades de deficiencia de oxígeno, hay que medir el contenido de oxígeno del espacio de trabajo de que se trate. La clase de equipo de protección respiratoria que puede utilizarse (de purificación o suministro de aire) dependerá de la presión parcial de oxígeno. Como los purificadores de aire sólo limpian el aire, debe haber suficiente oxígeno en la atmósfera para mantener la vida.

Para elegir el equipo de protección respiratoria, es necesario examinar cada operación a fin de cerciorarse de los posibles riesgos (determinación de riesgos) y elegir un tipo o clase de equipo que proporcione una protección adecuada.

### Etapas de la determinación de riesgos

Para determinar las propiedades de los contaminantes que puedan hallarse presentes en el lugar de trabajo hay que consultar con la fuente principal de esta información, que es el proveedor del material. Muchos proveedores proporcionan a sus clientes una ficha técnica de seguridad que contiene datos sobre la identidad de los materiales que forman un producto y aporta información sobre los límites de exposición y toxicidad.

Hay que determinar si hay algún límite de exposición publicado, como un valor límite umbral (TLV), límite de exposición permisible, concentración máxima admisible o cualquier otro límite de exposición o estimación de toxicidad de los contaminantes de que se disponga. Es preciso averiguar si se conoce un valor de concentración inmediatamente peligrosa para la vida o la salud (IDLH) del contaminante. Cada equipo de protección respiratoria tiene alguna limitación de uso basada en el grado de exposición. Hace falta algún tipo de límite para determinar si el equipo de protección respiratoria proporcionará una protección suficiente.

Hay que averiguar si hay alguna norma sanitaria legalmente obligatoria que afecte al contaminante de que se trate (como las hay para el plomo o el amianto). En caso afirmativo, puede haber equipos de protección respiratoria obligatorios que ayuden a estrechar el abanico de selección.

El estado físico del contaminante es una característica importante. Si se trata de un aerosol, hay que determinar o estimar el tamaño de las partículas. También es importante la presión de vapor de los aerosoles a la temperatura máxima prevista del medio ambiente de trabajo.

Hay que determinar si el contaminante presente puede absorberse a través de la piel, provocar insensibilización de ésta o ser irritante o corrosivo para los ojos o la piel. En el caso de contaminantes gaseosos o en forma de vapor, hay que averiguar si hay alguna concentración que produce un olor, sabor o irritación conocidos.

Una vez conocida la identidad del contaminante, es preciso determinar su concentración. Esto suele hacerse recogiendo el

material en una muestra de medio y analizándolo en el laboratorio. A veces la evaluación puede hacerse estimando exposiciones, como se describe a continuación.

### Estimación de la exposición

Para determinar el peligro no siempre es necesario tomar muestras. La exposición puede estimarse estudiando datos relativos a tareas similares o calculando sobre un modelo. Tanto los modelos como el razonamiento sirven para estimar la exposición máxima probable, en la que puede basarse la elección de equipo de protección respiratoria. (El modelo más básico adecuado para ello es el de evaporación: se deja evaporar una cantidad conocida de material en un espacio de aire, se determina la concentración de vapor y se estima la exposición. Pueden hacerse ajustes para compensar los efectos de la dilución o la ventilación.)

Otras fuentes posibles de información sobre exposición son los artículos de revistas o publicaciones profesionales que recogen datos de exposición correspondientes a distintos sectores industriales. Las asociaciones profesionales y los datos recogidos en programas de higiene para procesos similares son también fuentes valiosas.

Para adoptar medidas de protección basadas en una exposición estimada hay que hacer un juicio basado en la experiencia relativa al tipo de exposición de que se trate. Por ejemplo: los datos de control atmosférico de tareas anteriores no serán útiles la primera vez que se produzca una interrupción súbita de una

Tabla 31.13 • Factores de protección asignados según ANSI.Z88.2 (1992).

Tipo de equipo	Cobertura de la entrada a las vías respiratorias			
	Semimáscara <sup>1</sup>	Máscara completa	Casco/capuz	Careta suelta
Purificador del aire	10	100		
<b>Suministro de aire</b>				
ARA (demanda) <sup>2</sup>	10	100		
Semiautónomo (demanda)	10	100		
Purificación asistida	50	1.000 <sup>3</sup>	1.000 <sup>3</sup>	25
<b>Respiradores de línea de aire (semiautónomo)</b>				
<b>Semiautónomo con aire comprimido</b>				
Demanda de presión	50	1.000	—	—
Caudal continuo	50	1.000	1.000	25
<b>Aparato respirador autónomo (ARA)</b>				
Presión positiva (demanda circuito abierto/cerrado)	—	4	—	—

<sup>1</sup> Incluye la mascarilla, la semimáscara de usar y tirar y la semimáscara con careta de elastómero.

<sup>2</sup> Los equipos autónomos de demanda no deben utilizarse en situaciones de emergencia, como la extinción de incendios. <sup>3</sup> Los factores de protección indicados corresponden a filtros y absorbentes de eficacia elevada (cartuchos y cajas). En el caso de filtros de polvo debe utilizarse un factor de protección asignado de 100 debido a sus limitaciones. <sup>4</sup> Aunque actualmente se considera que los de presión positiva proporcionan el máximo grado de protección de las vías respiratorias, de un número limitado de estudios recientes de simulación del lugar de trabajo se concluye que no todos los usuarios logran factores de protección de 10.000. Teniendo en cuenta estos datos limitados, no es posible atribuir un factor de protección asignado definitivo para equipos autónomos de presión positiva. A efectos de planificación de emergencias en las que puedan estimarse las concentraciones de sustancias peligrosas, debe utilizarse un factor de protección no superior a 10.000.

Nota: Los factores de protección asignados no son aplicables a los respiradores de huida. En el caso de los equipos de protección respiratoria combinados (equipos semiautónomos con filtro depurador del aire), el factor de protección depende del modo de funcionamiento.

Fuente: ANSI Z88.2 1992.

línea de distribución. La posibilidad de un accidente de este tipo debe preverse antes de que pueda determinarse la necesidad de un equipo de protección respiratoria, y la elección del tipo adecuado se puede basar en una estimación de la concentración probable del contaminante y su naturaleza. Así, en una operación que obligue a manejar tolueno a temperatura ambiente no haría falta más protección que la proporcionada por una conducción continua de aire, puesto que no cabe esperar una concentración de tolueno superior a su valor de IDLH, que es de 2.000 ppm. Por el contrario, en caso de rotura de una conducción de dióxido de azufre estaría indicado un dispositivo más eficaz (un equipo de protección respiratoria de suministro de aire con una botella de emergencia, por ejemplo), pues una fuga de este tipo provoca fácilmente concentraciones ambientales de contaminante superiores al valor de IDLH de 20 ppm. En el siguiente apartado se examina con mayor detenimiento la elección de equipo de protección respiratoria.

### **Etapas de selección de un equipo de protección respiratoria concreto**

Cuando no es posible determinar qué contaminante potencialmente peligroso puede estar presente, la atmósfera se considera inmediatamente peligrosa para la vida o la salud. En estas circunstancias hace falta un dispositivo aparato de protección respiratoria autónomo o una conducción de aire con una botella de emergencia. Asimismo, si no se dispone de ningún límite u orientación de exposición y no es posible estimar la toxicidad, la atmósfera se considera IDLH y se utiliza un aparato de protección respiratoria autónomo (véase más adelante el apartado sobre atmósferas IDLH).

En algunos países hay normas muy específicas sobre equipos de protección respiratoria que pueden utilizarse en ciertas situaciones para compuestos determinados. Si hay una norma específica para un contaminante, deben cumplirse las exigencias legales.

En atmósferas pobres en oxígeno, el tipo de equipo de protección respiratoria elegido depende de la presión parcial y la concentración de oxígeno y de la concentración de los otros contaminantes posibles.

### **Índice de peligro y factor de protección asignado**

La concentración medida o estimada de un contaminante se divide por su límite o valor orientativo de exposición para obtener el índice de peligro correspondiente. Se elige un equipo de protección respiratoria en relación con este contaminante, que tenga un factor de protección asignado (FPA) superior al valor del índice de peligro (el factor de protección asignado mide el comportamiento estimado de un equipo de protección respiratoria). En muchos países se asigna a la semimáscara un factor de protección de diez. Se supone que la concentración en el interior del equipo de protección respiratoria se reduce en un factor de diez, es decir, en el FPA.

El factor de protección asignado figura en cualquier reglamento vigente sobre uso de equipos de protección respiratoria o en la American National Standard for Respiratory Protection (ANSI Z88.2 1992). Los FPA de la ANSI se recogen en la Tabla 31.13.

Así, para una exposición al estireno (límite de exposición de 50 ppm) con todos los datos medidos en el lugar de trabajo inferiores a 150 ppm, el índice de peligro es de 3 (es decir,  $150 \div 50 = 3$ ). Un equipo de protección respiratoria de semimáscara con un factor de protección asignado de 10 garantizará que la mayor parte de los datos no medidos estarán muy por debajo del límite asignado.

En algunos casos en los que se toman muestras del "peor caso posible" o en los que sólo se recogen unos pocos datos, hay que utilizar el sentido común para decidir si los datos son suficientes

para hacer una evaluación aceptablemente fiable de los niveles de exposición. Si, por ejemplo, se han tomado dos muestras para una tarea de corta duración que representa el "peor caso" para esa tarea y las dos muestras están por debajo del doble del límite de exposición (índice de peligro de 2), un equipo de protección respiratoria de semimáscara (con un FPA de 10) sería probablemente apropiado y, sin la menor duda, una máscara completa de flujo continuo (con un FPA de 1.000) proporcionaría una protección suficiente. La concentración de contaminante debe ser también inferior a la concentración de uso máximo del cartucho o la caja (esta información la proporciona el fabricante del equipo de protección respiratoria).

### **Aerosoles, gases y vapores**

Si el contaminante es un aerosol, hay que utilizar un filtro que se elige en función de su eficacia en relación con las partículas de que se trate. La documentación proporcionada por el fabricante orientará sobre la elección del filtro. Si, por ejemplo, el contaminante es una pintura, laca o esmalte, puede usarse un filtro especial para nebulizaciones de pintura. Hay también filtros especiales para humos o partículas de polvo de tamaño superior al normal.

En el caso de gases y vapores, hay que facilitar información suficiente sobre el fallo del cartucho. Como indicadores de que el contaminante ha atravesado el cartucho se utilizan el olor, el sabor o la irritación. Por tanto, la concentración a la que se hacen perceptibles el olor, el sabor o la irritación debe ser inferior al límite de exposición. Si el contaminante es un gas o un vapor con poca capacidad de advertencia, suele recomendarse el uso de un equipo de protección respiratoria de suministro de aire.

Pero en ocasiones no pueden utilizarse equipos de protección respiratoria de suministro de aire, sea por falta de tal suministro o por necesidades de movilidad del trabajador. En este caso se pueden emplear dispositivos depuradores, pero deben estar provistos de un indicador que señale el final de la vida útil del dispositivo de manera que el usuario esté advertido antes de la penetración del contaminante. Otra opción es crear un programa de cambio de cartuchos basado en los datos de servicio, la concentración esperada, la pauta de uso y la duración de la exposición.

### **Elección de equipos de protección respiratoria para situaciones de emergencia e IDLH**

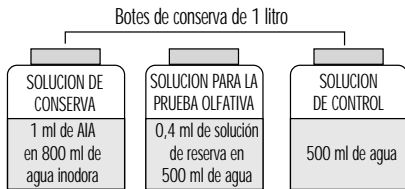
Como ya se ha señalado, se supone que se dan condiciones IDLH cuando se desconoce la concentración de un contaminante. Además, es prudente considerar todos los recintos cerrados que contienen una concentración de oxígeno inferior al 20,9 % como inmediatamente peligrosos para la vida o la salud. Los recintos cerrados presentan riesgos únicos. La falta de oxígeno en recintos cerrados causa muchas muertes y lesiones graves. Cualquier reducción del porcentaje de oxígeno demuestra, como mínimo, que el recinto cerrado de que se trate no está suficientemente ventilado.

En condiciones IDLH a presión atmosférica normal pueden utilizarse dos tipos de equipos de protección respiratoria: aparato de protección respiratoria autónomo de presión positiva o una combinación de equipo de protección respiratoria de suministro de aire con una botella de emergencia. Cuando se utilizan equipos de protección respiratoria en condiciones IDLH debe haber al menos una persona de vigilancia en una zona segura; esta persona debe disponer de equipo adecuado para ayudar a los usuarios del equipo de protección respiratoria en caso de dificultades. Hay que mantener las comunicaciones entre el vigilante y el usuario.

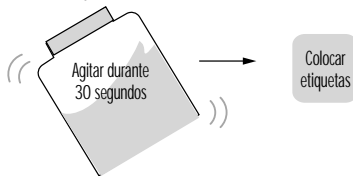
Figura 31.20 • Método cuantitativo del acetato de isoamilo para comprobar el ajuste.

Determinación del umbral olfativo

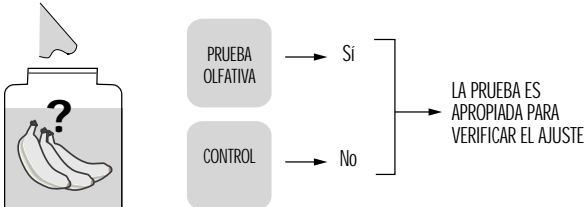
- Hacen falta tres recipientes de vidrio de un litro con cierres metálicos (sirven los botes de conserva corrientes). (Nota: algunos fabricantes comercializan un conjunto de materiales para probar el ajuste que contiene todos los elementos y soluciones necesarios.)
- Las soluciones deben prepararse con agua inodora (destilada o mineral, por ejemplo) a una temperatura de aproximadamente 25 °C.
- La solución de reserva de acetato de isoamilo (AIA) (también llamado acetato de isopentilo) se prepara añadiendo 1 ml de AIA puro a 800 ml de agua inodora en un recipiente de un litro y agitando durante 30 segundos. Esta solución debe renovarse al menos una vez a la semana.
- La solución para la prueba olfativa se prepara en un segundo recipiente añadiendo 0,4 ml de solución de reserva a 500 ml de agua inodora con un cuentagotas o una pipeta limpios. Agitar durante 30 segundos y dejar en reposo durante dos o tres minutos, de modo que la concentración de AIA por encima del líquido pueda alcanzar el equilibrio. Esta solución se conserva sólo durante un día.
- Se prepara un control neutro con 500 ml de agua inodora.



- La prueba de selección debe realizarse en una sala distinta de la utilizada para la prueba de ajuste propiamente dicha. Ambas han de estar ventiladas de forma independiente y con eficacia; no deben estar conectadas a ningún sistema de ventilación por recirculación.
- Hay que colocar una etiqueta de identificación en los botes que contienen la solución para la prueba olfativa y de control.



- Se pide al sujeto que compruebe si los cierres están bien apretados y que a continuación agite los botes. Luego debe abrirlos uno después de otro, aspirar en la misma boca del recipiente e indicar cuál de los dos huele a plátano.
- Las soluciones utilizadas para hacer esta prueba deben prepararse en una zona separada de la reservada a la prueba, para evitar la fatiga olfativa de los sujetos examinados.
- Si el sujeto no logra identificar correctamente el recipiente que contiene la solución de la prueba olfativa, no debe someterse a la determinación cuantitativa del ajuste con AIA.

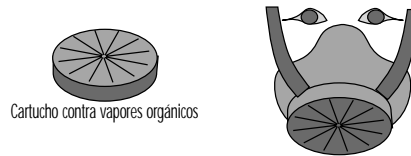


Prueba de ajuste

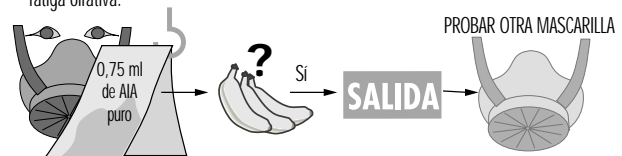
- La cámara de comprobación del ajuste debe ser esencialmente similar a un barril de 55 galones (208 litros) suspendido boca abajo sobre una plataforma circular de unos 60 cm de diámetro, de modo que esta plataforma quede a unos 15 cm de la parte superior de la cabeza del sujeto. También hay que montar un pequeño gancho en el centro de la cara interna de la tapa superior de la cámara.



- Los equipos de protección respiratoria utilizados para el ajuste o para la prueba de ajuste deben estar provistos de cartuchos contra vapores orgánicos o de alguna otra forma de protección frente a esta clase de vapores. El cartucho o la mascarilla debe cambiarse al menos una vez a la semana.
- Después de elegir, colocar y ajustar correctamente un equipo, el sujeto examinado debe llevarlo puesto a la sala de prueba del ajuste. Esta sala debe estar separada de la utilizada para la prueba olfativa y la elección del equipo; debe estar también bien ventilada, quizá con una campana y un extractor de laboratorio, para evitar la contaminación general de la sala.
- Hay que pegar una copia de los ejercicios de prueba al interior de la cámara de prueba.



- Antes de que entre en la cámara de prueba se entrega al sujeto una toalla de aproximadamente 15 por 12 cm, de papel o de otro material poroso absorbente, de una sola capa, doblado por la mitad e impregnado con 0,75 ml de AIA puro. La toalla se cuelga del gancho situado en la parte superior de la cámara.
- Antes de realizar los ejercicios se esperan dos minutos para que la concentración de AIA alcance el valor adecuado para la prueba. Este tiempo puede aprovecharse para hablar con el sujeto, explicarle en qué consiste la prueba de ajuste, hacerle ver la importancia de que coopere, describirle la finalidad de los ejercicios de cabeza o hacer una demostración de algunos de ellos.
- Cada ejercicio debe realizarse durante 30 o 60 segundos.
- Si en cualquier momento de la prueba el sujeto detecta el olor a plátanos del AIA, debe salir rápidamente de la cámara de prueba y abandonar la sala para evitar la fatiga olfativa.



- Al volver a la sala de selección, el sujeto debe quitarse el equipo de protección respiratoria, repetir la prueba de sensibilidad olfativa, elegir y colocarse otro equipo, volver a la cámara de prueba, etc. La operación continúa hasta dar con un equipo que ajuste. Si no pasa el ensayo de sensibilidad olfativa, el sujeto debe esperar alrededor de cinco minutos antes de repetirlo. Por lo general, la sensibilidad se recupera después de este período.
- Cuando se encuentra un equipo que supera la prueba, se demuestra su eficacia para el sujeto haciendo que abra el cierre facial y aspire antes de salir de la cámara.
- Los sujetos que hayan pasado bien esta prueba pueden recibir un dispositivo con un factor de protección no superior a 10.

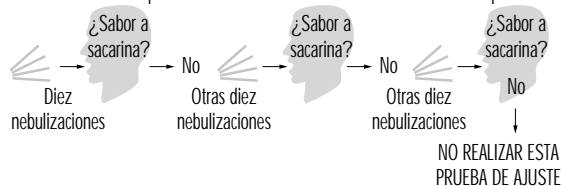
Figura 31.21 • Método cuantitativo del aerosol de sacarina para comprobar el ajuste.

Determinación del umbral gustativo

1. Se utiliza un recinto de prueba de aproximadamente 30 cm de diámetro y 35 cm de altura y transparente al menos por su parte delantera. Debe permitir el libre movimiento de la cabeza con el equipo de protección respiratoria puesto. (Nota: algunos fabricantes comercializan un conjunto de materiales para probar el ajuste que contiene todos los elementos y soluciones necesarios.)
2. El recinto de prueba debe tener un orificio de aproximadamente 2 cm de diámetro situado frente a la zona de la nariz y la boca del sujeto para colocar en él la boquilla nebulizadora.
3. Antes de realizar la prueba de selección hay que explicarle al sujeto toda la rutina de selección y prueba.
4. El sujeto se coloca el recinto de prueba sobre la cabeza. Para realizar la prueba del umbral gustativo debe respirar por la boca.
5. Valiéndose de un nebulizador médico DeVilbiss Modelo 40 o equivalente, el encargado de realizar la prueba debe pulverizar la solución de comprobación del umbral hacia el recinto. Este nebulizador debe estar claramente identificado para diferenciarlo del que contiene la solución de prueba (véase más adelante).
6. La solución de comprobación del umbral contiene 0,83 g de sacarina sódica (USP) en agua. Se prepara añadiendo 1 ml de la solución de comprobación del ajuste (véase más adelante) a 100 ml de agua.



7. Para producir el aerosol, se aprieta con firmeza hasta el fondo la perilla del nebulizador y a continuación se suelta y se deja que se distienda por completo.
8. Se aprieta la perilla diez veces rápidamente dirigiendo el aerosol hacia el recinto y se pregunta al sujeto si nota el sabor de la sacarina. Si el nebulizador se utiliza correctamente, se enviará aproximadamente 1 ml de líquido por cada diez movimientos de compresión de la perilla.
9. Si la primera respuesta es negativa, se vuelve a accionar el nebulizador otras diez veces en sucesión rápida y se vuelve a preguntar al sujeto si percibe el sabor de la sacarina.
10. Si la segunda respuesta es negativa, se efectúa una tercera serie de diez nebulizaciones rápidas y se vuelve a preguntar al sujeto si percibe el sabor de la sacarina.
11. El realizador de la prueba anota el número de nebulizaciones necesario para inducir



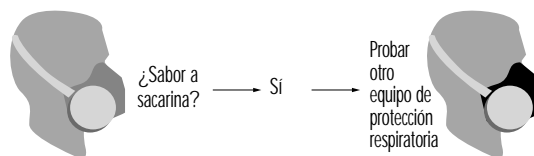
12. Si no detecta el sabor de la sacarina después de 30 nebulizaciones, el sujeto no debe realizar la prueba de ajuste de la sacarina.
13. Si se obtiene respuesta, se pide al sujeto que anote el sabor percibido para utilizarlo como referencia en la prueba de ajuste.

Prueba de ajuste

1. En la prueba de ajuste se utiliza el mismo recinto ya descrito.
2. Los equipos objeto de la prueba se eligen tal como ya se ha descrito. El equipo de protección respiratoria debe estar equipado con un filtro para partículas.
3. El sujeto debe llevar el equipo durante varios minutos antes de iniciar la prueba.
4. El sujeto debe colocar la cabeza en el recinto mientras lleva el equipo elegido.
5. El sujeto no puede comer, beber (salvo agua) ni mascar chicle durante los 15 minutos anteriores al inicio de la prueba.
6. Se utiliza un segundo nebulizador médico DeVilbiss Modelo 40 o equivalente para pulverizar en el recinto la solución de prueba de ajuste. Este nebulizador debe estar claramente etiquetado para diferenciarlo del utilizado para administrar la solución de umbral gustativo.
7. La solución de prueba de ajuste se prepara añadiendo 83 g de sacarina sódica a 100 ml de agua caliente.
8. Como en la prueba anterior, el sujeto debe respirar por la boca.



9. Se inserta el nebulizador en el orificio frontal del recinto y se pulveriza la solución de prueba siguiendo la misma técnica descrita para la determinación del umbral gustativo y administrando el mismo número de nebulizaciones (10, 20 ó 30).
10. Después de generar el aerosol se pide al sujeto que realice los ejercicios descritos con anterioridad.
11. Cada 30 segundos se renueva la concentración de aerosol administrando la mitad de las nebulizaciones utilizadas inicialmente (5, 10 ó 15).



12. El sujeto debe indicar al experimentador si en algún momento detecta sabor a sacarina.
13. Si detecta sacarina se considera que el ajuste no es satisfactorio y se prueba otro equipo.
14. Los sujetos que hayan pasado bien esta prueba pueden recibir un dispositivo con un factor de protección no superior a 10.

Mientras trabaje en la atmósfera IDLH, el usuario debe estar equipado con un arnés y conducciones de seguridad que permitan llevarlo a una zona segura en caso necesario.

**Atmósferas pobres en oxígeno**

En términos estrictos lo único que importa de la deficiencia de oxígeno es su presión parcial en una atmósfera determinada. La deficiencia de oxígeno puede deberse a una reducción en el

porcentaje de este gas en la atmósfera, a una disminución de la presión o a las dos cosas. A altitudes elevadas, la menor presión atmosférica total puede determinar una presión parcial de oxígeno muy baja.

El hombre necesita una presión parcial de oxígeno de aproximadamente 95 mm Hg (torr) para sobrevivir. El valor exacto varía de unas personas a otras en función de su salud y su capacidad de aclimatación a condiciones de baja presión de oxígeno.

El citado valor de 95 mm Hg equivale a un 12,5 % de oxígeno al nivel del mar o a un 21 % a una altitud de 4.270 m. Una atmósfera de estas características puede afectar adversamente a quien presente poca tolerancia a las bajas concentraciones de oxígeno o a quien no esté aclimatado y deba realizar un trabajo que exija una agudeza mental considerable o que suponga estrés acusado.

Para evitar efectos adversos, los equipos de protección respiratoria de suministro de aire deben funcionar a presiones parciales de oxígeno más elevadas, del orden de 120 mm Hg o 16 % de oxígeno al nivel del mar. En todas las decisiones que afecten a personas que deban trabajar en atmósferas pobres en oxígeno debe intervenir un médico. Puede haber valores de concentración porcentual o presión parcial de oxígeno legalmente obligatorios que exijan el uso de equipos de protección respiratoria de suministros de aire con ajustes distintos de las orientaciones generales propuestas aquí.

### Algunos procedimientos de prueba del ajuste

Todas las personas que deban utilizar un equipo de protección respiratoria estanco de presión negativa han de someterse periódicamente a pruebas de ajuste. Todas las caras son distintas y un equipo de protección respiratoria determinado podría no ajustarse a la cara de un usuario concreto. La falta de ajuste permite la entrada de aire contaminado en el equipo de protección respiratoria y reduce la protección que éste proporciona. Es preciso repetir la prueba de ajuste periódicamente y siempre que el usuario experimente algún cambio que pueda interferir con el cierre facial de la mascarilla, como alguna cicatriz de cierto tamaño, cambios odontológicos o cirugía reconstructiva o estética. Al hacer las pruebas de ajuste, el usuario debe llevar todo el equipo protector que utilice en el trabajo y que pueda afectar a la hermeticidad, como gafas graduadas o de protección, pantalla facial o casco de soldadura. El equipo de protección respiratoria debe llevar también la configuración de uso y estar provisto del cartucho o la caja de barbilla.

### Métodos de prueba de ajuste

Las pruebas de ajuste tienen por objeto determinar si un modelo y talla determinados de mascarilla se ajustan a la cara de un

individuo. Antes de hacer las pruebas hay que informar al sujeto del uso y funcionamiento correctos del equipo de protección respiratoria y explicarle la finalidad de la prueba y la forma de realizarla. El usuario del equipo de protección respiratoria debe comprender que se le pide que elija el modelo que se ajuste de forma más cómoda. Cada equipo de protección respiratoria tiene un tamaño y una forma propias y, si ajusta bien y se utiliza correctamente, proporcionará una protección adecuada.

Ningún tamaño ni modelo de equipo de protección respiratoria se ajusta a todas las caras. Los distintos tamaños y modelos se adaptan a una gama más amplia de tipos faciales; por tanto, hay que disponer de un número suficiente de tallas y modelos entre los cuales elegir uno apropiado.

Se empieza por pedir al sujeto que realiza la prueba que se coloque cada una de las mascarillas en la cara y descarte las que obviamente no se ajustan de forma cómoda. Normalmente, la selección empieza con una semimáscara y, si no se logra un buen ajuste, se prueba con una mascarilla completa (hay un pequeño porcentaje de usuarios que no pueden llevar ninguna clase de semimáscara).

El sujeto debe hacer una comprobación de ajuste a presión positiva o negativa siguiendo las instrucciones del fabricante antes de iniciar la prueba. A continuación podrá realizar esta prueba siguiendo uno de los métodos que se indican a continuación. Hay otros métodos, entre ellos los cuantitativos, que utilizan instrumentos para medir las fugas hacia el interior del equipo de protección respiratoria. Los métodos descritos en este capítulo son cualitativos y no necesitan equipo de ensayo costoso; se trata de los protocolos (1) del acetato de isoamilo (IAA) y (2) del aerosol de solución de sacarina.

*Ejercicios de prueba.* Durante la prueba de ajuste, el usuario debe realizar varios ejercicios para comprobar que el equipo de protección respiratoria permite realizar una serie de acciones básicas y necesarias. Se recomiendan los seis ejercicios siguientes: postura erguida en descanso, respiración normal, respiración profunda, mover la cabeza de un lado a otro, mover la cabeza hacia arriba y hacia abajo y hablar (véanse las Figuras 31.20 y 31.21).

### Referencias

- American Industrial Hygiene Association (AIHA). 1991. *Respiratory Protection: A Manual and Guideline*. Fairfax, Virginia: AIHA.
- American National Standards Institute (ANSI). 1974. *Method for the Measurement of Real-Ear Protection of Hearing Protectors and Physical Attenuation of Earmuffs*. Documento núm. S3.19-1974 (ASA Std 1-1975). Nueva York: ANSI.
- . 1984. *Method for the Measurement of Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors*. Documento núm. S12.6-1984 (ASA STD55-1984). Nueva York: ANSI.
- . 1989. *Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection*. Documento núm. ANSI Z 87.1-1989. Nueva York: ANSI.
- . 1992. *American National Standard for Respiratory Protection*. Documento núm. ANSI Z 88.2. Nueva York: ANSI.
- Berger, EH. 1988. Hearing protectors - Specifications, fitting, use and performance. En *Hearing Conservation in Industry, Schools and the Military*, dirigido por DM Lipscomb. Boston: College-Hill Press.
- . 1991. Flat-response, moderate-attenuation and level-dependent HPDs: How they work, and what they can do for you. *Spectrum* 8 Supl. 1:17.
- Berger, EH, JR Franks, F Lindgren. 1996. International review of field studies of hearing protector attenuation. En *Proceedings of the Fifth International Symposium: effects of Noise on Hearing*, dirigido por A Axelsson, H Borchgrevink, L Hellstrom, RP Hamernik, D Henderson y RJ Salvi. Nueva York: Thieme Medical.
- Berger, EH, JE Kerivan, F Mintz. 1982. Inter-laboratory variability in the measurement of hearing protector attenuation. *J Sound Vibrat* 16(1):14-19.
- British Standards Institute (BSI). 1994. *Hearing Protectors - Recommendations for Selection, Use, Care and Maintenance - Guidance Document*. Documento núm. BSI EN 458:1994. Londres: BSI.
- Bureau of Labour Statistics. 1980. *Work Injury Report - An Administrative Report On Accidents Involving Foot Injuries*. Washington, DC: Bureau of Labour Statistics, Department of Labour.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). 1993. *Industrial Safety Helmets*. Norma europea EN 397-1993. Bruselas: CEN.
- Comunidad Económica Europea (CEE). 1989. *Directiva 89/686/CEE sobre la aproximación de las disposiciones legales y reglamentarias de los Estados miembros en materia de equipos de protección individual*. Luxemburgo: CEE.
- Federal Register. 1979. *Noise Labeling Requirements for Hearing Protectors*. Fed. regist. 44 (190), 40 CFR, part 211: 56130-56147. Washington, DC: GPO.
- . 1983. *Occupational Noise Exposure: Hearing Conservation Amendment*. Final Rule. Fed regist.. 48 (46): 9738-9785. Washington, DC: GPO.
- . 1994. *Respiratory Protection*. Fed regist. Título 29, Sección 1910, Subsección 134. Washington, DC: GPO.
- Franks, JR. 1988. Number of workers exposed to occupational noise. *Sem Hearing* 9(4): 287-298, dirigido por W. Melnick.
- Franks, JR, CL Themann, C Sherris. 1995. *The NIOSH Compendium of Hearing Protection Devices*. Publication No. 95-105. Cincinnati, Ohio: NIOSH.
- Luz, J, S Melamed, T Najenson, N Bar, MS Green. 1991. The structured ergonomic stress level (E-S-L) index as a predictor of accident and sick leave among male industrial employees. En *Proceedings of the ICCEF 90 Conference*, dirigido por L Fechter. Baltimore: ICCEF.
- Marsh, JL. 1984. Evaluation of saccharin qualitative fitting test for respirators. *Am Ind Hyg Assoc J* 45(6):371-376.
- Miura, T. 1978. *Calzado e higiene de los pies* (en japonés). Tokio: Bunka Publishing Bureau.

- . 1983. Eye and face protection. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1987. *NIOSH Respirator Decision Logic*. Cincinnati, Ohio: NIOSH, Division of Standards Development and Technology Transfer.
- National Safety Council. N.d. *Safety Hats, Data Sheet 1-561 Rev 87*. Chicago: National Safety Council.
- Nelson, TJ, OT Skredtvedt, JL Loschiavo, SW Dixon. 1984. Development of an improved qualitative fit test using isoamyl acetate. *J Int Soc Respir Prot* 2(2):225-248.
- Nixon, CW, EH Berger. 1991. Hearing protection devices. En *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*, dirigido por CM Harris. Nueva York: McGraw-Hill.
- Norma europea (EN). 1995. Specification for welding filters with switchable luminous transmittance and welding filters with dual luminous transmittance. Borrador final ref. no. pr EN 379: 1993E.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). 1977. *Industrial Safety Helmets*. ISO 3873. Ginebra: ISO.
- . 1979. *Personal Eye-Protectors for Welding and Related Techniques - Filters - Utilization and Transmittance Requirement*. Norma internacional ISO 4850. Ginebra: ISO.
- . 1981. *Personal Eye-Protectors - Filters and Eye-Protectors against Laser Radiation*. ISO 6161-1981. Ginebra: ISO.
- . 1990. *Acoustics -Hearing Protectors -Part 1: Subjective Method for the Measurement of Sound Attenuation*. ISO 4869-1:1990(E). Ginebra: ISO.
- . 1994. *Acoustics -Hearing Protectors -Part 2: Estimation of Effective A-Weighted Sound Pressure Levels When Hearing Protectors Are Worn*. ISO 4869-2:1994(E). Ginebra: ISO.
- Pritchard, JA. 1976. *A Guide to Industrial Respiratory Protection*. Cincinnati, Ohio: NIOSH.
- Rosenstock, LR. 1995. Carta con fecha 13 de marzo de 1995 de L. Rosenstock, Director del National Institute for Occupational Safety and Health, a James R. Petrie, Presidente del Comité de la Mine Safety and Health Administration, US Department of Labour.
- Scalone, AA, RD Davidson, DT Brown. 1977. *Development of Test Methods and Procedures for Foot Protection*. Cincinnati, Ohio: NIOSH.

#### Otras lecturas recomendadas

- Head protection at work. 1986. *J Occup Acc* 8(3):157-236.
- Mayer, A, S Salsi, JP Grosdemange. 1974. Cascos de seguridad industrial. Resultado de pruebas, detalles del proceso de fabricación, criterios de selección (en francés). *Notes Sci Tech* 14.