

CAPÍTULO IV

FACTORES DE RIESGO FÍSICO

Definición

Son todos aquellos factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos o de la transformación de su energía, tales como: ruido, vibraciones, presiones atmosféricas altas y bajas, radiaciones electromagnéticas ionizantes y no ionizantes, temperaturas extremas: calor y frío, ventilación e iluminación deficientes (Parra, 2003).

- Ruido

El sonido es producido por la vibración de cuerpos o moléculas de aire desplazándose a modo de onda longitudinal, por lo que requiere de un medio de propagación o transporte. Se convierte en ruido cuando sus características se transforman, tornándose perjudiciales para los trabajadores expuestos (Gerges, 2004).

Características

Todo ruido tiene tres características que permiten diferenciarlo de los demás. Estas son: intensidad, frecuencia y timbre.

- Intensidad: es la potencia acústica transmitida por unidad de superficie, perpendicular a la dirección de propagación. Normalmente se mide en *watts* por m², sin embargo, en forma práctica se utiliza una escala logarítmica en la cual la intensidad relativa de un sonido, con respecto a otro, se define como diez veces el logaritmo de la razón de sus intensidades. Los niveles así definidos se expresan en decibeles (dB). Los niveles acústicos se expresan en decibeles relativos a las cantidades de los patrones internacionales de referencia.

- Frecuencia: es el número de oscilaciones o fluctuaciones por segundo y se mide en hercios (Hz). El oído humano está dotado para percibir frecuencias entre los 16 Hz y los 20.000 Hz. Frecuencias inferiores a los 16 Hz se denominan vibraciones y frecuencias mayores a los 20 000 Hz se conocen como sonidos ultrasónicos
- Timbre: la mayoría tiene una frecuencia fundamental y tiene otros componentes en múltiplos de esta frecuencia básica llamados armónicos que, en conjunto, constituyen el timbre, que permite individualizar cada sonido. Desde el punto de vista práctico, para efectos del estudio de ruido se tienen en cuenta únicamente las características de intensidad debido a que el timbre no es medible (Gerges, 2004).

Propiedades del ruido

El ruido, como movimiento ondulatorio que es, tiene las siguientes características: reflexión, refracción, interferencia, impedancia, resonancia y reverberación (Fernández, 2003).

Reflexión: es la propiedad que posee la onda sonora, cuando choca contra un cuerpo y vuelve a su punto de origen. El eco es el caso típico de reflexión de ruido y se produce cuando la superficie en que se refleja tiene un tamaño cinco o seis veces su longitud de onda. El oyente percibe dos ruidos: el original o incidente y su eco o sonido reflejado.

En el aparato auditivo se presenta este fenómeno cuando el sonido pasa de un medio gaseoso a un medio líquido (de oído medio a oído interno), produciéndose una reflexión de las ondas sonoras en casi su totalidad. Para evitar esta pérdida de energía y para que la transmisión al oído interno se realice, en su mayor parte, el oído emplea mecanismos como la relación de tamaño entre la membrana timpánica y la platina del estribo, uno de los componentes de cadena osicular.

Refracción: consiste en la desviación de las ondas sonoras al pasar de un medio a otro de densidad diferente, variando su velocidad de propagación. En la audición esta propiedad se manifiesta cuando el estímulo sonoro es transmitido de un medio gaseoso (oído externo) a un medio sólido (cadena de huesillos del oído medio), y a uno líquido (líquido del oído interno).

Interferencia: es la relación de dos o más tonos puros que se producen al mismo tiempo.

Impedancia: es la propiedad por la cual se presenta una resistencia al paso de cualquier tipo de energía. En el caso del órgano auditivo, la impedancia del aire está en desproporción con el oído interno, en donde es mayor, siendo de 41.5 ohmios en el aire de 14 ohmios en el líquido, por lo cual el sonido percibido por el oído presenta dificultad al pasar de un medio de poca impedancia a uno de impedancia muy alta, haciéndose necesaria la intervención de las estructuras del oído medio para permitir y mejorar la transmisión.

Resonancia: se define como la capacidad que puede tener un cuerpo hueco para el aire que contiene en vibración, cuando en las proximidades se encuentra un productor de vibraciones sonoras.

Reverberación: es la propiedad que tienen algunos materiales de reflejar o absorber parte del sonido, como por ejemplo: paredes y techos. Las puertas huecas, las ventanas mal cerradas, los respiraderos, exponen a las personas al ruido exterior de la edificación.

Percepción del sonido

La magnitud física de un sonido es dada por su intensidad, mientras que la magnitud percibida o subjetiva se denomina sonoridad. En esta última intervienen tanto la intensidad como la frecuencia.

La unidad básica de sonoridad es el sonido, definido como la sonoridad de un tono puro de 1000 Hz, percibido en un nivel de presión acústica de 40 dB.

Cálculo y medición de nivel de sonoridad

El sonómetro debería proporcionar una lectura que indicara la sonoridad en sonios, pero es difícil lograrlo, porque los procesos de percepción humana son complejos, por lo tanto se emplea un filtro para ponderar las mediciones del nivel de presión acústica en función de la frecuencia, de acuerdo con las características de respuesta del oído humano.

Estos filtros se denominan A, B, C y algunas veces el filtro D. La experiencia ha demostrado que con el filtro A se obtiene la máxima correlación entre las mediciones físicas y las evaluaciones subjetivas de la sonoridad del ruido. Los niveles de la escala A se miden en dB y se expresan como dB(A).

La ponderación A se usa para medir el sonido en diversas situaciones, debido a que se ha reconocido que el nivel de presión acústica con esta ponderación constituye una estimación de la sonoridad fiable y fácil de medir (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

Fuentes de ruido

Las principales fuentes de ruido en nuestro medio son: la industria, en especial la metalmecánica, el tránsito de automotores, tránsito aéreo y la industria de la construcción. Existen otras como los equipos de aire acondicionado, los extractores de gases y vapores y los electrodomésticos.

Clasificación del ruido

Teniendo en cuenta la duración del ruido, este se puede clasificar en:

Ruido constante: sus niveles de presión sonora no presentan oscilaciones y se mantienen relativamente constantes a lo largo del tiempo. Ejemplo: ruido de un motor eléctrico. Este se puede subdividir en dos categorías: ruido continuo de banda angosta, en el cual el rango de frecuencia es menor que una octava y el ruido continuo de banda ancha, en el cual el rango de frecuencia es mayor de una octava.

Ruido intermitente: en este se presentan subidas bruscas y repentinas de la intensidad sonora en forma periódica. Ejemplo: el accionar de un taladro.

Ruido de impacto: es aquel en el que se presentan variaciones de un nivel de presión sonora en intervalos de tiempo menores de un segundo. Ejemplo: el producido por las estampadoras (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

Efectos del ruido

En el ruido se han descrito dos grandes categorías de efectos: los auditivos y los no auditivos.

- **Auditivos**

Normalmente la sensibilidad auditiva disminuye con la edad, proceso llamado presbiacusia. En consecuencia, al analizar los datos de la pérdida de audición causada por exposición al ruido, se deben tener en cuenta los efectos de la edad. Se ha definido el patrón general de progreso de presbiacusia y se sabe que este se presenta en las frecuencias audiométricas más altas y casi invariablemente es bilateral. El nivel de audición es el nivel del umbral audiométrico de un individuo o un grupo en relación con una norma audiométrica aceptada.

El desplazamiento del umbral inducido por el ruido es la cantidad de pérdida de audición atribuible únicamente al ruido, una vez que se ha descontado la producida por la presbiacusia. Estos valores pueden variar ligeramente según la fuente de donde se han tomado los datos de presbiacusia. Suele considerarse trastorno auditivo, el nivel de audición en el cual los individuos comienzan a tener dificultades para llevar una vida normal (comprensión del habla).

Desplazamiento temporal del umbral (DTU): es llamado también fatiga auditiva. La exposición por periodos relativamente cortos a niveles excesivos produce una pérdida transitoria de la agudeza auditiva, cuyo grado y duración dependen de la severidad, el tiempo de exposición, la susceptibilidad individual y el tipo de ruido. La recuperación ocurre

después de reposo en ambiente no ruidoso y puede requerir horas o días. Si la recuperación no es completa antes de la siguiente exposición, hay posibilidad de que parte de la pérdida se convierta en permanente.

Desplazamiento permanente del umbral (DPU): esta pérdida usualmente se inicia en la banda de los 4000 Hz, es de tipo neurosensorial y afecta por lo tanto la conducción aérea y la conducción ósea. Esta no se instaura en forma aguda, sino que lo hace en forma paulatina durante meses y años. Generalmente pasa inadvertida, porque inicialmente no hay deterioro en las bandas de la comunicación oral, pero sí puede haber dificultades en la percepción de sonidos de frecuencias altas, como los timbres.

Pérdida de audición producida por exposición al ruido industrial: aunque ruidos explosivos de alta intensidad puedan lesionar el tímpano o las estructuras del oído medio e interno en forma aguda con daño inmediato de la audición, lo más usual es el efecto causado por ruido prolongado, que produce destrucción de las células ciliadas del órgano de Corti. La severidad del efecto depende de la extensión de las lesiones y de su ubicación en el oído interno, las cuales, a su vez, dependen de la intensidad y frecuencia del estímulo. Existen muchas hipótesis para explicar el mecanismo por el cual el ruido destruye el órgano de Corti, sin embargo, no hay claridad al respecto

Las más aceptadas hacen referencia a agresión mecánica y vasoconstricción prolongada post estímulo sonoro, que disminuyen el oxígeno y los nutrientes de las células ciliadas, producen aumento local de temperaturas con desnaturalización de proteínas y finalmente agotamiento metabólico de las células por estímulos repetidos.

Son muchos los estudios ocupacionales sobre pérdida auditiva ocupacional por ruido. La mayoría son estudios transversales audiométricos, con evaluación de ruido ambiental en grupos laborales específicos, como los de la industria metalmecánica, astilleros, textil, salas de pruebas para *jets*, fundiciones y transportes.

A menudo efectúan corrección por presbiacusia y en algunos casos se excluyen personas con exposiciones ocupacionales, posibles exposiciones no ocupacionales y con anomalías otológicas. En otros estudios, por el contrario, estas personas fueron incluidas a propósito para suministrar una estimación realista de los niveles de pérdida auditiva en una población típica expuesta a ruido.

En general, todos los estudios revelaron que los trabajadores expuestos a ruido intenso diariamente durante años, mostraban pérdida auditiva ajustada al patrón característico: pérdidas considerables muy frecuentes en las bandas elevadas y raras en las bandas de tonos bajos. Se encontró una clara correlación entre el aumento de incidencia de pérdida auditiva y el aumento de los niveles de ruido.

La audiometría como método para evaluar la pérdida auditiva

La audiometría es el examen de la capacidad auditiva mediante un audiómetro, aparato que emite sonidos puros en determinadas bandas de frecuencia y con diferentes niveles de presión sonora. La audiometría se puede clasificar en tonal umbral y supraliminar (Gil, 2003, p. 21-32).

Audiometría tonal umbral: determina umbrales mínimos de audición a tonos puros por vía aérea, mediante el uso de auriculares, y ósea utilizando el vibrador en mastoides.

Audiometría supraliminar: estudia distorsiones de la sensación sonora, sensación de altura, que emite la frecuencia e intensidad, reclutamiento, que es el aumento rápido en la percepción del ruido, frecuente en lesión coclear por síndrome de Menière, trauma acústico o efecto de drogas tóxicas. Pruebas de fatiga pre y postestimulación, relación de agradabilidad, por descanso del umbral del dolor, frecuente en trauma acústico y Meniere.

La audiometría debe complementarse con la entrevista, mediante la cual se investigan antecedentes auditivos, personales y familiares, y la otoscopia para visualizar el conducto auditivo externo y la membrana timpánica para detectar alteraciones u obstrucciones por cerumen o cuerpos extraños.

Clasificación de las pérdidas auditivas

Entre las pérdidas auditivas se pueden considerar las siguientes (Fernández, Suárez & Batista, 2012):

Hipoacusia

Se denomina hipoacusia la pérdida de la capacidad auditiva que afecta las bandas del área conversacional, o sea 500, 1000 y 2000 Hz. Para la evaluación de la incapacidad auditiva en las frecuencias conversacionales, la Academia Americana de Oftalmología y Otorrinolaringología ha recomendado la clasificación SAL (Speech Average Loss) que utiliza el promedio aritmético de la pérdida de decibeles en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz, cuya interpretación se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación SAL de incapacidad auditiva o hipoacusia

Grado	Db. ASA - 1951	Interpretación	Características
A	16 peor oído	Normal	
B	16-30 Ambos oídos	Subnormal	Alguna dificultades para conversación fluida
C	31-45 Mejor oído	Sordera moderada	Dificultad en conversación normal
D	46-60 Mejor oído	Sordera notable	Dificultad con voz alta
E	61-90 Mejor oído	Sordera severa	Solo oye voz amplificada
F	90 Mejor oído	Sordera profunda	No oye voz amplificada
G	Sordera total en ambos oídos		No oye ningún sonido

Fuente: adaptado de Colombia (2010, p. 3).

Dentro de la evolución clínica se pueden citar tres etapas: adaptación, latencia y sordera manifiesta.

- Adaptación: se presenta malestar, disminución del ánimo, laxitud y pérdida auditiva en frecuencias altas especialmente en los 4000 Hz, la cual es transitoria y reversible horas después de terminada la jornada, reaparece al día siguiente con la nueva exposición al ruido. La recuperación auditiva va desapareciendo a medida que aumenta el tiempo de exposición, a la vez que los síntomas se van atenuando hasta desaparecer al cabo de pocas semanas debido al proceso de adaptación.
- Latencia: no hay sintomatología, pero el déficit auditivo es permanente en los 1000 Hz, haciéndose bilateral y simétrico, aumenta en forma progresiva en el curso de meses y años. Este estado no es aún percibido por el individuo por no encontrarse afectada el área conversacional y solo puede diagnosticarse por medio de la audiometría.
- Sordera manifiesta: se caracteriza por la pérdida de la capacidad auditiva que afecta bandas de frecuencias altas y posteriormente las bandas del área conversacional entre los 16 000 y 20 000 Hz.

Trauma acústico

Se denomina trauma acústico la pérdida de capacidad auditiva producida por el ruido que afecta inicialmente la banda de 4000 Hz, luego otras bandas de frecuencias altas y ya en estos avanzados, bandas del área conversacional. Otro tipo de clasificación usado en la evaluación de trauma sonoro que origina pérdida auditiva en frecuencias altas en grupos

ocasionalmente expuestos al ruido es el denominado ELI (Early Loss Index), basado en los descensos en la banda de 4 000 Hz y corrigiendo la presbiacusia. Una vez restados los valores se procede a la clasificación del trauma acústico. En este libro se utiliza la clasificación establecida por Rojas (citado por Fakhri, 2002, p. 38).

Trauma tipo I: se presenta un pico en 4000 Hz, resto de frecuencias normales, vía ósea normal, no hipoacusia subjetiva y acúfenos constantes.

Trauma tipo II: se presenta caída en dos o tres frecuencias, 4000 y 8000 Hz o 2000, 4000 y 8000 Hz, caída en la vía ósea. Para tonos agudos, hipoacusia subjetiva variable, acúfenos más o menos constantes y discriminación regular en ambiente ruidoso.

Trauma tipo III: muestra caída en frecuencias altas, caída en 1000 Hz y en ocasiones también en tonos graves. Caída de la vía ósea en las mismas frecuencias, se presenta hipoacusia neurosensorial pura subjetiva, acúfenos permanentes, mala discriminación, lo cual tiene repercusiones sociales.

El diagnóstico diferencial: entre pérdidas auditivas producidas por ruido y pérdidas auditivas producidas por otros agentes causales, se establece al determinar si las pérdidas son de tipo conductivo en las que la audición por vía ósea está conservada. En estos casos se debe investigar la presencia de cuerpos en el conducto auditivo externo, daños, perforaciones o infecciones del tímpano, procesos inflamatorios o degenerativos del oído medio son, entre otras, las causas. La hipoacusia producida por ruido afecta en forma directa la conducción neurosensorial, mas no la aérea.

El diagnóstico diferencial más difícil de establecer es el relacionado con las enfermedades degenerativas que afectan en forma directa la conducción neurosensorial, como la presbiacusia, en cuyo caso, la pérdida auditiva neurosensorial conserva los mismos patrones que la hipoacusia por ruido, es decir, presentándose en forma lenta y progresiva con caídas iniciales en la banda de los 4000 Hz. En estos casos, el diagnóstico diferencial se establece al tener en cuenta, primero, el antecedente de exposición a ruido industrial y segundo, la edad y el sexo del trabajador, para calcular la pérdida por presbiacusia.

Otro tipo de enfermedades, como las causadas por accidentes cerebrovasculares o la pérdida súbita por traumatismo, produce pérdidas auditivas, que se diferencian de las ocupacionales por los antecedentes.

A continuación se presentan dos tablas en las cuales se observa la agudeza auditiva perdida por presbiacusia.

ASPV (Audiometric Specific Presbiacusic Value) aplica la siguiente escala de valores ELI.

Tabla 5. Escala de valores de ELI

Grado	Db (4.000 Hz.)- ASPV	Interpretación
A	8	Normal - excelente
B	9 - 14	Normal - bueno
C	15 - 22	Límite normal
D	23 - 29	Sospechoso de trauma sonoro
E	30 y más	Compatible con trauma sonoro

Fuente: adaptado de Colombia (2010, p. 3)

Tabla 6. Valores específicos de presbiacusia en audiometría por dB de acuerdo con la edad

Edad	Mujeres	Hombres
30	2	3
35	3	7
40	5	11
45	8	15
50	12	20
55	15	26
60	17	32
65	18	38

Fuente: Fernández, Butron & Chourio (2010, p. 51)

Ø Efectos no auditivos

Estos efectos comprometen diferentes sistemas y no guardan relación con los auditivos. Sobre estos se han hecho diversos estudios que los referencian en forma general y teórica.

El ruido causa distintas reacciones a lo largo del mecanismo hipotalámico hipofisiario suprarrenal, entre ellos un aumento de las hormonas adrenalina y noradrenalina, las cuales actúan sobre la circulación general produciendo vasoconstricción reflejada en hipertensión, taquicardia y a largo plazo enfermedad cardíaca; otros efectos producidos a nivel simpático como úlcera gástrica, fatiga y trastorno en la percepción de los colores.

La tensión adicional que el ruido ejerce sobre el organismo puede producir la aparición de fatiga en forma directa o indirecta al interferir en el sueño, sin embargo es difícil establecer el papel que desempeña el ruido como factor causal.

Valores límites permisibles para ruido continuo

Para exposición a ruido, en Colombia, la norma vigente establecida por el Ministerio de Salud toma como límite máximo permisible 85 Db (A) para jornadas diarias de ocho horas de exposición y cuarenta horas a la semana de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 7. Niveles máximos de exposición para ruido continuo según el Ministerio de la Protección Social Colombia

Nivel de exposición a ruido en Db. (A)	Tiempo de exposición permisibles Minutos/ día
85	480
90	240
95	120
100	60
105	30
110	15
115	7.5

Fuente: adaptado según Ministerio de la Protección Social (2006, p. 47-49).

Para valores diferentes a la tabla anterior, se utiliza la siguiente relación:

$$T=8$$

n- 85= tempo permitido en horas

n = nivel de exposición en dB A

Métodos de control del ruido industrial

El ruido, como cualquier otro agente de riesgo, debe controlarse en la fuente y en el medio.

En el primer nivel, es decir en la fuente que lo genera, debe controlarse porque a la vez que protege al trabajador en forma directa del ruido que produce la máquina, lo hace también con cualquier tipo de persona que tenga acceso al ambiente laboral. Este es el método de control ideal, sin embargo, en la mayoría de veces resulta demasiado costoso o conlleva una serie de dificultades técnicas y financieras que hacen imposible su aplicación.

El segundo nivel es el control en el medio, en este caso, una vez que se ha generado el factor de riesgo, se pretende que este llegue al menor número de trabajadores posible y si este control es insuficiente, como última instancia se acude al uso de elementos de protección para el trabajador, estos únicamente van a proteger al trabajador que los utiliza, y, por consiguiente, el ruido va a afectar a quienes no los utilizan.

Debe tenerse en cuenta que este tipo de elementos de protección personal pueden causar incomodidad a la persona y requieren de educación y motivación, para que los trabajadores las acepten. Por lo tanto deben utilizarse como última instancia, cuando es imposible implementar los controles.

A continuación se enumeran algunas medidas de control para ruido industrial.

En la fuente

- Sustitución de procesos, por ejemplo, soldar en vez de remachar.
- Reemplazo de máquinas ruidosas por otras modernas.
- Reducción de la transmisión sonora a través de los sólidos, mediante el uso de montajes flexibles, encerramiento de máquinas ruidosas con poliuretano, secciones de tela en conductos y pisos de caucho.
- Reducción del ruido producido por flujo gaseoso, mediante silenciadores ventiladores que disminuyan turbulencia, disminución del flujo del aire y reducción de la presión.
- Uso de amortiguadores en las piezas de las máquinas.
- Mantenimiento preventivo de equipos y herramientas.

En el medio

- Disminuir la transmisión del ruido a través del aire, con la utilización de materiales absorbentes como pantallas de icopor, caucho o corcho.
- Uso de cabinas cuando existen varios focos de ruido. Mediante este método se puede encerrar al trabajador en una cabina construida con materiales absorbentes del ruido como fibra de vidrio, polietileno y corcho. Es preferible que estas cabinas tengan forma octogonal para reducir el efecto producido por la reflexión de las ondas sonoras.
- Planificación de la producción para disminuir el número de trabajadores expuestos a ruido.
- Elaborar los trabajos que ocasionen mayor ruido en las horas en las que hay menor cantidad de personas expuestas.

Uso de elementos de protección personal

Si han fracasado los sistemas de control en la fuente y en el medio, se recurrirá al uso de protectores auditivos. El éxito de estos implementos depende de la motivación y la educación que se dé al trabajador, para promover su uso correcto, y para lograrlo se requiere un programa de supervisión y dirección que incluya la explicación clara acerca de los beneficios que el trabajador va a recibir.

Los dispositivos protectores personales son barreras acústicas que reducen la cantidad de energía sonora transmitida a través del conducto auditivo externo, hasta el oído medio e interno.

Se pueden clasificar en cuatro grupos (Lehnhardt & Giovanniello, 1992):

- Encerramiento: son protectores que encierran totalmente la cabeza. Ejemplo: los cascos, que proporcionan atenuación entre 35 y 40 dB.
 - Inserción auricular: son más conocidos como tapones, son baratos pero su vida útil es corta. Existen de muchas formas y materiales, presentan el inconveniente de sensibilizar la piel produciendo reacciones alérgicas. Pueden ser de tres categorías, moldeables, moldeado a la medida del canal auditivo de cada trabajador y premoldeado.
 - Superauriculares: este tipo de protectores auditivos sellan la abertura externa del canal auditivo sin introducirse en este, se sujetan a la cabeza mediante una banda elástica.
 - Circunauriculares: generalmente se denominan orejeras y consisten en dos copas que cubren totalmente la oreja y se adhieren a la cabeza mediante una almohadilla; se mantienen en posición a través de un sostén elástico o una diadema metálica.
- Vibraciones

Definición: se pueden definir como cualquier movimiento que hace el cuerpo alrededor de un punto fijo. Este movimiento puede ser regular, como el de un peso en el extremo de un resorte. La vibración que se experimenta por el contacto con la maquinaria es compleja y regular y es necesario descomponerlo en partes sencillas para controlar sus efectos (White, 2010 p. 43).

Características: la frecuencia y la intensidad. La frecuencia indica la velocidad del movimiento en ciclos por segundo o hercios. En las vibraciones, esta característica se conoce como movimiento sinusoidal. La intensidad de la vibración puede medirse de forma variada, aunque la amplitud o aceleración es la que más se utiliza, esta se expresa en unidades normales de distancia como pulgadas, pies, centímetros o milímetros y es la distancia máxima que se aleja un cuerpo de su posición inicial; en la actualidad es más común expresar la intensidad en términos de la aceleración del cuerpo cuyas unidades son metros por segundo o unidades g; cada g equivale a 9.81 m/seg^2 , y es la aceleración que necesita un cuerpo antes de vencer la fuerza de gravedad y levantarse de la superficie de la tierra. Para hacer la medición, se usa un sensor de aceleración pequeño, llamado acelerómetro, el cual se coloca en el cuerpo que vibra.

Cada uno de estos parámetros está relacionado; por lo tanto, la aceleración en unidad es:

$$g = \frac{4\pi^2 f^2 a}{981 \text{ cms.}}$$

Donde: $\pi=3.1415297\dots$

f= Frecuencia de la vibración

a=Amplitud de la vibración en cm.

La dirección de la vibración se define en términos de tres coordenadas: anterior-posterior (x), (y) y vertical (z).

Para un ser humano estas coordenadas pasan a través de su tórax en la región del corazón y están relacionadas con la espalda, el pecho, los costados, los pies y la cabeza. Esto significa que las direcciones físicas de movimiento para un trabajador recostado son diferentes que para uno que está de pie (ver Figura 6).

Efectos de la vibración para la salud

Dependen del tiempo de exposición diario real, variaciones de la frecuencia, intensidad de los estímulos vibratorios, uso de varios tipos de materiales y susceptibilidad individual. Cuando se excita cualquier estructura física por la vibración, puede amplificar la intensidad de la movilidad inducida, si se da en la frecuencia de resonancia de la estructura, y la atenúa en las otras.

Como el cuerpo humano es una estructura muy compleja que se compone de diferentes órganos, huesos, articulaciones y músculos, cada parte tiene frecuencias de resonancia distinta, por lo tanto, el daño estructural debido a la amplificación de la vibración puede ocurrir de repente si el cuerpo vibra como consecuencia de estimulaciones, de vibraciones fuertes con frecuencias cercanas a las resonantes; sin embargo, estas se ven afectadas por la consistencia de los músculos (blandos), las dimensiones de los huesos y la cantidad de tejido adiposo.

El daño para la salud que puede causarse por medio de la vibración mecánica tiende a ubicarse en una de dos categorías. La primera contiene los cambios que pueden atribuirse directamente a la frecuencia de vibración, que ocurre como consecuencia de las diferentes estructuras corporales que son excitadas a sus frecuencias de resonancia o cerca de ellas. Los efectos de la segunda muestran dependencias menos obvias de la frecuencia y están más relacionadas con el impacto de los estímulos sobre el cuerpo, esto es con la intensidad y la duración de las vibraciones

- Efectos para la salud dependientes de la frecuencia

Las lesiones causadas por la frecuencia de vibración ocurren después de exposiciones prolongadas a los estímulos vibrantes, sobre todo en los rangos de frecuencia más altos.

Muchos de los instrumentos que pueden causar estos efectos incluyen máquinas industriales, martillos cinceladores, desarmadores, remachadoras, perforadores de carreteras, rompedores de roca y los serruchos de cadena de los madereros. Ejemplos de alguno de estos efectos se muestran en la Tabla 8.

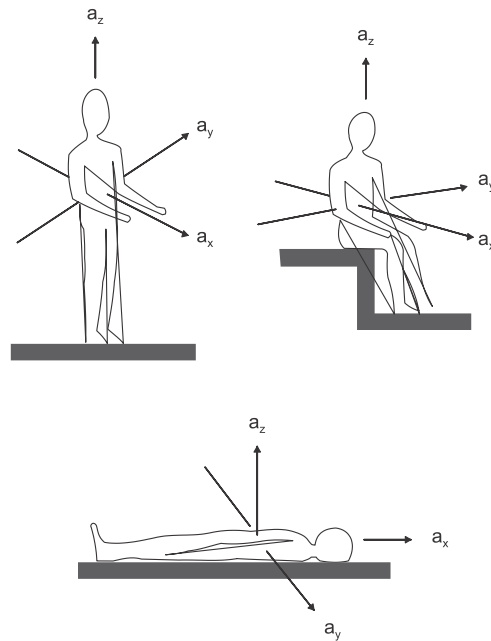


Figura 6. Dirección de las vibraciones para medir las aceleraciones
Fuente: Osborne (1996)

Tabla 8. Algunos de los efectos dependientes de la frecuencia de la vibración

Efecto	Nivel	Frecuencia en Hz
Mareo, náuseas y vómitos	Baja frecuencia	Menores a 2
pueden causar (dependiendo siempre del tiempo de exposición) dolor abdominal y/o (sic) lumbar, alteraciones digestivas, dolor de cabeza, problemas de sueño, interferencia en el habla, visión borrosa	Baja frecuencia	2 y 20
Pueden causar problemas a nivel de todo el organismo enfermedad de Raynaud	Alta frecuencia	Mayores a 20

Fuente: Osborne (1996)

La mayoría de los informes de lesiones indican que el daño ocurre en el sistema circulatorio periférico y en los sistemas nerviosos de la parte expuesta del cuerpo. La vibración intensa de las herramientas de mano puede transmitirse a los dedos, manos y brazos del operario tanto desde las manivelas de las máquinas, como desde las estructuras que son sostenidas o balanceadas por la mano y que vibran por el instrumento.

Los síntomas usualmente incluyen adormecimiento intermitente y torpeza de los dedos, palidez de alguna parte de los miembros superiores e inferiores y pérdida temporal del control muscular en las partes expuestas del cuerpo. Estos síntomas normalmente reciben el nombre de enfermedad de los dedos blancos o enfermedad de Raynaud, el alivio de todos o algunos de estos síntomas ocurre después de un descanso prolongado de la exposición a los estímulos de vibración, aunque existe mucha posibilidad de que reaparezcan con exposiciones periódicas.

- Efectos en la salud dependientes de la intensidad

Los efectos dependientes de la intensidad de la vibración ocurren principalmente como resultado del choque de las partes del cuerpo al moverse unas contra otras; además los grandes órganos traccionan los ligamentos que las soportan y también es posible que los tejidos delicados se quiebren por presión y se produzcan lesiones estomacales, renales y alteraciones de las regiones lumbar y torácica de la columna vertebral por la resonancia o por el daño a través de la intensidad de las percepciones. El número y la severidad de los casos se incrementan en forma proporcional con la duración de la exposición. A estímulos verticales cuyas intensidades estén comprendidas entre los 4 y los 10 Hz se producen dolores de pecho, osteomusculares y abdominales.

La vibración puede degradar el control motor ya sea de alguno de los miembros o de los globos oculares, porque se presentan dificultades para la fijación y visión borrosa, con imágenes confusas que dificultan detectar los detalles de los objetos. Esto puede presentarse en las siguientes situaciones: si el objeto vibra y el trabajador se halla estacionario; si el trabajador vibra mientras el objeto permanece estacionario y si tanto el objeto como el trabajador vibran.

Si el objeto es el que vibra, el grado de distorsión de la imagen depende de la frecuencia de la vibración. En frecuencias bajas, menores de 1Hz, los ojos son capaces de compensar los movimientos y producir imágenes estables. Las frecuencias que definitivamente causan alteración de la visión están comprendidas entre los 3 y 4 Hz.

Cuando es el trabajador el que vibra, los efectos visuales suelen ser similares a los producidos por la vibración del objeto. A frecuencias menores de 3Hz, el cuerpo en su totalidad se mueve en concordancia con el movimiento de vibración; así la cabeza y los ojos se mueven de manera similar. A frecuencias más altas, la cabeza y los ojos posiblemente resuenen y por lo tanto se produce un efecto de borrosidad bastante fuerte.

A nivel del desempeño motor, si el trabajador es capaz de compensar el movimiento es posible que sienta fatiga. Las frecuencias que afectan el desempeño motor se hallan entre los 4 y 5 Hz, con disminución en el desempeño a medida que aumenta la frecuencia.

Métodos de control

Se debe reducir la energía vibratoria que se transmite a los dedos de las manos, mediante el uso de almohadillas, y la que puede afectar el cuerpo, con el mantenimiento preventivo de las diferentes máquinas con las que debe estar en contacto el trabajador por ejemplo, los tractores (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

- Presiones anormales

Definición: es el resultado de la presión constante causada por el choque de moléculas cinéticamente móviles contra una superficie. Por lo tanto, la presión de un gas que actúa sobre las vías respiratorias y los alvéolos es proporcional a la fuerza, sumada al efecto de todas las moléculas que chocan contra una superficie en un momento determinado. Esto significa que la presión total es directamente proporcional a la concentración de las moléculas del gas. La presión parcial de un gas es la magnitud de difusión de cada uno de los gases, la cual es proporcional a la presión producida por el gas aislado (Guyton, 2010).

A nivel del mar (0 m de altura), la presión atmosférica es de 760 mm de Hg, a medida que aumenta la altura, la presión barométrica disminuye, lo que se denomina hipopresión. En esta, baja la concentración de oxígeno, gas carbónico y nitrógeno. Por el contrario, cuando se va bajando del nivel del mar, se presenta un aumento de la presión atmosférica, lo cual se conoce como hiperpresión; en esta aumentan las concentraciones de oxígeno, gas carbónico y nitrógeno.

Ø Presiones bajas. Hipoxia

Cuando se asciende a 3000 metros sobre el nivel del mar, la presión barométrica es de 523 mm de Hg, y a 1500 metros es de 87 mm de Hg. Esta disminución es la causa básica de todos los problemas de disminución de oxígeno en las grandes alturas, pues cada vez que disminuye la presión, disminuye el oxígeno.

La presión parcial de oxígeno en aire seco a nivel del mar es de 159 mm de Hg, puede disminuir cuando hay mucho vapor de agua. A 3000 metros es de 110 mm de Hg, y a 6000 metros es de 73.

Cuando la presión de oxígeno atmosférico disminuye con la altura, la presión de oxígeno alveolar también disminuye, por efecto del bióxido de carbono y del vapor de agua sobre el

oxígeno alveolar. A mayor altura, la sangre pulmonar sigue excretando gas carbónico a los alvéolos, así mismo se evapora agua hacia el espacio alveolar desde la superficie respiratoria; por lo tanto, estos dos gases diluyen el oxígeno y el nitrógeno que se encuentra en los alvéolos por lo que disminuye la concentración de oxígeno. La presión alveolar decrece a grandes alturas, lo que determina la saturación de la hemoglobina.

Efectos

La intensidad de la ventilación pulmonar no suele aumentarse hasta que se alcanza una elevación de 2500 a 3600 metros. En estas condiciones, los efectos son: somnolencia, astenia o disminución de la actividad, cefalea, fatiga mental y a veces estados eufóricos, los cuajes aumentan con la altura hasta llegar a la disminución de la capacidad mental pasando los 3600 m.

Cuando el individuo ha desarrollado hipoxia intensa, llega al estado de coma, el centro respiratorio puede deprimirse en unos cuantos minutos, debido al déficit metabólico, produciéndose la muerte.

Aclimatación a la hipoxia

Los medios por los que se logra la aclimatación a la hipoxia son:

- Aumento de la ventilación pulmonar hasta en un 65 %, lo cual eleva la captación de oxígeno y disminuye el gasto cardíaco.
- Aumento de la hemoglobina para facilitar el transporte de oxígeno.
- Elevación de la capacidad difusora de los pulmones.
- Incremento de la irrigación vascular en los tejidos.
- Aumento de la capacidad celular para aprovechar el oxígeno.

Ø Mal de montaña crónico

Un trabajador, cuando labora en grandes alturas sin previa adaptación (aclimatación), puede presentar el mal de montaña crónico, que tiene los siguientes efectos:

- Aumento del volumen de glóbulos rojos y hematocrito.
- Aumento de la presión arterial central.
- Dilatación de las cavidades derechas del corazón.
- Disminución de la presión arterial periférica.
- Insuficiencia cardíaca congestiva.
- La muerte, si no desciende a menores alturas.

Ø Mal de montaña agudo

Los trabajadores que ascienden con rapidez a gran altura, se enferman si no se les administra oxígeno o se trasladan a una altura menor en poco tiempo. Los signos y síntomas empiezan en unas cuantas horas o máximo en dos días después del ascenso, con la siguiente sintomatología:

- Edema cerebral agudo producido por la vasodilatación cerebral, que es el aumento del diámetro de las arterias, lo cual produce fuga de líquido hacia el tejido cerebral. Con frecuencia, el afectado presenta desorientación.
- Edema pulmonar agudo. Se presenta por el aumento de la presión intraalveolar, la cual desplaza líquido hacia el tejido extracelular.

Ø Presiones altas

Cuando un trabajador desciende en el mar o excava túneles, la presión a su alrededor aumenta en forma considerable. Para evitar que sus pulmones entren en colapso se debe administrar aire a presión elevada, lo que expone a la sangre de los pulmones a presiones de gases alveolares bastante altas, lo que se conoce como hiperbarismo, alteración que se caracteriza por modificaciones en la función respiratoria y colapso de los tejidos blandos y espacios huecos del cuerpo, lo que causa el barotrauma, por la expansión o contracción de los espacios. Esto puede producirse durante la descompresión en el ascenso o la compresión en el descenso.

Los efectos a nivel respiratorio son los siguientes:

Narcosis

Los gases a los que está expuesto el trabajador a presiones atmosféricas altas son oxígeno, nitrógeno, y gas carbónico. Cuando aumenta la concentración de nitrógeno, se presenta la narcosis y empieza a manifestarse a 37 metros de profundidad, el trabajador empieza a presentar jovialidad y a perder compostura; de 50 a 60 metros empieza la somnolencia, y de 65 a 75 metros sus fuerzas disminuyen considerablemente y muchas veces es incapaz de realizar los trabajos que se le piden, de 76 metros en adelante, cuando se encuentra a 8.6 atmosferas de presión, se vuelve inútil debido a la modificación de la transferencia de la carga eléctrica neuronal por alteración de las membranas neuronales por efecto del nitrógeno.

Toxicidad del oxígeno

Cuando la presión parcial de oxígeno aumenta, la cantidad de oxígeno disuelta en la parte líquida de la sangre aumenta de manera notable, sin estar unido a la hemoglobina. Esto produce una disminución del oxígeno funcional.

Toxicidad con gas carbónico

Cuando hay acumulación, el volumen respiratorio aumenta, el centro respiratorio empieza a deprimirse, además se sufre acidosis respiratoria y narcosis.

Efectos del helio

El helio se utiliza porque es menos narcótico que el nitrógeno, sin embargo, si el trabajador desciende a 150 metros, empieza a presentar un síndrome nervioso por presión alta que se caracteriza por temblor, a 210 metros somnolencia y a 300 falta de coordinación.

El trabajador debe descomprimirse en forma lenta, después de estar expuesto a gran presión, debido a que el gas se encuentra saturado en la sangre y este, como no es metabolizado por el cuerpo, permanece disuelto, hasta que la presión de nitrógeno disminuya y pueda ser eliminado por el proceso respiratorio.

Si el trabajador asciende en forma rápida, se presenta la enfermedad por descompresión, denominada disbarismo. Los síntomas son: dolor de miembros superiores e inferiores, vértigos, parálisis, disnea, fatiga, dolor intenso generalizado y colapso con pérdida de conocimiento, debido a que las burbujas de nitrógeno en la sangre pueden causar embolia gaseosa, el aire tapona los vasos sanguíneos más pequeños y produce disminución de la irrigación y oxigenación de los tejidos, lo cual lleva a la muerte (Lehnhardt & Giovannello, 1992).

Métodos de control

Para prevenir los efectos de la exposición a presiones bajas, es importante:

- Aclimatación a presión de oxígeno baja, haciendo que la persona ascienda a grandes alturas durante varios días, semanas o años, en forma gradual, lo cual permite ir mejorando su capacidad de trabajo en forma paulatina.
- Presurización de la atmósfera de los aviones, para que dentro de estos exista una atmósfera y climas artificiales conservando concentraciones de oxígeno elevadas y de gas carbónico bajas para prevenir la sofocación. Así mismo debe mantenerse la concentración necesaria de nitrógeno para prevenir el incendio y la explosión.

Para prevenir los efectos de la exposición a presiones altas:

- Descompresión lenta del trabajador. El tiempo está determinado por la profundidad a la que ha estado sumergido y la duración total de la inmersión, lo cual está determinado por tablas de descompresión.
- Empleo del tanque de descompresión. Este es una cámara que permite descomprimir al trabajador en forma lenta, suministrándole los requerimientos de oxígeno necesarios.

Se emplea a nivel del mar cuando es necesario descomprimir al trabajador en forma rápida, por ejemplo cuando ha estado sumergido en aguas contaminadas.

- Para trabajos de inmersión cortos y superficiales se recomienda utilizar helio a cambio de nitrógeno, con el fin de evitar los efectos tóxicos de este.
- Como método de protección personal conveniente emplear el dispositivo para respirar debajo del agua. Puede ser de circuito abierto o cerrado, en el abierto el trabajador respira aire y en el cerrado, oxígeno puro.

Radiaciones

Una radiación es energía que se transmite, emite o absorbe en forma de ondas o partículas de energía. Las ondas electromagnéticas son una forma eléctrica y magnética. Se agrupan de acuerdo con su frecuencia y longitud de onda (Mahecha, 1992). Las medidas utilizadas son:

- El curio: mide la cantidad de material reactivo.
- El roentgen: es la unidad de exposición con respecto al aire.
- El rad: es la unidad de dosis absorbida por el trabajador.

Actualmente la unidad más empleada es el gray (Gy) que equivale a 100 rad.

Ø Radiaciones no ionizantes

Son aquellas del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para desalojar electrones de la materia. Dentro de las radiaciones no ionizantes las más comunes son:

Infrarrojo: es la energía comprendida de la luz visible a 750 nm hasta el nivel de las microondas a 0,3 cm. Se da en lugares en que la temperatura es mayor a la del receptor. Sus principales usos son: secado y horneado de pinturas, lacas, tintas de imprenta, barnices y adhesivos, calentamiento de partes metálicas para ajuste o ensamble, soldadura fuerte o ensayos de radiación, deshidratación de textiles, papel, cuero, carnes, vegetales y piezas de cerámica. La radiación de 5000 nanómetros (nm) a 0,3 cm, se percibe como una sensación de calor en la piel y si es de 750 a 1500 nm, produce quemaduras agudas de la piel y eleva la pigmentación. La exposición excesiva produce cataratas por calor.

Los valores límites permisibles dependen de la longitud de onda y la superficie expuesta.

La dosis máxima permitida es de 0.4 vatios (w)/cm² y la exposición a la longitud de onda mayor a 770 nm debe ser de 10 mw/cm.

Una radiación infrarroja sobre los ojos de 4 a 8w/cm² produce lesión de la córnea.

Como método de prevención, los trabajadores expuestos deben utilizar máscaras y gafas protectoras (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

Ultravioleta: es la radiación que se ubica entre el espectro de luz visible y los rayos X, su longitud de onda varía entre 400 a 300 nm; de 300 a 200 nm y de 200 a 4 nm. Sus principales usos son: para aumentar el arco de soldadura eléctrica en la industria, en la empresa bancaria para las marcas de identificación. Otros usos son: iluminación de paneles, elaboración de comerciales, investigación judicial y esterilización de agua, aire, alimentos e instrumental quirúrgico.

Los valores límites permisibles dependen del tiempo de exposición, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores límites permisibles para radiación ultravioleta de acuerdo con el tiempo de exposición

Tiempo de exposición (minutos)	Irradiación efectiva permitida (mw/ cm ²)
480	0.1
240	0.2
120	0.4
60	0.8
30	1.7
15	3.3
10	5.0
5	10.0
1	50.0

Fuente: Ortega (1994)

Microondas y ondas de radar: son radiaciones electromagnéticas que se extienden aproximadamente entre 10 y 300.000 MHz, se propagan por la atmósfera a partir de antenas asociadas a televisión, frecuencia modulada y radar.

El efecto de este tipo de energía sobre el cuerpo humano es térmico. Las longitudes de onda mayores penetran la piel y llegan a calentar músculos superficiales. Las partes del cuerpo más sensibles a este tipo de radiaciones son: testículos, ojos, vesícula biliar y tracto gastrointestinal. Las placas de metal incrustadas en el cuerpo tienden a concentrar estas radiaciones.

En general, cuanto mayor sea la longitud de onda, mayor será el peligro para la salud. La exposición a microondas durante un tiempo prolongado puede provocar un aumento intolerable de la temperatura y lesión localizada.

La exposición a niveles bajos de radiación de microondas no produce efectos secundarios, pero las sobredosis a altos niveles producen cataratas y lesiones en los órganos reproductivos.

Los peligros de las señales de radar al presentarse una exposición directa, son:

- Radiación X por tubos de alto voltaje.
- Radiactividad proveniente de activadores usados para colocar en marcha el radar.
- Calentamiento del cuerpo causado por radiación electromagnética.
- Intoxicación por gases contenidos en algunas ondas.
- Peligros eléctricos relacionados con equipos de alto voltaje.
- Riesgo de incendio.

Las medidas de precaución para tener en cuenta en el uso de microondas son:

- Verificar el perfecto funcionamiento de las instalaciones y dado el caso de anomalías, desconectar la unidad y hacerla revisar técnicamente.
- Para el radar, no exponerse al rayo en forma directa, en caso necesario, hacerlo por el tiempo mínimo requerido. Desconectar los sistemas en caso de reparación de equipos. Las salidas del radar deben ser amortiguadas por un sistema que absorba la energía e impida su propagación por un determinado territorio.

Los valores límites permisibles para exposiciones a energía de ondas continuas, no debe ser superior a 10 mw para un tiempo de exposición total de 8 h.

Los niveles de exposición a ondas de máxima longitud son hasta de 25 mw/cm por un tiempo de 6 minutos. En ningún caso es permisible la exposición a ondas de más de 25 mw/cm.

Rayo láser: es una radiación luminosa de intensidad alta, de una sola longitud de onda. Los tipos de láser más conocidos son:

- En cristal de rubí: tiene una longitud de onda operativa de 6943 ångström, es de tipo sólido y genera una energía de 100.000 vatios.
- Láser gaseoso: el más usado es el de helio y neón. Tiene una longitud de onda operativa de 6328 ångström, genera 0.2 vatios.
- Láser por inyección: utiliza un cristal semiconductor que puede alcanzar niveles de energía peligrosa.

La utilización de los rayos láser es muy variada, pueden aplicarse a nivel industrial como en la construcción en operaciones de dragado, construcción de túneles, tendidos de cañerías y agrimensura, debido a que permiten tomar distancias con gran precisión. En medicina se aplica en cirugías de retina y para tratar la litiasis renal; en comunicaciones para transmisión de señales.

Los peligros que conlleva la utilización del rayo láser dependen de los siguientes factores:

- Tipo de láser: son más peligrosos los de estado sólido.
- Equipo utilizado: por ejemplo, algunos gases que se generan al emitir el láser pueden ocasionar quemaduras cutáneas e incluso incendios.
- Frecuencia de exposición.
- Duración y exposición directa o indirecta.
- Reflexiones: depende de si algún reflejo del rayo llega a los trabajadores que operan el equipo.

Métodos de control

- A nivel preventivo no se deben descuidar los equipos emisores de láser mientras estén en funcionamiento.
- Cuando se emite el rayo deben usarse obturadores o tapas para darle una única dirección.
- Se debe orientar al personal sobre los riesgos de la exposición y la importancia de evitar exposiciones innecesarias.
- El personal expuesto a rayos láser debe someterse a revisión ocular en forma periódica.
- Deben colocarse letreros de advertencia, indicando el no mirar dentro del área de emisión del rayo ni en lugares de reflexión del mismo.
- No debe visualizarse el rayo directamente. Si se debe hacer, es necesario utilizar un medio de amortiguación.
- Se debe practicar un cuidadoso examen médico a los integrantes del equipo de trabajo (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

Ø Radiaciones ionizantes

Son radiaciones electromagnéticas o de partículas capaces de producir iones o indirectamente o por interacción con la materia, causan desprendimiento de electrones, lo que va a dejar el átomo ionizado con carga positiva.

Los tipos de radiación ionizante más comunes son:

- Partículas alfa: son emitidas por el núcleo de átomos radiactivos y producen una ionización de intensidad alta. Pueden ser detenidas por una hoja de papel o por la capa de células muertas de la piel. Por lo tanto, la radiación alfa no es un peligro interno.
- Partículas beta: son partículas pequeñas emitidas por el núcleo de átomos radiactivos. Poseen una penetración suficiente como para producir quemaduras en la piel y constituirse en un peligro interno.
- Neutrones: se producen por emisiones secundarias de un neutrón con otros rayos alfa o beta, producen daño tisular; por lo tanto el peligro para la salud se deriva de la capacidad para liberar radiación secundaria.

La exposición de seres humanos a los neutrones ocurre cerca de reactores y fuentes diseñadas para producir neutrones, como son:

- Rayos X: generalmente son producidos en aparatos de rayos X. Son altamente potentes, se emplean para producir fotografías cuando el objeto es más denso.
- Rayos gamma: son emitidos por el núcleo de átomos radiactivos altamente potentes y constituyen un peligro extremo de exposición.

Los rayos, una vez entran al cuerpo, son absorbidos, metabolizados y distribuidos en los tejidos y órganos. Sus efectos dependen del tipo de radiación y del tiempo que permanezca en contacto con el cuerpo. La radiación se evalúa de acuerdo con los efectos sobre los tejidos vivos, en los que destruye la capacidad de reproducción en algunas células induciendo a la mutación.

Los efectos producidos por las radiaciones ionizantes pueden ser somáticos, los que producen lesiones a los individuos, y genéticos, los que producen alteraciones que se transmiten a generaciones futuras.

El período latente es el tiempo que transcurre entre la exposición y los primeros signos de daños. Cuanto mayor sea la dosis, más corto será el período de latencia.

El uso de radiaciones con fines terapéuticos permitió determinar efectos como enrojecimiento en la piel, dermatosis, cáncer de piel, pérdida del cabello e inflamación ocular.

Algunos de los efectos producidos por las radiaciones se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Efectos producidos por las radiaciones

Nivel de daño	Efecto importante
Molecular	Macromoléculas, DNA, RNA con alteración en ciclos metabólicos
Subcelular	Daño en la membrana celular
Celular	Inhibición de la división celular
Organismo	Producción de cáncer y muerte
Población	Mutaciones genéticas y cromosomales

Fuente: Cascón (2009, p. 123-128).

Los efectos dependen de la cantidad y distribución de la dosis, la fragmentación de esta, la energía de la radiación, la edad, porque el efecto es mayor en el embrión, el niño y el joven; de factores químicos, porque unos protegen y otros sensibilizan; de la sensibilidad tisular, que es mayor en médula ósea, testículos y mucosas gástricas.

Los instrumentos empleados para el control son: dosímetro fotográfico, detectores de termoluminiscencia, dosímetro de bolsillo y cámara de ionización. Estos aparatos tienen la capacidad de absorber la cantidad de radiación ya sea imprimiéndola en la película o ionizándola.

Medios de control

En la fuente: se pueden mencionar: mantenimiento preventivo y periódico de los equipos de rayos X. En estos se debe revisar la integridad de la carcasa de plomo que recubre el aparato, al igual que el colimador y los sistemas de refrigeración; la protección adecuada de las fuentes productoras de radiación, como las de radio y cobalto.

En el medio: se deben establecer programas de detección y medición de radiaciones, inspección de contaminaciones y eliminación de residuos, señalización de las áreas productoras de radiación, colocación de barreras protectoras, mediante recubrimientos con plomo o instalación de hormigón.

- Temperaturas extremas

La respuesta del hombre a la temperatura ambiental, depende primordialmente de un equilibrio muy complejo entre su nivel de producción de calor y su nivel de pérdida de calor. El calor que resulta del metabolismo natural del cuerpo, en especial durante el trabajo, mantiene el cuerpo a una temperatura superior a la que lo rodea en el ambiente común.

Al mismo tiempo, el calor se pierde constantemente por la radiación, la convección y la evaporación, de manera que en condiciones normales de descanso, la temperatura del cuerpo se mantiene entre 36.1 y 37.2 grados centígrados.

El equilibrio térmico del cuerpo es mantenido por un sistema de autorregulación, controlado por el hipotálamo, cada vez que el cuerpo necesita perder calor, el centro termorregulador, localizado en el hipotálamo, hace que se dilaten los vasos sanguíneos, que las glándulas sudoríparas produzcan un aumento de sudor, que se incremente el ritmo de la respiración y que disminuya el metabolismo del cuerpo.

En condiciones de frío, cuando el cuerpo necesita mantener o generar calor, el centro termorregulador hace que los vasos sanguíneos se constriñan y que la sangre se desplace de la periferia a los órganos internos, produciéndose un color azulado y una disminución de la temperatura en las partes distales del cuerpo. Así mismo, se incrementa el ritmo metabólico mediante actividades incontroladas de los músculos, denominadas escalofríos.

En algunos casos, este sistema de autorregulación es inadecuado y el cuerpo pierde o gana más calor del que necesita. Cuando esto sucede, dependiendo de la cantidad de calor que se gane o se pierda, se puede llegar a una reducción en el desempeño, un daño en la salud e incluso la muerte. Por lo tanto, cualquier análisis de las condiciones termales a las que se halla expuesto el trabajador debe hacerse por separado, evaluando los efectos del calor y del frío (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

En la primera parte de este tema se estudian los efectos que tiene el calor en la salud, y en la segunda, los efectos del frío.

Ø Exposición al calor

Un trabajador expuesto a altos niveles de calor radiante o dirigido puede llegar a sufrir daños en su salud de dos maneras: en la primera, la temperatura alta sobre la piel, superior a 45 grados centígrados, puede quemar el tejido. Este efecto se percibe en forma inmediata y mientras el trabajador pueda reaccionar, el dolor hace que retire la parte expuesta de la piel. Temperaturas 1.6 grados centígrados por encima de los parámetros normales de 36.7 a 37 grados centígrados, menoscaban sensiblemente el rendimiento. Si se excede de 2.7 grados centígrados existe un peligro para la salud, cuando el sistema termorregulador del organismo falla.

Los efectos claves de una temperatura elevada ocurren si la temperatura profunda del cuerpo se incrementa a más de 42 grados centígrados, es decir, se aumenta en más o menos 5 grados. En esta situación puede presentarse de repente un inicio de golpe de calor con una pérdida repentina de fuerzas. Si no se trata en forma inmediata con agentes enfriadores, el trabajador puede morir. En algunos casos, la pérdida de la conciencia está precedida por un período corto de debilidad general o de confusión y por una conducta irracional.

Las razones que pueden llevar a hipertermia son:

Condiciones ambientales muy húmedas que ejercen demasiada presión contra la piel, impidiéndole reducir el calor por medio del sudor que se evapora. Se produce un microclima alrededor del cuerpo dentro de la ropa protectora, que se supersatura con agua impidiendo la evaporación.

Por condiciones ambientales demasiado calientes que interfieren el sistema regulador del organismo que intenta contrarrestar los efectos de temperaturas altas, con aumento de la frecuencia de los latidos cardíacos, dilatación de capilares de la piel para llevar mayor cantidad de sangre a la superficie, a fin de incrementar la velocidad de enfriamiento. También puede ser causado por los efectos aislantes de la ropa protectora debido a la impermeabilidad de esta y a sus propiedades de retención de calor.

- Estrés por calor o golpe de calor

Se produce cuando la temperatura central sobrepasa los 42 grados centígrados, independiente del grado de temperatura ambiental. El ejercicio físico extenuante puede causar este golpe de calor, si el nivel de calor metabólico liberado por el esfuerzo es mayor que la habilidad del cuerpo para deshacerse de su exceso.

El golpe de calor tiene más posibilidad de afectar a trabajadores jóvenes, que desarrollan un trabajo pesado como un entrenamiento militar o atlético.

- Convulsiones con sudoración profusa

Pueden ser provocadas por una exposición a temperaturas altas durante un período prolongado, en especial si está acompañado de ejercicio físico pesado con pérdida excesiva de sal y agua. Aun si la pérdida de agua es reemplazada mediante ingestión, la pérdida excesiva de sal puede provocar estas convulsiones o el agotamiento (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

- Agotamiento por calor

Es el resultado de ejercicio físico en un ambiente caliente. Sus signos son: temperatura regularmente elevada, palidez, pulso aumentado, mareos, sudoración profusa y piel fría y húmeda.

- Mediciones de calor en el medio ambiente

En el estudio del estrés calórico las variables que se deben tener en cuenta son: energía metabólica producida por el organismo, movimiento y temperatura del aire, humedad, calor radiante y velocidad del movimiento del aire.

- Energía metabólica producida por el organismo

El proceso metabólico hace que el cuerpo produzca calor durante el descanso así como durante el trabajo. El calor metabólico generado por una persona promedio sentada tranquilamente es aproximadamente igual al de una lámpara de 100 vatios. Para permanecer a una temperatura constante, este calor metabólico debe ser eliminado transfiriéndolo al ambiente, para lo cual se requiere aumentar o disminuir las velocidades de flujo calórico de las superficies del cuerpo, tal como se observa en la Figura 7.

- Movimiento y temperatura del aire

Se mide con algún tipo de anemómetro y la temperatura con un termómetro al que se le llama termómetro de bulbo seco (ver Figura 8).

La temperatura de bulbo seco es la temperatura del aire registrada por un termómetro de vidrio con mercurio común protegido de fuentes de energía radiante directa.

- Contenido de humedad del aire

Se mide generalmente en un sicrometro, que informa las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo. El término 'bulbo húmedo' se emplea generalmente para medir la temperatura obtenida recubriendo con un paño húmedo el bulbo de mercurio de un termómetro corriente. La evaporación de la humedad en el paño, hasta el punto en que el contenido de humedad del aire que lo rodea se lo permita, enfriará el termómetro a una temperatura inferior a la registrada en el bulbo seco. Las lecturas combinadas de los termómetros de bulbo seco y húmedo se usan para calcular el porcentaje de humedad relativa, el contenido de humedad absoluta del aire y la presión de vapor de agua.

- Movimiento y temperatura del aire

Se mide con un anemómetro y la temperatura con un termómetro al que comúnmente se le llama termómetro de bulbo seco (ver Figura 8). La temperatura de bulbo seco es la temperatura del aire registrada por un termómetro de vidrio con mercurio común protegido de fuentes de energía radiante directa.

- Calor radiante

Es una forma de energía electromagnética similar a la luz, con mayor longitud de onda. Su energía es absorbida por cualquier objeto que se le interponga calentando personas, paredes,

máquinas o cualquier objeto sobre el que tropieza. Ejemplo, el emitido por metales al rojo, llamas al descubierto y el sol (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

Para proteger es necesario colocar resguardos o pantallas opacas entre la persona y la superficie radiante. La medición se realiza con un termómetro de bulbo seco colocado en el centro de un flotador metálico, pintado de negro mate, con la parte superior del tubo del termómetro que sobresalga al exterior a través de un tapón de corcho o de goma. Este dispositivo se conoce con el nombre de termómetro de globo.

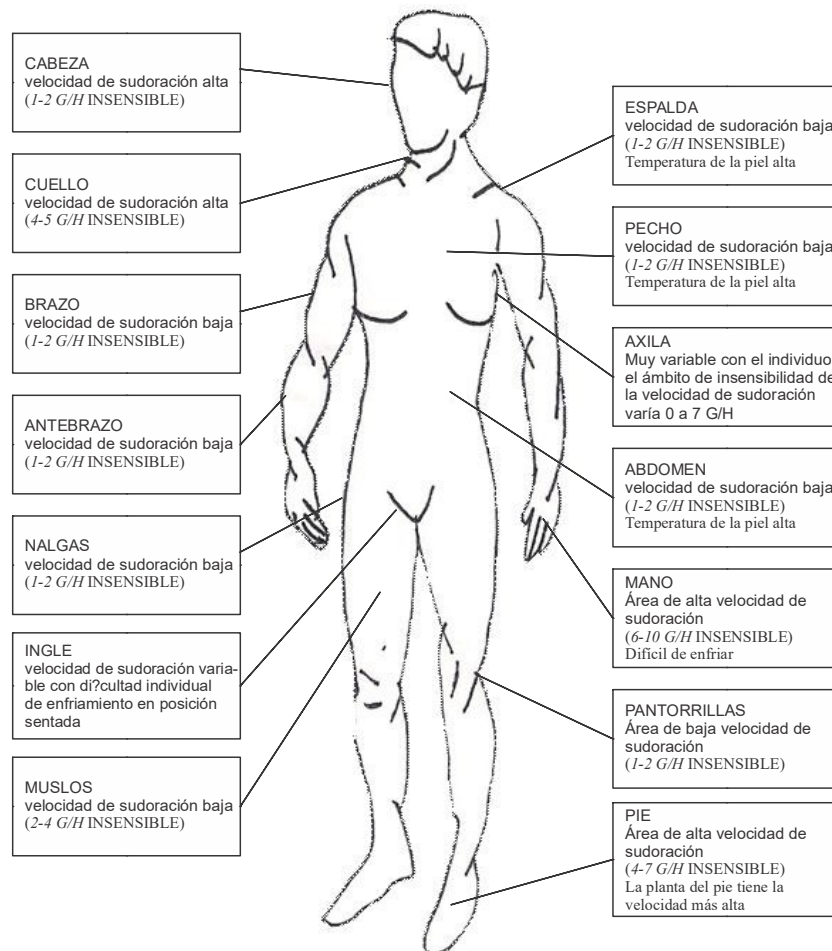


Figura 7. Necesidades de enfriamiento de las áreas del cuerpo humano a nivel del mar y en reposo
Fuente: Consejo Interamericano de Seguridad (1981).

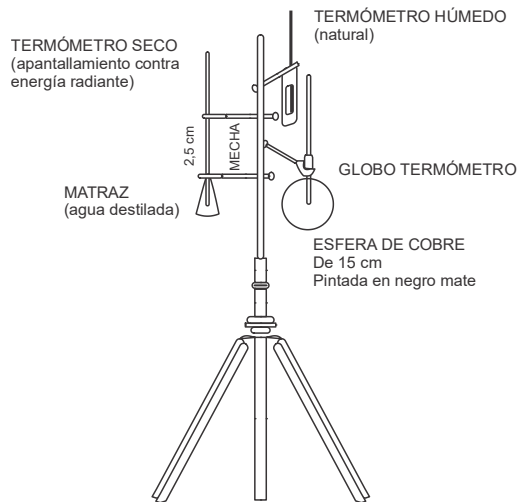


Figura 8. Aparato para medir el estrés calórico de los trabajadores en el medio ambiente
 Fuente: Consejo Interamericano de Seguridad (1981).

- Velocidad del movimiento del aire

El aire en movimiento enfría el cuerpo por convección al renovar la película de aire o de aire saturado que se forma muy rápidamente por evaporación del sudor y lo reemplaza con una nueva capa de aire, capaz de captar más humedad de la piel. De acuerdo con la velocidad con que se realice este proceso, se perderá mayor o menor temperatura corporal (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

Valores límites permisibles

Estos valores se refieren a las condiciones del estrés calórico a las que, se supone, todos los trabajadores pueden estar expuestos en forma reiterada sin sufrir efectos adversos. Están basados en la presunción de que todos los trabajadores están aclimatados, totalmente vestidos y con una provisión de agua y sal suficientes para funcionar en forma efectiva bajo las condiciones de trabajo dadas, sin que la temperatura central del cuerpo exceda los 38 grados centígrados.

Para determinar la ganancia de calor de los trabajadores, es necesario cuantificar los factores ambientales y correlacionarlos con la temperatura central y las respuestas fisiológicas al calor.

El índice de temperatura de globo de bulbo húmedo (TGBH) es la técnica más simple y adecuada para medir los factores ambientales.

Los valores de TGBH se calculan según las siguientes ecuaciones:

Exterior con carga solar

$$TGBH = 0.7 BH + 0.2 TG + 0.1BS \text{ interior o exterior sin carga solar}$$

$$TGBH = 0.7 BH + 0.3 TG$$

Donde

TGBH= índice de temperatura de globo-bulbo húmedo

BH= temperatura de bulbo húmedo

BS= temperatura de bulbo seco

TG= temperatura del termómetro de globo

La determinación de la TGBH requiere del uso de un termómetro de globo negro, un termómetro de bulbo húmedo natural, estático y un termómetro de bulbo seco.

Los valores límites permisibles para la exposición al calor están dados en grados TGBH y se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores límites permisibles de exposición al calor

Trabajo o régimen de descanso	Carga de trabajo		
	Liviano	Moderado	Pesado
Continuo	30	26.7	25.0
75 % trabajo, 25 % descanso/hora	30.6	28.0	25.9
50 % trabajo, 50 % de descanso/hora	31.4	29.4	27.9
25 % trabajo, 75 % de descanso/hora	32.2	31.1	30.0

Fuente: adaptado de Mondelo, Torada, Vilella, Uriz & Lacambra (2004).

Métodos de control

Incluyen métodos de ingeniería, medidas administrativas, laborales o el uso de equipo protector personal.

De ingeniería

- Empleo de un aumento de ventilación o enfriamiento localizado para reducir la temperatura en el lugar de trabajo.

- Empleo de una ventilación local con extracción, en lugares donde exista una alta producción de calor para eliminar de las áreas de trabajo grandes cantidades de calor perceptible y latente.
 - Empleo de enfriamiento por evaporación o refrigeración mecánica para reducir la temperatura del aire suministrado y por lo tanto la temperatura del lugar de trabajo.
 - Aplicación de pantallas protectoras para calor radiante o reducción de la temperatura y emisividad de las superficies radiantes generadoras, para reducir el calor radiante.
 - Eliminación de las pérdidas de vapor y cobertura de los tanques de vapor, drenajes de agua caliente, para reducir la presión de vapor de agua en el lugar de trabajo.
 - Aislamiento, reubicación, rediseño o sustitución de equipo y procesos para disminuir el estrés térmico.
 - Uso amplio de instrumentos que economicen trabajo, como herramientas eléctricas para disminuir calor metabólico (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).
- Exposición al frío

Cualquier enfriamiento significativo del cuerpo o disminución de su temperatura central óptima puede producir riesgos para la salud. Clínicamente se puede decir que un estado de hipotermia existe cuando la temperatura central del cuerpo es cercana a los 35 grados centígrados. Con temperaturas inferiores el riesgo de muerte aumenta por un paro cardíaco.

Cuando el organismo se expone al frío, el sistema de regulación del cuerpo produce calor por medio del aumento de la actividad muscular, que se manifiesta por un aumento en el tono muscular y por los escalofríos. Durante esta etapa el sistema cardiovascular responde al frío por medio de la constricción de los vasos sanguíneos periféricos, lo cual eleva la presión sanguínea.

Si la temperatura interna sigue disminuyendo, el ritmo cardíaco disminuye. Cuando ya no puede compensarse la pérdida de calor durante más tiempo, la temperatura interna desciende hasta cerca de los 30 grados, en forma gradual se detiene el escalofrío reemplazándose por una rigidez muscular.

La tolerancia a la exposición al frío y la susceptibilidad individual varía debido a las características morfológicas, principalmente la distribución del tejido adiposo que actúa como un buen aislante potencializando la vasoconstricción periférica (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

Igualmente, el tamaño y el peso del individuo determinan la pérdida de calor, debido a que este es proporcional a la superficie del cuerpo y a la cantidad de calor que pueda generarse dependiendo del tejido muscular.

Efectos de la exposición al frío

Cualquier condición de ambiente frío puede inducir a la disminución de la actividad en cinco áreas: sensibilidad táctil, ejecución manual, seguimiento, tiempo de reacción, las cuales se encuentran en las categorías de ejecución motora y cognoscitiva. En la motora son importantes dos factores: la temperatura de las extremidades que se usan y el ritmo de enfriamiento. La temperatura de la extremidad afecta la sensibilidad motora, porque el frío causa la pérdida de la sensibilidad cutánea, cambia las características del líquido sinovial de las articulaciones y produce una pérdida de la fuerza muscular. La ejecución cognoscitiva que es la habilidad para pensar, juzgar y razonar, se disminuye.

Los valores límites permisibles de exposición a temperaturas bajas se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Límites máximos diarios de tiempo para exposición a temperaturas bajas

Ámbito de temperatura en grados centígrados	Exposición máxima diaria
0 - 18	Sin límites siempre que la persona esté vestida adecuadamente.
18 - 34	Tiempo total de trabajo: 4 horas, alternando 1 hora dentro y una hora fuera del área de trabajo.
34 - 57	Dos períodos de 30 minutos cada uno, con intervalos de por lo menos 4 horas. Tiempo total de trabajo permitido a baja temperatura 1 hora. También períodos de 15 minutos y máximo 4 períodos por jornadas de 8 horas o 1 hora cada 4 con un factor de enfriamiento bajo, por ejemplo sin viento.
57 - 73	Tiempo máximo permisible de trabajo: 5 minutos durante un día de 8 horas de trabajo. Para estas temperaturas extremas se recomienda el uso de cascos herméticos que cubran totalmente la cabeza, equipados con un tubo respirador que pase por debajo de la ropa hasta la pierna para precalentar el aire.

Fuente: adaptado de Etxebarria (1998).

Métodos de control

Aplicación de calor radiante en las manos. La ropa que se utilice debe permitir el mantenimiento de la capa de aire muerto que se encuentra entre el cuerpo y la ropa y el aire externo, lo cual es esencial para mantener el calor del cuerpo (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).

La ropa también debe permitir parcialmente la transpiración, porque la piel húmeda se congelará más rápidamente.

Las partes del cuerpo expuestas al frío, en especial las manos, deben frotarse periódicamente para estimular la circulación.

Ante situaciones inminentes de bajas temperaturas como a las que pueden estar expuestos los trabajadores que laboran al aire libre en las zonas montañosas, deben usar impermeables, ropa de algodón o permanecer dentro de recintos donde dispongan de fuentes de calor.

- Ventilación deficiente

Los procesos de producción pueden ir acompañados de la emisión de gases, vapores, polvo o calor que modifican el estado y composición del aire, lo cual puede ser nocivo para la salud y bienestar de los trabajadores y provocar unas condiciones de trabajo incómodas que afectan en forma negativa el rendimiento personal. Las necesidades higiénicas del aire consisten en el mantenimiento de unas condiciones definidas y en el aprovechamiento del aire libre. Para asegurar el bienestar de los trabajadores, las condiciones del aire respirable deben ajustarse al tipo de trabajo que se vaya a efectuar: ligero, medianamente pesado y pesado.

Causas de contaminación del aire respirable

Existen muchas causas por las que el aire de un lugar de trabajo se transforma en viciado o irrespirable. Algunas de ellas son las siguientes:

- Presencia de bacterias: cuando el aire recircula para conseguir la ventilación, la diseminación de las enfermedades transmisibles puede acelerarse, debido a la recirculación de polvo y gotitas contaminadas con bacterias en los conductos de ventilación.
- Percepción de olores: tienen cierto significado en el índice de contaminación del aire. Son desagradables, no causan daño, pero pueden provocar incomodidad a los trabajadores. Aun los apenas perceptibles, en algunas ocasiones causan disminución del apetito, lo cual afecta en forma directa la salud.

Para contrarrestarlos se pueden utilizar desinfectantes y mantener orden y aseo. Algunos olores pueden ser suprimidos con el empleo de filtros de carbón activado, que absorben

sustancias productoras del olor. El mejor medio para contrarrestar los olores es agregar aire nuevo desde el exterior al que recircula dentro del recinto de trabajo.

- Ambientes cálidos: los factores térmicos del ambiente afectan la vida diaria, la comodidad y la salud. La función de un sistema de calefacción y ventilación no es calentar el cuerpo, sino permitir que el calor pueda disiparse a una velocidad controlada. Esto es así debido a que las temperaturas del aire alrededor de los 20 grados centígrados son las que determinan el ámbito confortable para los seres humanos. Siempre que la temperatura del aire se acerque a la del cuerpo, el trabajador dejará de sentirse cómodo. Con la ventilación o el acondicionamiento del aire se busca siempre permitir que el cuerpo pierda calor a la velocidad deseada.

Algunas características de gases, vapores y polvo

Muchos procesos industriales van acompañados del desprendimiento de gases o vapores nocivos o muy tóxicos para el trabajador. Se deben tener en cuenta las normas de higiene para locales industriales que establecen la concentración máxima permisible para los gases, polvos y vapores contenidos en el aire de las zonas de trabajo.

- Dióxido de azufre: es un gas incoloro, de olor picante y sabor áspero. Se emplea principalmente para blanquear lana, seda y pasta de madera, se obtiene como subproducto en la fabricación de ácido sulfúrico y celulosa. También se desprende en las salas de calderas. Su principal efecto nocivo es la irritación del aparato respiratorio.
- Acido nítrico y óxidos de nitrógeno: se emplean en la industria textil, en la fabricación de explosivos y en la elaboración de fertilizantes. El principal efecto nocivo es la irritación de las mucosas del aparato respiratorio. En concentraciones bastante altas puede ocasionar dilatación de los alvéolos pulmonares (Lehnhardt & Giovanniello, 1992).
- Mercurio: se encuentra principalmente en forma de amalgama, puede producir envenenamiento, casi exclusivamente por la inhalación de los vapores. Esta enfermedad se denomina hidrargirismo.
- Disolventes: son sustancias muy volátiles que pueden ser absorbidas por la piel no protegida del trabajador y causarle dermatitis.
- Gasolina: los vapores penetran por las vías respiratorias en dosis pequeñas, causando estimulación. Al aumentar la dosis provoca una pérdida de conciencia súbita acompañada de convulsiones. También se debe tener presente el peligro de explosión cuando el vapor alcanza una concentración alta.

- Benceno: ataca el sistema nervioso central ocasionando jaquecas, debilidad, vértigos y en algunos casos graves convulsiones y pérdida de conciencia. El benceno puede formar una mezcla con los componentes del aire, que puede ser muy explosiva.
- Acetona: la inhalación provocada de pequeñas cantidades irrita las vías respiratorias superiores y los bronquios.
- Amoniaco: causa una fuerte irritación en las membranas mucosas del aparato respiratorio superior y en los ojos.

Efectos de la ventilación deficiente

- Disminución en el rendimiento personal del trabajador por la presencia de un ambiente incómodo y fatigoso, que no lo incentiva.
- Alteraciones respiratorias, dérmicas, oculares y del sistema nervioso central, cuando el aire está contaminado, principalmente por factores de riesgo químicos.
- Posible riesgo de intoxicaciones ocupacionales por sustancias químicas, cuando estas, por defecto en los sistemas de ventilación, sobrepasan los valores límites permisibles.
- Disminución en la cantidad y calidad de la producción, como también en la conservación de equipos e infraestructura de la empresa.

Métodos de ventilación

Natural

En este caso, la renovación del aire se realiza por la acción del viento natural. El aire entra y sale a través de los poros de los materiales de construcción, así como también a través de las fisuras, ventanas y rendijas de las construcciones.

En tiempos cálidos se puede emplear en casi todas las industrias y su uso es esencial en los talleres calientes en donde se encuentran altos hornos, sistemas de reverberación, laminadoras, forjas, fundiciones y caldera. También debe utilizarse en lugares donde se produzca vapor de agua, porque al utilizar otro tipo de ventilación se produciría neblina.

La regulación apropiada de la ventilación natural en los edificios industriales depende de la colocación de las fuentes de calor, el diseño del edificio y la situación de las aberturas de ventilación en paredes y techos.

Mecánica

Es la renovación del aire mediante ventiladores. Es localizada, para lo cual se pueden emplear diversos métodos, entre estos se pueden mencionar los siguientes:

- Aspiración: tiene por objeto la extracción del aire contaminado en el mismo sitio en que se produce la contaminación, evitando así la propagación de las impurezas por todo el aire del recinto. No sustituye la ventilación propiamente dicha porque todas las impurezas que no se eliminan con este método pueden quedar alterando las condiciones del aire respirable. Los aspiradores localizados son eficaces para la extracción de humos y polvos, entre estos se pueden mencionar las campanas de humos.
- Ducha de aire: permite proporcionar condiciones satisfactorias a una parte del recinto porque inyecta aire puro a la atmósfera respirable del trabajador.
- Cortinas de aire: son corrientes de aire puro que se colocan en las entradas, frente a los hornos, en varios procesos industriales en donde hay producción de calor o sustancias contaminantes. Su objetivo es la creación de una barrera de aire o la desviación de las corrientes de aire contaminado.
- Ventilación general: suministra o extrae aire en un lugar de forma concentrada o distribuida. El suministro o la extracción del aire son concentrados cuando todo el aire entra o sale por uno o dos sitios solamente.
- Aire acondicionado: su objetivo es regular la temperatura, movimiento y humedad del aire y eliminar el polvo e impurezas.

Aire de reposición

Siempre que se extraiga aire de un edificio debe entrar aire del exterior para ocupar el lugar del extraído. Este es el denominado aire de reposición. La cantidad necesaria depende del problema que se desea evitar y no del tamaño del ambiente en que se vaya a utilizar.

En tiempo frío, el aire que proviene del exterior debe ser suministrado a temperatura deseada en el ambiente o un poco mayor; durante el tiempo caliente debe suministrarse a una temperatura similar a la del exterior.

Equipos para suministro de aire

- Calentadores de aire: funcionan continuamente proporcionando un volumen constante de aire a una temperatura uniforme.

- Unidades para calentamiento y ventilación: mezclan aire del exterior y de recirculación, son indicados para ambientes institucionales.
- Unidades con serpentín de vapor: necesitan una buena fuente de aire.
- De vapor limpio a presión confiable. Cuando han sido diseñados en forma correcta, elegidos e instalados, resultan confiables y seguros.
- Iluminación deficiente

En general, el ser humano ve por siluetas, transmisión y reflexión. La visión por silueta incluye la percepción de un objeto y su contorno, debido a que el perfil está más oscuro y se revela por contraste sobre un fondo más iluminado.

La transmisión es la revelación de los detalles mediante la variación y transmisión de la luz blanca o los cambios de color a través de materiales penetrables. La luz reflejada es la forma más común de visión, donde las áreas claras u oscuras y los detalles son revelados por diferencias de reflexión.

La visibilidad de un objeto o tarea se debe al tamaño, contraste, tiempo de visión y brillo. La porción de energía visible del espectro electromagnético ocupa la región entre 397 y 746 nm. El peligro de daño para la retina es máximo en la zona de la luz azul comprendida entre los 450 y 492 nm.

La exposición del ojo humano a altos niveles de brillo estimula varias respuestas fisiológicas: adaptación, reflejo pupilar, cierre total o parcial del párpado y percepción de sombra. Estos son mecanismos de protección.

Unidades de medida de la luz

- Bujía: es una unidad de medida de la intensidad luminosa en una dirección determinada, está siempre asociada con una fuente de luz e indica el flujo luminoso en su origen.
- Lux: es la iluminación en un punto sobre un plano a una distancia de un metro, en dirección perpendicular de una fuente de luz, cuya intensidad luminosa es una bujía.

1 lux = lumen/metro cuadrado

1 lux = 0.093 lux/pie cuadrado

10.76 lux = lux/ pie cuadrado

Instrumentos de medición

Existen los siguientes: el iluminómetro, el medidor de brillo y el exposímetro de bolsillo. Por regla general todos estos instrumentos están contruidos para hacer la lectura en luxes. Contienen células fotosensibles que forman una barrera o pantalla sobre la cual se hace la lectura.

Tipos de iluminación

- General: es la utilizada para iluminar de manera uniforme todo un recinto, aprovecha la iluminación natural y la artificial y no tiene en cuenta la diversidad de tareas que se deban realizar. Ejemplo: la suministrada por el fluido eléctrico y las aberturas construidas en paredes y techos para permitir la iluminación natural.
- Localizada: se obtiene mediante la utilización de instrumentos o también de aberturas destinadas a proporcionar una mayor iluminación a un sitio determinado, cuando las tareas que allí se realizan, requieren gran precisión. Ejemplo: la que se obtiene mediante la instalación de lámparas adicionales en las mesas de dibujo.
- Suplementaria: se utiliza cuando es necesario reforzar la iluminación de un área en un sitio de trabajo. Un ejemplo lo constituye la utilización de fuentes de iluminación en las salidas de emergencia.
- De emergencia: es la iluminación con que debe contar una institución para proveer de esta, cuando los mecanismos de iluminación natural son deficientes, debido a las condiciones climáticas o se suspende temporalmente la iluminación suministrada por el fluido eléctrico. Para su obtención es indispensable contar con plantas eléctricas.

Tipos de alumbrado

Cada tipo de alumbrado debe escogerse de acuerdo con el tipo de fuente y el grado de precisión con que deben efectuarse las tareas.

Para mantener buenas condiciones visuales, en la mayoría de los locales industriales debe proporcionarse iluminación artificial. La luz natural no es suficiente debido a la reflexión y por ende la absorción superficial.

Hay tres tipos de alumbrado: incandescente o de luz amarilla, fluorescente o de luz blanca, y el producido por arco eléctrico. El más recomendado es el fluorescente porque permite una buena visibilidad y no aumenta la temperatura del ambiente de trabajo.

Alumbrado insuficiente

La luz del sol no es suficiente, por lo que se hace necesario recurrir a la luz artificial. Debido a la oscuridad, quedan ocultos los factores de riesgo, una semioscuridad tampoco mejora las condiciones de trabajo. No obstante que los ojos se adaptan a una gran variedad de valores de luminosidad, hay un cierto límite con el cual no es posible realizar en forma segura las actividades y tareas, por eso hay que tener en cuenta que los ojos necesitan adaptarse constantemente cuando hay variaciones bruscas de intensidad luminosa.

Factores de reflexión y valores recomendados

Los colores claros tienen un mayor poder de reflexión de la luz y por lo tanto son los más recomendados por sus efectos benéficos en la iluminación, la comodidad y la armonía que dan a los ambientes de trabajo. En su orden, los colores más recomendados para pintar las paredes de los sitios de trabajo y de la vivienda se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Los colores y su porcentaje de reflexión

Colores	Porcentaje de reflexión
Blanco, marfil, crema	75
Gris, canela, amarillo y verde claros	40 – 75
Verde o azul claro, gris o salmón	40 – 60
Pardo, verde, azul y gris	20 – 40
Castaño, roble o caoba oscuros	1 – 20

Fuente: adaptado de Hernández & Ortega (2011)

Tabla 14. Valores de reflectancia recomendados

Elemento	Porcentaje
Techo	80
Paredes	60
Cubiertas de escritorio y bancas de trabajo	35
Máquinas y equipo	25
Pisos	10

Fuente: adaptado de Hernández & Ortega (2011)

Iluminación en la industria

La tecnología actual genera gran parte del alumbrado que se utiliza en la industria, pero muchas veces en lugar de ser una ayuda para la ejecución del trabajo, se convierte en un obstáculo para el logro de los niveles de eficiencia y para prevenir los accidentes de trabajo,

no tiene en cuenta la gran variedad de tareas visuales, condiciones operativas y erogaciones económicas de las empresas.

Contrario a lo anterior, la iluminación industrial debe ayudar a proporcionar un ambiente seguro para trabajar, una visibilidad eficiente y confortable que prevenga al máximo la disminución de la agudeza visual. Por eso debe tener en cuenta las tareas, los ambientes y el tipo de iluminación requerida.

También se necesita un plan de mantenimiento que incluya:

- Limpieza de los equipos de alumbrado.
- Limpieza de las superficies y ventanas del local.
- Cambio de focos y tubos fluorescentes.
- Pintado periódico de aparatos y superficies para que concentren la iluminación y permitan un acceso seguro al equipo y una óptima superficie de trabajo.

Niveles de iluminación

Dentro de los límites alcanzables en la industria, el contraste de la tarea visual, es decir, entre el objeto de interés, su fondo inmediato y la visión, debe ser lo mayor posible. A mayor contraste debe haber mayor nivel de iluminación.

Tabla 15. Niveles de iluminación recomendados

Unidades de medida bujías-pie	Luxes	Ejemplo de trabajo industrial
300	3.230	Trabajos muy finos. Inspecciones detalladas
150 a 300	1.615 a 3.230	Trabajos moderadamente finos. Dibujo mecánico, contabilidad
70 a 150	750 a 1.615	Trabajos con esfuerzo normal continuo. Labores de oficina y prensas de imprimir
30 a 70	323 a 750	Trabajos que solo exigen esfuerzo ligero de la vista. Envasados y etiquetados
10 a 30	107 a 323	Trabajos que requieren atención visual media. Transportadores de banda, carga de materiales.
10	107	Trabajos con poca atención visual. Lugares de almacenamiento, astilleros

Fuente: adaptado de Ramírez (2002).

Factores para una buena iluminación

Pueden resumirse en los siguientes:

- Cantidad de iluminación: la que cae sobre la mesa de trabajo, es necesario que no produzca brillo sobre el área de trabajo y su medio circundante, depende del trabajo que se va a realizar, el grado de exactitud requerido, la finura del detalle por observar, el color y la reflectancia de la tarea.

Cuando se usan gafas de seguridad con filtros que disminuyan la luz que llega a los ojos, el nivel de iluminación debe ser aumentado de acuerdo con la absorción de las mismas.

- Calidad: se refiere a la distribución del brillo en el ambiente visual. La iluminación debe ser distribuida por igual, el espaciado de los focos debe ser acorde a la cantidad de iluminación que se requiere para realizar las tareas y ser perpendicular a las mesas de trabajo. La capacidad para ver detalles depende de la diferencia de brillo entre el detalle y su fondo. Estas relaciones se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Relaciones de la diferencia de brillo entre el detalle y su fondo

Detalle y su fondo	Razón
Entre tareas y medio circundante contiguo	5-1
Tareas y superficies más distantes	20-1
Fuente de luz y superficies contiguas	40-1
Cualquier lugar dentro del medio circundante del trabajador	80-1

Fuente: adaptado de Ramírez (2002).

El alumbrado en ciertos casos distorsiona el color, por lo cual debe planearse y seleccionarse según el tipo de tarea que se va a realizar. Es indispensable que no se distorsionen los colores de seguridad, los cuales tienen un mensaje específico.

Colores del código de seguridad

Rojo para peligro

Se emplea para llamar la atención con respecto a estaciones y equipos contra incendio, extinguidores, salidas de emergencia, mangueras y sirenas; riesgos especiales como recipientes portátiles que contengan líquidos inflamables, cuyo punto de ignición sea de 26.6 grados centígrados. Cuando este último esté a una temperatura inferior, debe tener una identificación adicional. Sitios en donde se ubican los equipos de emergencia.

Azul para precaución

Su uso se limita a advertir contra el arranque, uso o movimiento del equipo que se está trabajando. Indica precaución con respecto a montacargas, hornillas, tanques, calderas y mandos eléctricos.

Morado para radiación

Se combina con el amarillo para señalar recipientes, recintos y áreas asociadas a isótopos radiactivos, productos radioquímicos y materias fisionables. Debe colocarse en puertas, superficies de paredes, pisos, recipientes y cualquier equipo con factor de riesgo que emita radiación ionizante.

Blanco para tráfico

El blanco constituye uno de los colores básicos para indicar tráfico, señales de servicio, de cuidado y áreas que necesitan máximo orden y aseo. Combinado con el negro se emplea en la señalización de las áreas de tráfico y solo sirve para indicar escaleras, sitios para depósitos de basuras, fuentes de agua y expendio de alimentos.

Anaranjado para alerta

Indica piezas o partes peligrosas de máquinas o equipo con energía eléctrica viva que pueden causar cortaduras, aplastamientos, descargas o lesiones de este orden.

Amarillo para prevención

Tanto el azul como el amarillo se utilizan para la prevención o precaución. Señala peligros tales como: «chocar contra», «tropezar», «caer», «quedar atrapado entre». Se utiliza para llamar la atención con respecto a equipos de construcción (tractores, cucharas mecánicas), recipientes para desechos de materiales altamente combustibles, bordes al descubierto y sin protección en plataformas, fosos y muros.

Verde para seguridad

Señala la ubicación de los equipos de primeros auxilios, excepto el equipo contra incendios. Este color sirve para proteger al trabajador, indicándole la localización de los dispositivos de seguridad.

Para asegurar mayor visibilidad, los colores deben combinarse en la siguiente forma:

Amarillo con negro
Verde con blanco
Rojo con blanco
Azul con blanco
Negro con blanco

No deben usarse combinaciones de rojo con verde y rojo con azul.

Sombras

Se producen al existir demasiada separación entre las lámparas y en relación de estas con su altura. Lo recomendado es de 1:2 y de 1:1, cuando las lámparas suministran una iluminación uniforme. Para evitar las sombras en el área de trabajo, los focos se deben instalar de tal manera que iluminen el área de trabajo y no el cuerpo del trabajador. Como ejemplos prácticos, las escaleras deben ser iluminadas al comienzo y al final de cada tramo. El trabajo no debe recibir la sombra del trabajador.

Deslumbramiento

Es un brillo intenso dentro del campo visual, que produce incomodidad, molestia, fatiga visual y obstaculización de la visión. La luz puede convertirse en un riesgo si se coloca de manera que produzca un deslumbramiento cegador, o si es del tipo de luz que produce vapor e impide la identificación instantánea de colores de advertencia.

Se capta de tres modos diferentes:

- Deslumbramiento incapacitante directo: es el efecto paralizante de la vista originado por la luz de lámparas resplandecientes al descubierto y enfocadas directamente a los ojos.
- Deslumbramiento molesto: por el contraste excesivo de brillantez entre un objeto y su fondo. Puede pasar desapercibido, pero después cansa la vista y produce cefalea (dolor de cabeza).
- Deslumbramiento reflejante: se debe a la reflexión de fuentes luminosas en superficies de trabajo muy pálidas o mojadas como el vidrio del metal plateado.

Efectos de la iluminación deficiente

- Incrementa las anomalías visuales anatomofisiológicas, al no permitir una visión clara, cómoda y rápida y exigir adaptaciones continuas del globo ocular.

- Incrementa los riesgos de accidentes, porque no se visualizan rápidamente los peligros y por consiguiente no se puede hacer la previsión correspondiente.
- Aumenta la posibilidad de cometer errores, porque los defectos de los productos se descubren con menor rapidez y por consiguiente disminuye la calidad de la producción.
- La cantidad de la producción también se ve afectada por la utilización de mayor tiempo en la ejecución de las operaciones, debido a las posibles correcciones que se deban hacer.
- Aumenta la posibilidad de que las zonas de trabajo y almacenamiento estén saturadas de basura, proliferándose otros riesgos nocivos para la salud.
- Disminuye el interés por la tarea, porque el trabajador no se siente cómodo en la ejecución de su actividad debido a que la luz es un factor indispensable en la comodidad que debe brindar el ambiente de trabajo.
- Aumenta la fatiga física y mental, porque se exige del operario mayor consumo de energías para lograr los objetivos en la tarea que realiza.

Métodos de control

- Adecuar la cantidad y calidad de luz de acuerdo con el trabajo que se va a realizar: grado de exactitud requerido, detalles por tener en cuenta y duración del periodo de trabajo.
- Utilizar al máximo la iluminación natural, manteniendo los vidrios de ventanas y de claraboyas completamente limpios.
- Mantener el plan de mantenimiento, de los artefactos de iluminación, que incluya revisión periódica de los mismos y de las instalaciones eléctricas, al igual que el cambio oportuno de los focos y tubos fluorescentes que se encuentren fundidos.
- Pintar periódicamente las paredes empleando colores que tengan el máximo porcentaje de reflectancia de la luz.
- Mantener el valor de reflectancia recomendado en cada una de las áreas de la infraestructura del local y para los instrumentos de trabajo.