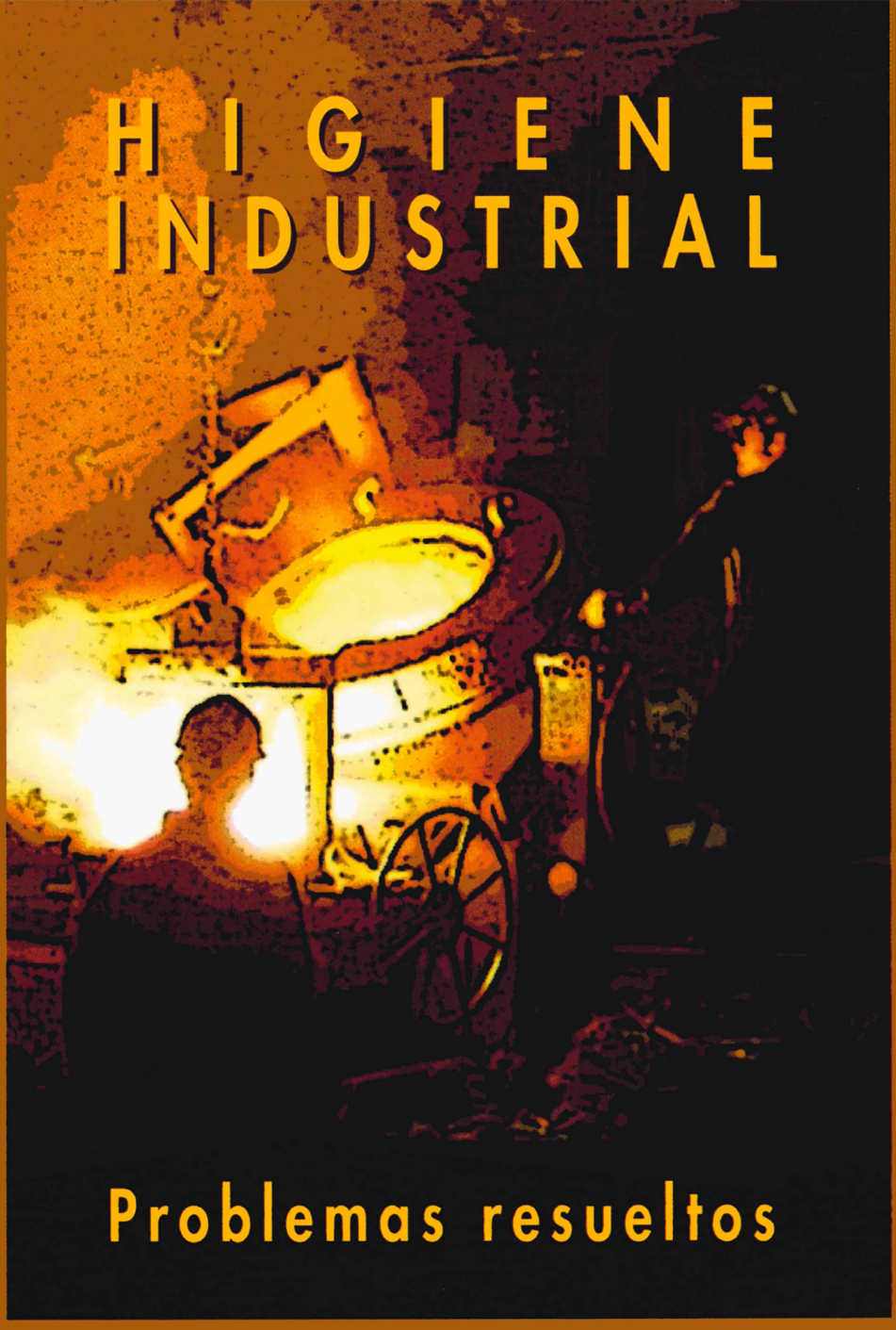
HIGIENE INDUSTRIAL



Problemas resueltos

MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ASUNTOS SOCIALES

INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

HIGIENE INDUSTRIAL

PROBLEMAS RESUELTOS

Autores:

Félix Bernal Domínguez
Emilio Castejón Vilella
Núria Cavallé Oller
Xavier Guardino Solà
Juan Guasch Farràs
Ana Hernández Calleja
Pablo Luna Mendaza
Lluís Pujol Senovilla

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Coordinación:

Núria Cavallé Oller

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Diseño de la cubierta:

Enric Mitjans Talón

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Agradecimientos:

Isabel Caballero Caballero
Cristina Vega Giménez

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
Torrelaguna, 73 – 28027 MADRID

Composición e impresión:

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo
INSHT – BARCELONA

I.S.B.N.: 84-7425-717-4 Dep. Legal: B-43038-2006 NIPO: 211-06-056-0 FD: 2750

HIGIENE INDUSTRIAL

PROBLEMAS RESUELTOS

PRESENTACIÓN

La formación en Prevención de Riesgos Laborales ha sido una de las líneas principales de actuación del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) desde su creación. Con la entrada en vigor de la Ley 31/1995 y del Real Decreto 39/1997, donde se regula la formación para el desarrollo de las funciones de Técnico de Prevención, esta línea se ha visto impulsada, y se han seguido publicando y actualizando los textos correspondientes a las distintas disciplinas preventivas, entre ellos, la Higiene Industrial.

En 1986 se publica la primera edición de "Higiene Industrial Básica" y en 1994, la segunda. En 2002, se publica el texto "Higiene Industrial", que no puede considerarse una simple actualización de los textos precedentes, sino que alcanza una mayor profundidad en los contenidos y aporta una visión exhaustiva de la disciplina, sin perder su orientación didáctica.

Por otra parte, como apoyo a los textos básicos, existen las Guías del Monitor, que ofrecen materiales, ejercicios y casos prácticos para facilitar la docencia. El presente texto se enmarca en esta línea, pero con mayor ambición técnica, ofreciendo una recopilación de ejercicios resueltos de carácter especializado. En todos estos años de trabajo, desde el INSHT se han realizado cursos y asistencia técnica a empresas, entre otras actividades, que han aportado una extensa experiencia en situaciones reales de la Higiene de campo, conocimientos que hasta ahora se habían podido plasmar sólo parcialmente en la publicación de los textos básicos. La presente obra recopila esta información, hasta ahora diseminada, y aporta también nuevas situaciones y casos, así como un compendio de fórmulas matemáticas de uso habitual en Higiene.

La Higiene Industrial, disciplina eminentemente técnica y todavía joven, exige, en muchas ocasiones, planteamientos complejos de solución no menos compleja. El libro pretende poner a disposición de estudiantes y profesionales de la prevención modelos que ayuden a realizar un tratamiento riguroso de situaciones habituales en Higiene Industrial.

Ángel Rubio Ruiz
Director del INSHT

ÍNDICE

1. AGENTES QUÍMICOS. Cálculo de la concentración media 11

2. AGENTES QUÍMICOS. Cálculo del %EMP y evaluación de la exposición 15

3. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS.
Ventilación general por dilución 41

4. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS.
Ventilación por extracción localizada 51

5. RUIDO. Evaluación y Equipos de Protección Individual (EPI) 71

6. RUIDO. Control por absorción 85

7. RUIDO. Control por aislamiento 91

8. VIBRACIONES MECÁNICAS 97

9. AMBIENTE TÉRMICO 110

10. RADIACIONES NO IONIZANTES 121

FORMULARIO DE HIGIENE INDUSTRIAL 129

ANEXOS 173

1. AGENTES QUÍMICOS
Cálculo de la concentración media

1 En un puesto de trabajo cuya jornada laboral es de 8 horas al día, se toman tres muestras consecutivas de polvo de talco (sin amianto) con una duración de 2,5 horas, 2 horas y 2,5 horas, respectivamente. Los resultados del análisis de los filtros son 1,8 mg/m^3, 0,5 mg/m^3 y 2 mg/m^3. Suponiendo que el resto de la jornada no exista exposición a polvo de talco, ¿cuál es la concentración media correspondiente a 8 horas de trabajo?

SOLUCIÓN

Se trata de un muestreo que cubre el tiempo total de exposición (7 horas).

$$C_8 = \frac{[2{,}5 \cdot 1{,}8 + 2 \cdot 0{,}5 + 2{,}5 \cdot 2 + 1 \cdot 0]}{2{,}5 + 2 + 2{,}5 + 1} = 1{,}3 \text{ mg/m}^3$$

o lo que es lo mismo:

$$C_8 = \frac{[2{,}5 \cdot 1{,}8 + 2 \cdot 0{,}5 + 2{,}5 \cdot 2]}{2{,}5 + 2 + 2{,}5} \cdot \frac{7}{8} = 1{,}3 \text{ mg/m}^3$$

2 ¿Cuál es el número de muestras que debemos tomar en una jornada de trabajo de 8 horas, muestreando la jornada completa, para comparar con la mitad del valor límite (VLA-ED = 5 mg/m^3) de un contaminante cuyo límite de detección es de 50 µg, si el caudal de muestreo recomendado es de 2 l/min?

SOLUCIÓN

$$\frac{50}{2\,t} = 2{,}5; \quad t = 10 \text{ min}$$

Si la muestra dura 10 minutos, se cubre el periodo de 8 horas de trabajo con 48 muestras.

En este caso, y con el objetivo de reducir el número de muestras, se puede emplear un sistema de muestro que no cubra la totalidad de la jornada, haciendo uso de técnicas estadísticas (ver NTP-555).

3 Una exposición laboral se caracteriza por el trabajo continuado en ciclos de 10 minutos. El contaminante tiene un límite de detección analítico de 10 µg y un VLA-ED de

0,1 mg/m³. El caudal necesario según el método analítico es de 2 l/min. Plantear el tipo de muestreo. ¿Cuánto tiempo deberán durar las muestras?

SOLUCIÓN

$$\frac{10}{2\,t} = 0{,}1;\ t = 50 \text{ min}$$

El tiempo de cada muestra es de 50 minutos. Dado que se deben muestrear ciclos completos, cada muestra deberá incluir 5 ciclos consecutivos.

4 ¿Cuál debe ser el valor máximo del límite de detección analítico de un agente químico cuyo VLA-ED es de 0,3 mg/m³, para que, con una muestra de 60 minutos de duración, el resultado permita valorar la exposición, por pequeña que sea la concentración ambiental, suponiendo que el muestreador personal esté calibrado a 0,5 l/min?

SOLUCIÓN

$0{,}5 \text{ l/min} \cdot 60 \text{ min} = 30 \text{ l} = 0{,}03 \text{ m}^3$

$0{,}03 \text{ mg/m}^3 \cdot 0{,}3 \text{ mg} = 0{,}009 \text{ mg} = 9 \text{ µg}$

5 En un carrusel de montaje trabajan 5 personas durante 7,5 horas al día rotando e intercambiando sus puestos cada 90 minutos. Las concentraciones medias de un cierto contaminante son respectivamente, para las cinco operaciones del carrusel, 100, 200, 300, 600 y 1.850 expresadas en ppm. Si el VLA-ED es de 600 ppm, valorar el riesgo higiénico.

SOLUCIÓN

Se trata de un solo puesto de trabajo con 5 operaciones, y como duran igual todas ellas, puede hacerse la media aritmética:

$\overline{C} = 610$ ppm durante 7,5 h al día.

Para calcular la ED se debe hacer la proporción hasta 8 h.

$ED = 610 \cdot (7{,}5/8) = 572$ ppm

Este valor es el que se compara con el VLA-ED (600 ppm). Aunque no se supera, se da la circunstancia de que durante más de 30 minutos se alcanza el valor de tres veces el VLA-ED, situación no aceptable, por lo que se debe corregir la exposición.

6 En un puesto de trabajo existe exposición a agentes químicos durante 7 horas al día y se puede considerar como la sucesiva repetición de ciclos de una duración de 20 minutos. Muestreados tres ciclos enteros se obtienen sendas concentraciones representativas de

cada uno de ellos en la misma jornada, arrojando valores de 150, 180 y 135 ppm. Sabiendo que el VLA-ED del contaminante es de 150 ppm, valorar el riesgo higiénico a partir de los datos disponibles.

SOLUCIÓN

Como la exposición es de 7 horas, los valores de las tres ED obtenidas a partir del muestreo de los ciclos son:

$150 \cdot 7/8 = 131{,}2$ ppm

$180 \cdot 7/8 = 157{,}5$ ppm

$135 \cdot 7/8 = 118{,}1$ ppm

Una aproximación a la concentración media de la jornada es la media de los valores obtenidos en los tres ciclos, es decir ED = 135,6 ppm, que es inferior al VLA-ED.

7 En un puesto de trabajo existe exposición a tolueno. Durante la jornada laboral (7 horas) se desarrollan tareas que comportan distintos niveles de concentración ambiental obtenidos muestreando el tiempo total de exposición:

TAREAS	HORARIO	TIEMPO REAL DE EXPOSICIÓN (min)	CONCENTRACIÓN (ppm)
Vestuario	8:00-8:15	0	0
Preparación reactivos	8:15-9:30	15	120
Primera tinción	9:30-11:20	30	135
Segunda tinción	11:20-13:30	20	140
Comida	13:30-14:30	0	0
Lavado piezas	14:30-15:30	15	40
Lavado material	15:30-15:50	15	60
Vestuario	15:50-16:00	0	0

Calcular:

a) La concentración media ponderada durante el tiempo real de exposición.

b) La concentración media ponderada durante la jornada laboral (7 horas).

c) La concentración media ponderada referida a una jornada laboral de 8 horas.

SOLUCIÓN

a) $$\bar{C} = \frac{(120 \cdot 0{,}25) + (135 \cdot 0{,}5) + (140 \cdot 0{,}33) + (40 \cdot 0{,}25) + (60 \cdot 0{,}25)}{1{,}58} = 106{,}8 \text{ ppm}$$

b) $$C_7 = \frac{(0 \cdot 0) + (120 \cdot 0{,}25) + (135 \cdot 0{,}5) + (0 \cdot 0) + (140 \cdot 0{,}33) + (0 \cdot 0) + (40 \cdot 0{,}25) + (60 \cdot 0{,}25) + (0 \cdot 0)}{7} = 24{,}1 \text{ ppm}$$

c) $$C_8 = ED = 24{,}1 \cdot \frac{7}{8} = 21{,}1 \text{ ppm}$$

2. AGENTES QUÍMICOS
Cálculo del %EMP y evaluación de la exposición

1 Calcular el %EMP de dos trabajadores que ocupan el puesto de maquinista de una empresa de limpieza en seco, uno de ellos en turno de mañana y otro en turno de tarde. Están expuestos a percloroetileno. Las condiciones de trabajo son:

Turno de mañana: tiene una duración de 7 horas y 45 minutos y la concentración media de percloroetileno es de 207 mg/m^3.

Turno de tarde: tiene una duración de 8 horas y 45 minutos y la concentración media de percloroetileno es de 183 mg/m^3.

Se utiliza como valor de referencia el propuesto por el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006", que para percloroetileno indica un valor de 172 mg/m^3.

SOLUCIÓN

El tiempo de trabajo en el turno de mañana es de 7,75 horas.

El tiempo de trabajo en el turno de tarde es de 8,75 horas.

La concentración media de percloroetileno por la mañana es de 207 mg/m^3.

La concentración media de percloroetileno por la tarde es de 183 mg/m^3.

$$\%EMP = \frac{207}{172} \cdot \frac{7{,}75}{8} \cdot 100 = 116$$

$$\%EMP = \frac{183}{172} \cdot \frac{7{,}75}{8} \cdot 100 = 116$$

Obsérvese que el valor del %EMP se modifica tanto por el valor de la concentración del contaminante como por el valor del tiempo de exposición y por ello distintas concentraciones ambientales pueden comportar niveles de exposición iguales y viceversa.

2 Calcular el %EMP de un trabajador que ocupa el puesto de maquinista de una empresa de limpieza en seco. Está expuesto a percloroetileno.

La jornada laboral tiene una duración de 8 horas y 30 minutos y dispone de 20 minutos para desayunar y de 10 minutos para vestirse antes de acabar el horario de trabajo.

Durante el trabajo se realizan 4 tareas diferentes:

Carga de la máquina, que le ocupa 1 hora al día.

Vigilancia del funcionamiento de la máquina durante el ciclo de limpieza, que le ocupa 3,5 horas al día

Descarga de la máquina, que le ocupa 1 hora al día.

Atención al público, que le ocupa las 2,5 horas restantes.

Las concentraciones medidas durante las distintas operaciones son:

Carga de la máquina: 615 mg/m^3

Vigilancia del funcionamiento: 725 mg/m^3

Descarga de la máquina: 585 mg/m^3

Atención al público: 645 mg/m^3

Zona de vestuarios y comedor: 550 mg/m^3

Comparar los resultados obtenidos utilizando la concentración media y la media ponderada con respecto al tiempo.

Se utiliza como valor de referencia el propuesto por el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006", que para percloroetileno es de 172 mg/m^3.

SOLUCIÓN

Concentración (mg/m^3)	Tiempo (h)
615	1
725	3,5
585	1
645	2,5
550	0,5
Media: 625	Total: 8,5

625 mg/m^3 es la concentración media durante 8,5 h sin ponderar por tiempo.

662 mg/m^3 es la media ponderada por tiempo durante 8,5 h.

703 mg/m^3 es la exposición diaria (referida a 8h) = 1.050 · (8,5/8)

$$I = \frac{703}{172} = 4{,}09$$

%EMP = 409%

3 Para evaluar una operación que genera exposición a vapores de tolueno y que tiene una duración de 5 horas se han utilizado tubos de carbón activo (TCA) conectados a un muestreador personal calibrado en 0,2 litros por minuto.

El volumen máximo de muestreo aconsejado es de 10 litros (50 minutos).

Para cubrir todo el tiempo de trabajo hemos utilizado 6 tubos de muestreo que han dado los siguientes resultados analíticos:

TCA 1: 3,3 mg; TCA 2: 3,5 mg; TCA 3: 3,1 mg; TCA 4: 3,2 mg; TCA 5: 3,4 mg; TCA 6: 3,7 mg.

Durante el resto del tiempo de trabajo se considera que no hay exposición a vapores de tolueno. La jornada laboral efectiva del trabajador es de 8,5 horas.

Calcular el %EMP.

Se utiliza como valor de referencia el propuesto en el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006", en el que el valor límite de exposición profesional al tolueno es de 191 mg/m^3.

SOLUCIÓN

Tiempo de exposición = $50 \cdot 6 = 300$ min = 5 horas

$$C_5 = \frac{20{,}2 \text{ mg}}{60 \text{ l}} = 0{,}3367 \text{ mg/l} = 336{,}7 \text{ mg/m}^3$$

La concentración ponderada en el tiempo y referida a 8 h (ED) es:

$$ED = \frac{(336{,}7 \cdot 5) + (0 \cdot 3{,}5)}{8} = 210{,}4 \text{ mg/m}^3$$

$$\%EMP = \frac{ED}{VLA\text{-}ED} \cdot 100 = \frac{210{,}4}{191} \cdot 100 = 110\%$$

4 En un puesto de trabajo hay una exposición puntual a vapores de glutaraldehido durante una operación de dilución que dura 5 minutos, seguida de un proceso de agitación que dura 10 minutos más. La jornada de trabajo es de 8,5 horas en las que no se reproduce la exposición al glutaraldehído.

La medida de la concentración ambiental de glutaraldehído se realiza con un sistema de *impingers* y un muestreador personal calibrado a 0,5 litros por minuto durante un tiempo de muestreo de 5 minutos en la operación de dilución y de 10 minutos durante la operación de agitación.

Los resultados obtenidos son:

Operación de dilución:

Impinger 1: 2 µg

Impinger 2: No se detecta (Límite de detección: 0,05 µg)

Operación de agitación:

Impinger 1: 0,5 µg

Impinger 2: 0,55 µg

Calcular el %EMP.

Se utiliza como valor de referencia el propuesto en el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006", que para la exposición profesional al glutaraldehido es de 0,2 mg/m^3 (valor de corta duración, VLA-EC).

SOLUCIÓN

Operación de dilución:

Volumen de aire muestreado durante 5 minutos:

V = 0,5 l/min · 5 min = 2,5 l

La concentración medida es de: 2 µg/2,5 l = 0,8 mg/m^3

Operación de agitación:

Volumen de aire muestreado durante 10 minutos:

0,5 l/min · 10 min = 5 l

La concentración es: 0,55 mg/5 l = 0,11 mg/m^3

Concentración ponderada al periodo de 15 minutos:

EC = (0,8 · 5 + 0,11 · 10)/15 = 0,34 mg/m^3

VLA-EC = 0,2 mg/m^3

%EMP = (0,34/0,20) · 100 = 170%

5 En un lugar de trabajo hay una exposición puntual a aerosoles de ácido crómico durante una operación de extracción de piezas de un baño de cromado duro, que tiene una duración de 5 minutos, seguida de un proceso de vigilancia del funcionamiento de la línea de baños galvánicos, que no presenta exposición significativa a este agente.

Durante la operación objeto de estudio se toman muestras de ácido crómico. La toma de muestras se hace con un filtro de membrana de éster de celulosa de 0,45 micras de diámetro y el muestreador está calibrado a 2,5 l/min.

El resultado analítico del filtrado es de 4,5 µg de ácido crómico medido como Cr (VI).

Calcular el %EMP a Cr (VI).

Se utiliza como valor de referencia el propuesto en el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006", que para ácido crómico, como Cromo (VI), es de 0,05 mg/m^3.

SOLUCIÓN

El volumen de aire muestreado es 2,5 l/min · 5 min = 12,5 l

La concentración ambiental es 4,5 µg de Cromo (VI) en 12,5 litros de aire, que equivale a una concentración de 0,36 mg/m^3

La concentración ponderada durante la jornada de trabajo es:

$$ED = 0{,}36 \cdot 5/480 = 0{,}00375 \text{ mg/m}^3$$

$$\%EMP = \frac{0{,}00375}{0{,}05} \cdot 100 = 7{,}5\%$$

El límite de desviación (LD) es 5 · VLA-ED = 5 · 0,05 = 0,25 mg/m^3

La concentración ambiental puntual es 0,36 mg/m^3, muy superior al Límite de Desviación, que es 0,25 mg/m^3. Deben tomarse medidas preventivas para evitar esta exposición, teniendo en cuenta, además, que se trata de una sustancia cancerígena. Por ello le es de aplicación el Real Decreto 665/1997 y sus modificaciones, estableciéndose como prioridad preventiva la sustitución del agente químico.

6 Calcular el %EMP y el índice de exposición de un puesto de trabajo de encolado con cola de impacto que tiene como componentes: n-hexano, isohexano (metilpentano) y tolueno. Las operaciones que se realizan son:

Encolado durante un tiempo diario de 3,5 horas

Pegado durante un tiempo diario de 3,5 horas

Permanencia en la zona de secado durante un tiempo diario de 1,5 horas

Tiene una permanencia estimada para descanso dentro del turno de trabajo de 0,5 horas en la zona de vestuario. En esta zona se considera nula la exposición a los agentes químicos objeto de estudio.

Las muestras se han tomado con tubos de carbón activo (TCA) y muestreadores personales calibrados a 0,2 l/min durante 50 minutos de tiempo de muestro aproximadamente (véanse los datos exactos de caudal en las siguientes tablas). La recogida de muestras se ha realizado durante un tiempo que es representativo de la exposición.

Los resultados obtenidos para cada tubo son:

Encolado

	n-hexano (mg)	isohexano (mg)	tolueno (mg)	tiempo muestreo (min)	Q(l/min)
TCA 1	2,2	1,8	1,7	60	0,19
TCA 2	1,8	4,3	1,6	50	0,19
TCA 3	0,9	2,2	1,0	40	0,19

Pegado

	n-hexano (mg)	isohexano (mg)	tolueno (mg)	tiempo muestreo (min)	Q(l/min)
TCA 1	0,4	1,8	0,7	60	0,20
TCA 2	0,4	2,0	0,6	50	0,20
TCA 3	0,3	0,95	0,4	45	0,20
TCA 4	0,1	0,2	0,1	25	0,20

Secado

	n-hexano (mg)	isohexano (mg)	tolueno (mg)	tiempo muestreo (min)	Q(l/min)
TCA 1	1,5	3,5	1,6	50	0,22
TCA 2	0,95	3,7	1,4	55	0,22
TCA 3	0,55	2,2	0,7	45	0,22

Se utilizan como valores de referencia los propuestos en el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006":

VLA-ED (n-hexano): 179 mg/m^3

VLA-ED (isohexano): 1.790 mg/m^3

VLA-ED (tolueno): 191 mg/m^3

SOLUCIÓN

Encolado

	n-hexano (mg)	isohexano (mg)	tolueno (mg)	Q (l/min)	Tiempo (min)	Vol (l)	n-hexano (mg/m^3)	isohexano (mg/m^3)	tolueno (mg/m^3)	Tiempo expo (h)
TCA1	2,2	4,0	1,7	0,19	60	11,4				
TCA2	1,8	4,3	1,6	0,19	50	9,5				
TCA3	0,9	2,2	1,0	0,19	40	7,6				
					150		171,9	291,2	150,9	3,5

Pegado

	n-hexano (mg)	isohexano (mg)	tolueno (mg)	Q (l/min)	Tiempo (min)	Vol (l)	n-hexano (mg/m³)	isohexano (mg/m³)	tolueno (mg/m³)	Tiempo expo (h)
TCA1	0,4	1,8	0,7	0,20	60	12,0				
TCA2	0,4	2,0	0,6	0,20	50	10,0				
TCA3	0,3	0,95	0,4	0,20	45	9,0				
TCA4	0,1	0,2	0,1	0,20	25	5,0				
					180		33,3	137,5	50,0	3,5

Secado

	n-hexano (mg)	isohexano (mg)	tolueno (mg)	Q (l/min)	Tiempo (min)	Vol (l)	n-hexano (mg/m³)	isohexano (mg/m³)	tolueno (mg/m³)	Tiempo expo (h)
TCA1	1,5	3,5	1,6	0,22	50	11,0				
TCA2	0,95	3,7	1,4	0,22	55	12,1				
TCA3	0,55	2,2	0,7	0,22	45	9,9				
					150		90,9	284,8	112,1	1,5

Tiempo de muestreo: 480 min

Vestuario

	Tiempo expo (h)
	0,5

	n-hexano (mg/m³)	isohexano (mg/m³)	tolueno (mg/m³)
Concentración ponderada	106,4	241,0	108,3
VLA-ED	179	1.790	191
%EMP	59,7	13,5	57

%EMP total: 130

Índices	0,60	0,13	0,57

Índice total: 1,3

7 Calcular el %EMP y los índices de exposición a agentes químicos en un puesto de trabajo de pintado aerográfico de piezas metálicas en el que trabaja un operario durante 8 horas al día. Las operaciones que ejecuta son: pintado aerográfico, almacenamiento en la zona de secado y limpieza del equipo de pintura, operaciones a las que dedica un tiempo medio de 270, 210 y 30 minutos, respectivamente. Dispone de 30 minutos para su aseo personal.

Los contaminantes determinados en las diferentes operaciones y los equipos utilizados para la toma de las muestras son:

Pintado

Contaminante	Caudal muestreado (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Peso (mg)
TDI	0,8	60	0,005
	0,8	60	0,006
	0,8	60	0,007
Óxidos de Cr(III)	2,5	45	0,250
	2,5	45	0,150
	2,5	45	0,100
	2,5	45	0,050
Dimetilformamida	0,2	35	0,4
	0,2	35	0,3
	0,2	35	0,2
	0,2	35	0,4
	0,2	40	0,1
Tolueno	0,2	35	2,0
	0,2	35	1,7
	0,2	35	1,8
	0,2	35	1,9
	0,2	40	1,6
Metiletilcetona	0,2	35	4,0
	0,2	35	3,4
	0,2	35	3,2
	0,2	35	3,8
	0,2	40	3,1

Secado

Contaminante	Caudal muestreado (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Peso (mg)
Dimetilformamida	0,2	40	0,05
	0,2	40	0,09
	0,2	40	0,12
	0,2	40	0,07
Tolueno	0,2	40	0,21
	0,2	40	0,15
	0,2	40	0,20
	0,2	40	0,12
Metiletilcetona	0,2	40	0,4
	0,2	40	0,3
	0,2	40	0,3
	0,2	40	0,4

Limpieza

Contaminante	Caudal muestreado (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Peso (mg)
Dimetilformamida	0,2	20	0,9
Tolueno	0,2	20	2,1
Metiletilcetona	0,2	20	4,3

Se considera que en el vestuario no hay exposición a estos agentes químicos.

Se utilizan como valores de referencia los propuestos en el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006", en el que los valores límite de exposición profesional a estas sustancias son los siguientes:

TDI: 0,036 mg/m^3

Óxidos de Cr (III): 0,5 mg/m^3

Dimetilformamida: 30 mg/m^3

Tolueno: 191 mg/m^3

Metiletilcetona: 600 mg/m^3

Determinar los índices de exposición a cada agente químico.

SOLUCIÓN

Pintado

	TDI (mg)	Q (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Vol (l)	TDI (mg/m³)	Tiempo expo (min)
I1	0,005	0,8	60	48		
I2	0,006	0,8	60	48		
I3	0,007	0,8	60	48		
			180		0,13	

	Óxidos de Cr (III) (mg)	Q (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Vol (l)	Óxidos de Cr (III) (mg/m³)	
F1	0,250	2,5	45	112,5		
F2	0,150	2,5	45	112,5		
F3	0,100	2,5	45	112,5		
F4	0,050	2,5	45	112,5		270
			180		1,22	

	Dimetilformamida (mg)	Tolueno (mg)	Metiletilcetona (mg)	Q (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Vol (l)	Dimetilformamida (mg/m³)	Tolueno (mg/m³)	Metiletilcetona (mg/m³)	
TCA1	0,4	2,0	4,0	0,2	35	7				
TCA2	0,3	1,7	3,4	0,2	35	7				
TCA3	0,2	1,8	3,2	0,2	35	7				
TCA4	0,4	1,9	3,8	0,2	35	7				
TCA5	0,1	1,6	3,1	0,2	40	8				
					180		38,9	250,0	486,1	

Secado

	Dimetilformamida (mg)	Tolueno (mg)	Metiletilcetona (mg)	Q (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Vol (l)	Dimetilformamida (mg/m³)	Tolueno (mg/m³)	Metiletilcetona (mg/m³)	Tiempo expo (min)
TCA1	0,05	0,21	0,4	0,2	40	8				
TCA2	0,09	0,15	0,3	0,2	40	8				
TCA3	0,12	0,20	0,3	0,2	40	8				210
TCA4	0,07	0,12	0,4	0,2	40	8				
					160		10,3	21,3	43,8	

Limpieza de utensilios

	Dimetilformamida (mg)	Tolueno (mg)	Metiletilcetona (mg)	Q (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Vol (l)	Dimetilformamida (mg/m³)	Tolueno (mg/m³)	Metiletilcetona (mg/m³)	Tiempo expo (min)
TCA1	0,9	2,1	4,3	0,2	20	4				30
					20		225,0	525,0	1.075,0	

Vestuario

	Tiempo expo (min)
	30

	Dimetilformamida (mg/m³)	Tolueno (mg/m³)	Metiletilcetona (mg/m³)	Tiempo expo (min)
ED	40,5	182,7	359,8	540
VLA-ED	30	191	600	
%EMP	135	96	60	
	%EMP total:	**290**		
Índices	1,35	0,96	0,60	
	Índice total:		**2,90**	

Estos tres agentes se valoran conjuntamente porque pueden presentar efectos aditivos.

	TDI
ED (TDI)	0,07
VLA-ED	0,036
%EMP	195
Índice (TDI)	1,95

	Óxidos de Cr (III)
ED (Cr VI)	1,22
VLA-ED	0,5
%EMP	244
Índice (CrVI)	2,44

El toluendiisocianato y la metiletilcetona tienen valores límite de corta duración establecidos. Sin embargo, con el muestreo realizado aquí no es posible valorar la exposición de corta duración. Debería programarse un muestreo en períodos de 15 minutos (ver NTP-555).

8 En una operación de soldadura eléctrica al arco con electrodo revestido se ha medido la concentración de humos totales de soldadura para compararlos con un valor VLA-ED de 5 mg/m³. Se han tomado siete muestras de una jornada completa de trabajo que han dado los siguientes resultados en mg/m³: 5,2; 3; 3,5; 2,4; 3,6; 4,8; 3,2. Determinar, para

esa jornada, el valor más probable de la concentración media y el intervalo de confianza de la misma, con un nivel de confianza del 95%.

SOLUCIÓN

La estimación de la media de la distribución real puede hacerse mediante el antilogaritmo de la media de los logaritmos de las concentraciones, es decir, el valor de la media geométrica de las concentraciones (MG), corrigiendo posteriormente el resultado, al multiplicar MG por la función F (ver NTP-553).

$$MG = e^{\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{n}} = 3{,}59 \text{ mg/m}^3$$

siendo n el número de muestras y L_i el logaritmo de cada una de las concentraciones.

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\bar{L} - L_i\right)^2}{n - 1}} = 0{,}28$$

$$GSD = e^{S_L} = 1{,}3$$

$\Phi \approx 1{,}04$ (ver gráfico en el apartado A del formulario).

Valor más probable de la media = $\Phi \cdot MG = 3{,}7$ mg/m^3, que se comparará con el VLA-ED.

Los factores que permiten obtener el límite superior e inferior del intervalo de confianza son $F_{sup} = 1{,}5$ y $F_{inf} = 0{,}85$ (ver gráficos en el apartado A del formulario).

$C_{sup} = 1{,}5 \cdot 3{,}59 = 5{,}4$ mg/m^3

$C_{inf} = 0{,}85 \cdot 3{,}59 = 3{,}0$ mg/m^3

Por lo tanto el valor de la concentración es:

$C_g = 3{,}7$ mg/m^3 (3,0 - 5,4 con un 95% de confianza).

9 A lo largo de una jornada de 8 horas, se han tomado 7 muestras de tetracloruro de carbono mediante tubos de carbón activo de igual duración en cortos periodos de tiempo (20 minutos), a un caudal de 0,21 l/min y de forma aleatoria, con los siguientes resultados todos ellos en microgramos por tubo (µg/muestra):

84; 156; 206; 109; 168; 210; 151

Estimar el valor de la concentración media aplicable a la exposición y el intervalo de confianza, suponiendo una distribución logarítmico-normal de los valores de las 7 muestras.

SOLUCIÓN

Procediendo de la forma explicada en la NTP-553:

$$MG = e^{\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{n}} = 35{,}3 \text{ mg/m}^3$$

siendo n el número de muestras y L_i el logaritmo de cada una de las concentraciones.

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\bar{L} - L_i\right)}{n - 1}} = 0{,}332$$

$$GSD = e^{S_L} = 1{,}39$$

$\Phi \approx 1{,}05$ (ver gráfico en el apartado A del formulario).

Valor más probable de la media = $\Phi \cdot MG = 37{,}1$ mg/m^3

El valor de la concentración que se comparará con el VLA-ED es $C_8 = 37{,}1$ mg/m^3

Los factores que permiten obtener el límite superior e inferior del intervalo de confianza son $F_{sup} = 1{,}6$ y $F_{inf} = 0{,}8$. La media se encuentra, con un nivel de confianza del 95%, entre 28,2 mg/m^3 y 56,4 mg/m^3 (ver gráficos en el apartado A del formulario).

10 Calcular el %EMP a percloroetileno en una jornada de trabajo en la que se realiza una operación de desengrase de piezas de hierro con este agente en fase vapor. La jornada efectiva diaria es de un turno completo de 8 horas y 30 minutos. La operación de desengrase dura 8 horas y el operario dispone de 30 minutos durante el día para descanso en la zona de vestuario.

Los agentes químicos determinados y las características de la toma de muestra son:

Desengrase

Agente químico	Caudal muestreado (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Peso (mg)
Percloroetileno	0,2	50	1,07
	0,2	50	1,14
	0,2	50	1,01
	0,2	50	1,13

Vestuario

Agente químico	Caudal muestreado (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Peso (mg)
Percloroetileno	0,2	15	0,32
	0,2	15	0,32

Se utilizan como valores de referencia los propuestos en el Documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2006", que para percloroetileno es de 172 mg/m^3.

SOLUCIÓN

Desengrase

	Percloroetileno (mg)	Q (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Vol (l)	Percloroetileno (mg/m^3)	Tiempo de trabajo (min)
TCA1	1,07	0,2	50	10		
TCA2	1,14	0,2	50	10		
TCA3	1,01	0,2	50	10		
TCA4	1,13	0,2	50	10		
			200		108,8	480

Vestuario

	Percloroetileno (mg)	Q (l/min)	Tiempo toma muestra (min)	Vol (l)	Percloroetileno (mg/m^3)	Tiempo de trabajo (min)
TCA1	0,32	0,2	15	3		
TCA2	0,32	0,2	15	3		30
			30		106, 7	

Concentración ponderada	115,4 mg/m^3
VLA-ED	172 mg/ m^3
%EMP	**67**

Durante la jornada de trabajo estudiada no se supera la exposición máxima permitida.

11 Un individuo trabaja 7 horas al día pintando aerográficamente armarios metálicos. A través del muestreo de agentes químicos presentes en el ambiente de trabajo se obtienen los siguientes resultados (concentraciones medias del periodo de exposición): 90 mg/m³ de tolueno, 240 mg/m³ de metiletilcetona, 500 mg/m³ de acetona y 0,1 mg/m³ de plomo. ¿Cuáles son los valores de los porcentajes de la EMP que se utilizan para valorar el riesgo, teniendo en cuenta los diferentes efectos fisiopatológicos de los contaminantes implicados?

SOLUCIÓN

	C_7 (mg/m³)	VLA-ED (mg/m³)	EMP (%)
Tolueno	90	191	41,2
Metiletilcetona	240	600	35,0
Acetona	500	1.210	36,2
Plomo	0,1	0,15	58,3

Hay que tener en cuenta los posibles efectos aditivos de los tres disolventes orgánicos, por lo que la exposición debe valorarse conjuntamente. Así, el %EMP es 112,4 para los disolventes y 58,3 para el plomo.

12 Un trabajador realiza tareas de limpieza con disolvente. Valorar el riesgo higiénico por exposición a vapores de tolueno mediante el sistema del número limitado de muestras que propone la norma UNE-EN 689:1996 para la comparación con el valor límite a partir de los siguientes datos:

Operación	Tiempo (h/día)	Jornada 1 Conc. (mg/m³)	Jornada 2 Conc. (mg/m³)	Jornada 3 Conc. (mg/m³)
Transportar y preparar piezas	3,7	158	140	120
Limpiar	1,5	250	241	184

SOLUCIÓN

$$\text{Jornada 1: } C_8 = \frac{158 \cdot 3{,}7 + 250 \cdot 1{,}5}{8} = 120 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{Jornada 2: } C_8 = \frac{140 \cdot 3{,}7 + 241 \cdot 1{,}5}{8} = 110 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{Jornada 3: } C_8 = \frac{120 \cdot 3{,}7 + 184 \cdot 1{,}5}{8} = 90 \text{ mg/m}^3$$

Calculando los correspondientes índices:

$$I_1 = \frac{C_8}{\text{VLA-ED}} = \frac{120}{191} = 0{,}63$$

$$I_2 = \frac{C_8}{\text{VLA-ED}} = \frac{110}{191} = 0{,}58$$

$$I_3 = \frac{C_8}{\text{VLA-ED}} = \frac{90}{191} = 0{,}47$$

$$MG = \sqrt[3]{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} = \sqrt[3]{0{,}63 \cdot 0{,}58 \cdot 0{,}47} = 0{,}55 > 0{,}5$$

Se trata de una indeterminación. Se puede muestrear de nuevo una o más veces o corregir los factores de la exposición (siempre que se controlen las exposiciones de corta duración).

13 Se muestrea acetona (VLA-ED = 500 ppm) en un puesto de trabajo cuya tarea diaria consta de varias operaciones de diferente duración. Se dispone de los siguientes datos obtenidos por medición:

Tarea	Duración (h)	Concentración (ppm) 1r día muestreo	Concentración (ppm) 2º día muestreo	Concentración (ppm) 3r día muestreo
Limpiar piezas	3	450	380	400
Secado de piezas	1,5	250	200	300
Almuerzo	0,5	0	0	0

Valorar la exposición a acetona, a partir del muestreo de tres jornadas tal como se presenta.

SOLUCIÓN

	Primer día	Segundo día	Tercer día	
C_8	216	180	206	
I	0,431	0,36	0,41	MG = 0,4

La media geométrica de los 3 índices es inferior a 0,5, por lo que se concluye que la exposición es aceptable, de acuerdo con el sistema de "pocas muestras" propuesto por la norma UNE-EN 689:1996.

14 Se muestrea metanol (VLA-ED = 200 ppm) durante dos jornadas distintas por lo que se dispone de dos concentraciones ambientales (70 y 150 ppm) que representan la media del periodo de duración de la jornada (9 horas), según el sistema de "pocas muestras" de la norma UNE-EN 689:1996. ¿Cuál deberá ser el valor máximo hallado de la concentración media del tercer día para considerar aceptable la exposición?

SOLUCIÓN

$C_8 = 70 \cdot 9/8 = 78{,}8$ ppm

$I_1 = 78{,}8/200 = 0{,}39$

$C_8 = 150 \cdot 9/8 = 168{,}8$ ppm

$I_2 = 168{,}8/200 = 0{,}84$

$$\sqrt[3]{0{,}39 \cdot 0{,}84 \cdot I_3} \leq 0{,}5$$

$$\frac{0{,}125}{0{,}39 \cdot 0{,}84} = 0{,}38 \geq I_3;\ C_8\ (3^\circ \text{ día}) \leq 0{,}38 \cdot 200 = 76{,}3 \text{ ppm}$$

$$C_{\text{jornada}} = \frac{C_8 \cdot 8}{9} = \frac{76{,}3 \cdot 8}{9} = 68 \text{ ppm}$$

La concentración media de la jornada (9 horas) debe ser menor o igual que 68 ppm.

15 Consideramos que 15 soldadores forman un Grupo Homogéneo de Exposición (GHE) y muestreamos a 5 de ellos al azar. ¿Cuál es la probabilidad de que entre en el muestreo al menos uno de los dos trabajadores de máxima exposición?

SOLUCIÓN

La expresión para obtener la probabilidad en este caso es:

$$p = \frac{\dfrac{(N - N_0)\,!}{n\,!\,(N - N_0 - n)\,!}}{\dfrac{N\,!}{n\,!\,(N - n)\,!}}$$

Sustituyendo $N = 15$, $N_0 = 2$ y $n = 5$, tenemos:

$$p = \frac{\frac{(15-2)!}{(10-2)!}}{\frac{15!}{10!}} = \frac{(15-2)\cdot(14-2)\cdot(13-2)\cdot(12-2)\cdot(11-2)}{15\cdot 14\cdot 13\cdot 12\cdot 11} = 0{,}429$$

$p = 0{,}429; \quad 1 - p = 0{,}571$

Es decir, que aproximadamente tenemos una opción sobre dos de no elegir a un trabajador de máxima exposición.

16 En una empresa del sector de artes gráficas se quiere evaluar la exposición a agentes químicos por inhalación en el puesto de trabajo de control de la máquina rotativa. Durante la jornada de trabajo se realizan dos tareas: el control del funcionamiento de la rotativa y la limpieza de componentes de la misma. La primera tiene una duración de 7 horas/jornada y la segunda de 0,5 horas/jornada. Se toman muestras personales con tubos de carbón activo durante tres jornadas de trabajo, elegidas al azar. Los resultados analíticos muestran la presencia de varios compuestos orgánicos, todos ellos irritantes del tracto respiratorio y depresores del sistema nervioso central. A partir de las concentraciones ambientales que se muestran en la tabla, evaluar el riesgo higiénico, de acuerdo con la norma UNE-EN 689:1996 y el Apéndice 4 de la Guía Técnica del Real Decreto 374/2001.

Agente químico	VLA-ED (ppm)	Concentración (ppm) 1ª jornada		Concentración (ppm) 2ª jornada		Concentración (ppm) 3ª jornada	
		Funcionamiento de la rotativa	Limpieza de componentes	Funcionamiento de la rotativa	Limpieza de componentes	Funcionamiento de la rotativa	Limpieza de componentes
Tolueno	50	6	30	8	45	4	25
Xileno (mezcla de isómeros)	50	5	32	7	56	10	28
Etilbenceno	100	13	50	16	39	14	46
Acetato de etilo	400	17	45	20	45	25	38
Acetato de n-butilo	150	6	20	9	37	9	16
Alcohol isopropílico	400	11	60	15	70	9	59

SOLUCIÓN

Se calculan las correspondientes exposiciones diarias, ED, de cada agente químico haciendo la media ponderada de las concentraciones y refiriendo la media a 8 horas.

$$ED = \frac{c_1 \cdot t_1 + c_2 \cdot t_2}{\sum_i t_i} \cdot \frac{t_{exp}}{8}$$

En el caso del tolueno, para la primera jornada tendremos:

$$ED_1 = \frac{6 \cdot 7{,}5 + 30 \cdot 0{,}5}{8} \cdot \frac{8}{8} = 7{,}5 \text{ ppm}$$

Como los agentes químicos se hallan simultáneamente en la zona de respiración y tienen efectos comunes, se deben sumar sus índices de exposición (I_i) en cada jornada y obtener un índice global por jornada.

Agente químico	ED_1	ED_2	ED_3	I_1	I_2	I_3
Tolueno	7,5	10,3	5,3	0,15	0,21	0,11
Xileno (mezcla de isómeros)	6,7	10,1	11,1	0,13	0,20	0,22
Etilbenceno	15,3	17,4	16,0	0,15	0,17	0,16
Acetato de etilo	18,8	21,6	25,8	0,05	0,05	0,06
Acetato de n-butilo	6,9	10,8	9,4	0,05	0,07	0,06
Alcohol isopropílico	14,1	18,4	12,1	0,04	0,05	0,03
GLOBAL	-	-	-	**0,56**	**0,75**	**0,65**

Los tres índices resultantes (0,56, 0,75 y 0,65) son menores que 1 pero superiores a 0,25. La media geométrica de ellos:

$MG = \sqrt[3]{I_1 \cdot I_2 \cdot I_3} = 0{,}65$ es mayor que 0,5 por lo que se trata de una indeterminación que concluirá con la necesidad de plantear muestreos periódicos, medir durante más jornadas o aplicar medidas preventivas.

17 Una exposición a un agente químico de VLA-EC = 50 ppm supone aparentemente la existencia de 10 periodos de máxima exposición de 15 minutos de duración. Se muestrean 7 de ellos, obteniéndose los siguientes resultados en ppm: 10, 12, 8, 30, 15, 22 y 18. Valorar la exposición a ese agente por vía inhalatoria.

SOLUCIÓN

C	I	log I	media log(I)	desv log (I)	Z	p
10	0,2	-0,6990				
12	0,24	-0,6198				
8	0,16	-0,7959				
30	0,6	-0,2218	-0,5228	0,1998	-2,6168	0,0044
15	0,3	-0,5229				
22	0,44	-0,3565				
18	0,36	-0,4437				

La probabilidad de no superar el VLA-EC en cualquier periodo no muestreado es $(1 - p) = 0,9956$.

Como quedan $10 - 7 = 3$ periodos por muestrear, la probabilidad global de que no se supere el VLA-EC es $(1 - p)^3 = (0,9956)^3 = 0,9869 > 0,9$ (exposición aceptable).

18 La esterilización de endoscopios en un hospital supone la exposición a glutaraldehido. La operación, de principio (preparación del baño) a fin (extracción de endoscopios), dura aproximadamente 2,5 horas. En la observación del proceso se detectan 5 periodos de posible máxima exposición (que pueden durar 15 minutos). Se muestrean tres de ellos durante 15 minutos cada uno, con los resultados siguientes en mg/m^3: 0,1, 0,15, 0,08. Averiguar la probabilidad de que se supere el valor límite del glutaraldehido en un periodo no muestreado y la probabilidad global de superar el valor límite en la mencionada operación. Concluir con los resultados, sobre el riesgo derivado de la exposición.

SOLUCIÓN

VLA-EC del glutaraldehido = 0,2 mg/m^3

I_i	$\log_{10} I_i$	$\Sigma \log I_i/n$	σ_{n-1}	$Z = \frac{\Sigma \log I_i}{\sigma_{n-1}}$
$I_1 = 0,5$	-0,3010			
$I_2 = 0,75$	-0,1249	-0,2746	0,1384	-1,9843
$I_3 = 0,4$	-0,3979			

Para $Z = -1,9843$, p es 0,0236 en una distribución normal.

$1 - p = 0,9764$

Existe un 2,36% de probabilidad de que en un periodo de 15 minutos no muestreado se

supere el valor límite. La probabilidad global de que no se supere el valor límite teniendo en cuenta todos los periodos no muestreados es $(1\text{-}p)^{k-i} = 0{,}9764^2 = 0{,}9533 > 0{,}9$.

Se concluye que la probabilidad de no superar el valor límite es alta, y por lo tanto, la exposición.

19 Se desea saber el número de periodos a muestrear para la comparación con valores límite de corta duración (15 min) en una exposición de 8 horas en la que se ha observado que hay 15 posibles periodos de máxima exposición (15 minutos), si queremos que incluya al menos uno del 5% de los de mayor concentración, con un nivel de confianza del 95%.

SOLUCIÓN

$$p = \frac{\dfrac{(N - N_0)\,!}{n\,!\,(N - N_0 - n)\,!}}{\dfrac{N\,!}{n\,!\,(N - n)\,!}} = \frac{(N - N_0)\,!}{(N - N_0 - n)\,!} \cdot \frac{(N - n)\,!}{N\,!} =$$

$$= \frac{(15 - 1)\,!}{(15 - 1 - n)\,!} \cdot \frac{(15 - n)\,!}{15\,!} = \frac{14\,!}{(14 - n)\,!} \cdot \frac{(15 - n)\,!}{15\,!} = 0{,}05$$

$$\frac{15 - n}{15} = 0{,}05; \quad n = 14 \text{ periodos}$$

20 A lo largo de un año se han recogido los siguientes valores de concentraciones correspondientes a diferentes jornadas de trabajo en ppm: 190, 35, 20, 55, 180, 200, 40, 210, 30 y 150. ¿Qué conclusiones se pueden extraer acerca de la exposición si el VLA-ED de la sustancia es de 300 ppm?

SOLUCIÓN

Al ajustar los datos a una recta en papel de escala logarítmica y de probabilidad se observa que hay dos rangos de valores, por lo que el ajuste es óptimo para dos rectas. Esto significa que en realidad hay dos exposiciones claramente diferenciadas. Los motivos pueden ser múltiples pero hay que pensar en diferentes periodos de muestreo (invierno-verano), ventilación claramente cambiante, materias primas de diferente contenido o trabajadores distintos. Deberá llevarse a cabo el ajuste por separado y juzgar la exposición más relevante (media geométrica y desviación estándar geométrica).

21 Se realizan muestreos ambientales de vapores orgánicos en una exposición a disolventes con los siguientes resultados de C_8 en mg/m^3:

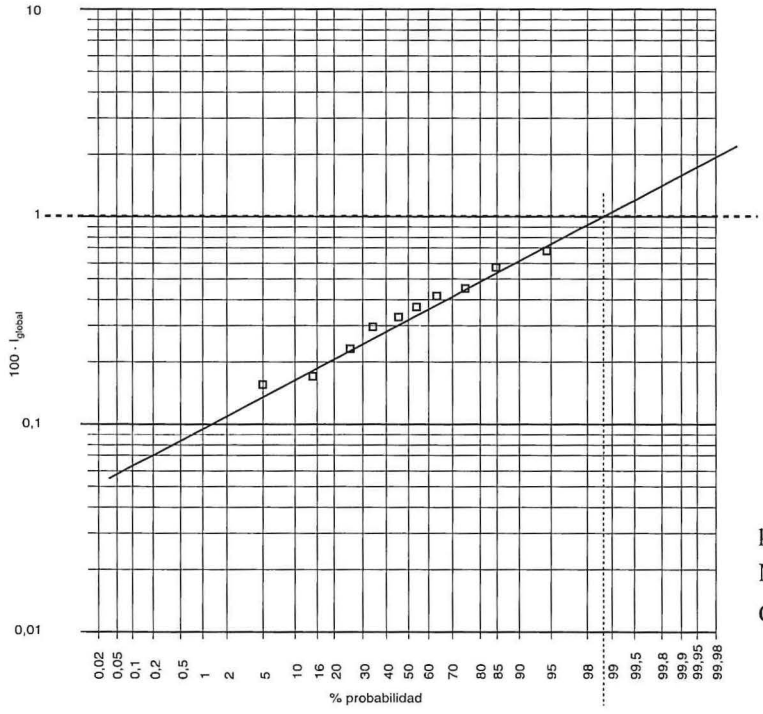
Jornada	Tolueno	MEK (Metiletilcetona)
1	29	18
2	60	25
3	70	40
4	80	60
5	95	80
6	50	30
7	30	10
8	35	12
9	72	33
10	55	20

Concluir sobre la magnitud del riesgo derivado de la exposición.

Se toman como valores límite los referenciados en el Documento "Límites Profesionales de Exposición. 2006", siendo 191 mg/m^3 para tolueno y 600 mg/m^3 para metiletilcetona.

SOLUCIÓN

Por tratarse de agentes químicos con posibles efectos aditivos deberán computarse los índices suma de los parciales. Con ellos se ajusta la recta lognormal como se indica.



p = 1 – 0,985 = 0,015

MG = 0,33

GSD = 0,52/0,33 = 1,575

% prob.	C_8 (Tolueno)	C_8 (MEK)	$I_{tolueno}$	I_{MEK}	I_{global}
5	29	10	0,15	0,02	0,17
15	30	12	0,16	0,02	0,18
25	35	18	0,19	0,03	0,22
35	50	20	0,27	0,03	0,30
45	55	25	0,29	0,04	0,33
55	60	30	0,32	0,05	0,37
65	70	33	0,37	0,06	0,43
75	72	40	0,38	0,07	0,45
85	80	60	0,43	0,10	0,53
95	95	80	0,51	0,14	0,64

La media geométrica es baja (0,33 respecto a 1), pero la GSD es relativamente alta, aunque inferior a 2. La situación parece aceptable. No obstante, con el restrictivo criterio de la norma UNE-EN 689:1996, la probabilidad de superar el valor límite en un día de exposición es p = 0,071 (0,71%) superior a 0,001 (0,1%) que fija la norma. Sería conveniente plantear un muestreo periódico de frecuencia alta para controlar el riesgo.

22 Durante 7 jornadas diferentes se toman muestras de un aerosol que tiene un valor límite ambiental de exposición diaria VLA-ED = 3 mg/m^3. Cada jornada se muestrea completa con dos filtros durante 4 horas cada uno, con ayuda de un muestreador cuyo caudal es de 3 litros/minuto. La exposición dura 8 horas diarias. Los resultados se indican a continuación.

Jornada	1ª muestra (µg)	2ª muestra (µg)
1	1.019	1.351
2	1.366	1.147
3	1.958	1.070
4	1.310	892
5	1.123	902
6	1.904	1.441
7	1.340	1.204

Valorar la exposición según establece la norma UNE-EN 689:1996, basándose en la probabilidad de superar el valor límite, y recomendar, si es necesaria, la adopción de algún tipo de acción o planificación en este caso.

SOLUCIÓN

M1 (µg)	M2 (µg)	Caudal (l/min)	Tiempo muestreo	C_8 (mg/m³)	I = C_8/VLA	log I_i
1.019	1351	3	4	1,646	0,55	-0,261
1.366	1147	3	4	1,745	0,58	-0,235
1.958	1070	3	4	2,103	0,70	-0,154
1.310	892	3	4	1,529	0,51	-0,293
1.123	902	3	4	1,406	0,47	-0,329
1.904	1441	3	4	2,323	0,77	-0,111
1.340	1204	3	4	1,767	0,59	-0,230

Desv	GSD	Z	p	1-p
0,0759	1,191	-3,036	0,0012	0,9988
				99,88%

La probabilidad de superar el valor límite es 0,12%, ligeramente superior a lo que establece la norma UNE-EN 689:1996 (0,1%), por lo que se debería proceder al muestreo periódico.

23 En un laboratorio de anatomía patológica se utilizan habitualmente disoluciones de glutaraldehído (VLA-EC = 0,2 mg/m³), siendo la duración de la exposición a glutaraldehido de 8 horas/día. Se toman 5 muestras de 15 minutos representativas de 5 de los 7 periodos en que previsiblemente se producirá la mayor emisión de glutaraldehido al ambiente. Se han obtenido los siguientes resultados en mg/m³: 0,054; 0,043; 0,108; 0,092 y 0,124. Concluir sobre la exposición a glutaraldehido.

SOLUCIÓN

C (mg/m³)	Índice	log I_i
0,054	0,27	-0,568600
0,043	0,22	-0,657577
0,108	0,54	-0,267606
0,092	0,46	-0,337242
0,124	0,62	-0,207608

σ_{n-1}	media aritmética	MG_{conc}	GSD	z	p (superar)	(1-p)	(1-p) global = $(1-p)^{7-5}$
0,1982	-0,4089	0,39	1,58	-2,06	0,0195	0,9805	0,9614
							96,14%

Se puede aceptar la exposición puesto que la probabilidad global de cumplir con el VLA-EC es mayor del 90%.

24 En un proceso electrolítico en el que se utiliza cianuro de potasio (cuyo VLA-EC es 5 mg/m^3) se desea evaluar la exposición por vía inhalatoria. Se toman 7 muestras de 15 minutos de duración durante sendos periodos de igual duración, cuyos resultados en mg/m^3 son los siguientes:

3; 2,3; 1,9; 4; 1,4; 3; 2,5

Suponiendo que en total existen 16 periodos de posible máxima exposición durante la jornada, valorar el riesgo derivado de la exposición.

SOLUCIÓN

z	p (superar)	1-p	(1-p) global = $(1-p)^{16-7}$
-2,0660	0,01941	0,98059	0,83827

Al ser la probabilidad global de no superar el VLA-EC menor que 0,9 y mayor que 0,1, existe incertidumbre respecto a la magnitud de la exposición, por lo que se deben muestrear más periodos o adoptar medidas de prevención.

25 Un individuo trabaja expuesto a aerosoles de un agente químico irritante durante 8 horas al día. El VLA-EC de este agente es de 3 mg/m^3. Observando el trabajo se distinguen 8 periodos en los que la exposición puede ser más elevada que en el resto. En 5 de ellos se toman sendas muestras de aerosoles de ese agente químico, de 15 minutos de duración cada una, cuyos resultados son en mg/m^3: 2; 2,5; 1,3; 1,2; 1,45.

Hallar la probabilidad global en los periodos no muestreados, de que la concentración sea inferior al VLA-EC e indicar la conclusión de la valoración.

SOLUCIÓN

C (mg/m^3)	I	Log I	I_{med}	s_{n-1}	z	p
2	0,667	-0,176	-0,266	0,1344	-1,979	0,0239
2,5	0,833	-0,079				
1,3	0,433	-0,363				
1,2	0,4	-0,398				
1,45	0,483	-0,316				

1-p = 0,9761

$(1-p)_{global} = (1-p)^{8-5} = 0,9300$

Se acepta la exposición puesto que la probabilidad global de no superar el VLA-EC es mayor de 0,9 (o del 90%).

26 En un proceso industrial de plateado electrolítico se han medido concentraciones ambientales de cianuros (cianuro potásico) en periodos de 15 minutos, coincidiendo cuando la densidad de corriente eléctrica alcanza los valores más altos. Los resultados son: 1 mg/m^3; 0,5 mg/m^3; 1,2 mg/m^3; 0,92 mg/m^3, y 1,5 mg/m^3. Teniendo en cuenta que durante la jornada laboral se producen 13 subidas del consumo eléctrico, valorar la exposición de los trabajadores del proceso.

SOLUCIÓN

C (mg/m^3)	I	log I	σ_{n-1}	L_{media}	MG	GSD	Z	p	1-p	$(1-p)^8$
1	0,200	-0,6990								
0,5	0,100	-1,0000								
1,2	0,240	-0,6198	0,1788	-0,7154	0,19	1,51	-4,0011	0,00003	0,99997	0,99975
0,92	0,184	-0,7352								
1,5	0,300	-0,5229								

$(1 - p)^8 > 0,90$ por lo que se acepta la exposición.

3. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS

Ventilación general por dilución

1 Una nave industrial de dimensiones 15 m por 35 m y 4 m de altura dispone de un sistema de ventilación que extrae 6.000 m^3/h. En la nave se usa una pintura con un contenido en disolvente del 25% durante 8 horas siendo su consumo de 20 kg de pintura por día. Valorar si el caudal extraído es suficiente para mantener una concentración inferior a 250 mg/m^3 del disolvente contenido en la pintura. Considerar que es necesario un factor de seguridad de 5, como mínimo.

SOLUCIÓN

$Q = K\ (G/C)$

$G = 20 \cdot 0{,}25\ kg/8\ h = 0{,}625\ kg/h = 625 \cdot 10^3\ mg/h$

$C = 250\ mg/m^3$

$K = 5$

$Q = 5 \cdot (625 \cdot 10^3/250) = 12.500\ m^3/h$

El caudal real requerido es de 12.500 m^3/h. Por lo tanto los 6.000 m^3/h que extrae el sistema no son suficientes para mantener la concentración por debajo de 250 mg/m^3.

2 Estimar el caudal de ventilación (en m^3/h) en una oficina en la que trabajan 6 personas de forma permanente, sabiendo que hacia el final de la mañana se ha medido una concentración de CO_2 de 1.500 ppm. Juzgar la situación desde el punto de vista higiénico y de confort.

Datos adicionales:

Volumen del local: 150 m^3

El trabajo es sedentario y se puede admitir que la velocidad de generación de CO_2 es de 0,018 $m^3/(h \cdot persona)$.

Existe la prohibición de fumar.

El valor VLA-ED para el CO_2 es de 5.000 ppm

La concentración de CO_2 en la calle es de 420 ppm

SOLUCIÓN

$Q = G/C$

$$Q = \frac{0{,}018\ \frac{m^3}{h\ .\ pers} \cdot 6\ pers}{(1.500 - 420) \cdot 10^{-6}} = 100\ m^3/h$$

El Real Decreto 486/1997 de Lugares de Trabajo establece un mínimo de 30 m^3/h·pers, o sea en este caso 180 m^3/h. No se trata de un problema higiénico (el contaminante es CO_2, con un valor límite muy por encima del valor medido), pero la situación es incorrecta desde el punto de vista del confort y no cumple con el mínimo de ventilación establecido en el Real Decreto 486/1997.

3 En una fábrica de sandalias se utiliza un disolvente que está compuesto por xileno (70%), acetona (15%) y butilcellosolve (2-butoxietanol) (15%). La tasa de evaporación del disolvente es de 2 l/h ¿Cuál es el caudal de ventilación general mínimo necesario?

Datos adicionales:

Peso molecular (g/mol): xileno: 106; acetona: 58; butilcellosolve: 118

Densidad (kg/l): xileno: 0,87; acetona: 0,79; butilcellosolve: 0,90

VLA-ED: xileno: 50 ppm; acetona: 500 ppm; butilcellosolve: 20 ppm

Puesto que se solicita el caudal mínimo, considérese un factor de seguridad unidad.

SOLUCIÓN

El consumo de los 3 disolventes es:

1,4 l/h de xileno

0,3 l/h de acetona

0,3 l/h de butilcellosolve

El caudal para cada disolvente es:

$$Q_{xileno} = 1 \cdot \frac{24 \cdot 0{,}87 \cdot 1{,}4 \cdot 10^6}{106 \cdot 50} = 5.515{,}4\ m^3/h$$

$$Q_{acetona} = 1 \cdot \frac{24 \cdot 0{,}79 \cdot 0{,}3 \cdot 10^6}{58 \cdot 500} = 196{,}4\ m^3/h$$

$$Q_{butilcellosolve} = 1 \cdot \frac{24 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}3 \cdot 10^6}{118 \cdot 20} = 2.745{,}8\ m^3/h$$

El caudal necesario será la suma de los tres, puesto que se consideran efectos aditivos: $Q = 8.457{,}6\ m^3/h$

4 En una fábrica de calzado se utiliza un disolvente que está compuesto por xileno. La tasa de evaporación del disolvente es de 2,5 l/h, y su densidad de 850 kg/m^3. ¿Cuál es el caudal de ventilación general mínimo necesario? Expresar el resultado en m^3/h.

Datos adicionales:

Peso molecular xileno: 106 g/mol

VLA-ED xileno: 50 ppm

Puesto que se solicita el caudal mínimo, considérese un factor de seguridad unidad.

SOLUCIÓN

$$Q = K \cdot \frac{24\ d\ E}{M\ C} = 1 \cdot \frac{24 \cdot \frac{850}{1.000} \cdot 2{,}5 \cdot 10^6}{106 \cdot 50} = 9.662{,}6\ m^3/h$$

5 Las piezas barnizadas en un taller de dimensiones 8 m por 25 m por 3 m de altura, se introducen en un horno (80ºC) para su completo secado. Para la ventilación del horno se toma aire del local y se expulsa al mismo.

El barniz consiste en una mezcla de resina y disolvente (xileno) en una proporción 70:30. El contenido de volátiles (xileno) de la resina es del 50%.

El consumo estimado de barniz es de 100 l/día y se estima que un 80% de los compuestos volátiles se evapora antes de introducir las piezas en el horno, mientras que el 20% restante se evapora en el horno que trabaja en continuo. Estas operaciones se desarrollan durante 6 horas de la jornada laboral.

Se pide:

a) Calcular la ventilación necesaria para el control de los riesgos para la salud.

b) Calcular la ventilación para el control del riesgo de incendio y explosión.

Otros datos:

Límite inferior de inflamabilidad (LII) del xileno: 1%

Factor de seguridad: 4

B = 1

Densidad del xileno: 0,87 kg/l

VLA - ED xileno: 50 ppm

SOLUCIÓN

Cantidad de volátiles:

Consumo de barniz: 100 l/día · 0,70 = 70 l/día

Consumo diluyente: 100 l/día · 0,30 = 30 l/día

Evaporación de volátiles:

Resina: 70 l/día·0,50 = 35 l/día

Diluyente: 30 l/día

Total: 65 l/día; 65 l/día/ 6h = 11 l/h

a) Ventilación para el control de riesgos para la salud:

$$Q' = \left[(24 \cdot 0{,}87 \cdot 11) / (106 \cdot 50)\right] \cdot 10^6 = 43.336 \text{ m}^3/\text{h}$$

b) Ventilación para el control del riesgo de incendio y explosión:

En el horno se evapora el 20% del total de volátiles, 11 l/h · 0,2 = 2,2 l/h

$$Q = \frac{24 \ d \ E \ F_s}{M \ (LII) \ B} \cdot 100$$

$$Q = \frac{24 \cdot 0{,}87 \cdot 2{,}2 \cdot 4}{106 \cdot (10.000 - 50) \cdot 1} \cdot 10^6 = 174{,}22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{total} = Q_{std} \left(\frac{273 + T}{273 + 20} \right)$$

$$Q_{total} = 174{,}22 \left(\frac{273 + 80}{273 + 20} \right) = 210 \text{ m}^3/\text{h}$$

6 En una fundición se utiliza un mezclador discontinuo de 1,8 m de diámetro para mezclar arena con la resina. En cada carga se introducen en el mezclador 180 kg de arena, 8,5 kg de resina y 4 l de alcohol etílico en ciclos de 10 minutos. Se estima que el alcohol se evapora en los primeros dos minutos. ¿Cuál es el caudal de ventilación necesario para evitar que se forme una mezcla explosiva en el interior del mezclador?

Datos adicionales:

Peso específico del alcohol: 0,789 kg/l

Peso molecular del alcohol: 46 g/mol

Límite inferior de inflamabilidad (LII): 3,28%

Se recomienda utilizar un factor de seguridad de 4.

SOLUCIÓN

Durante los dos minutos de evaporación del alcohol, el volumen de vapor es:

$4 \cdot 0{,}789 \cdot 24{,}2 / 46 = 1{,}66$ m³ de alcohol

Para que la concentración no supere el valor de 3,28% se necesitarán:

$1{,}66 / 0{,}0328 = 50{,}6$ m³ de aire, que incrementados con el factor de seguridad serán:

$50{,}6 \cdot 4 = 202$ m³ de aire en dos minutos, esto es 6.060 m³/h

7 El metilcloroformo contenido en un depósito se evapora a una velocidad de 0,95 l/hora. Se pretende diseñar un sistema de ventilación general por dilución para el control de riesgos para la salud.

La jornada de trabajo es de 24 horas dividida en tres turnos de 8 horas (6 h a 14 h, 14 h a 22 h y 22 h a 6 h). Durante el tercer turno el proceso productivo se detiene y los trabajadores se dedican a realizar otras tareas.

Calcular:

a) El caudal efectivo de ventilación para el control de riesgos para la salud.

b) El tiempo que se tardará en alcanzar una concentración de aproximadamente el valor límite (calcular sobre 345 ppm) suponiendo que la concentración inicial es cero.

c) La concentración existente en el local al iniciarse de nuevo el proceso productivo, teniendo en cuenta que el sistema de ventilación que se implante seguirá funcionando durante el tercer turno a pesar de que el proceso productivo está detenido. La concentración de partida será la que exista al finalizar el segundo turno, es decir, la concentración al cabo de 16 horas.

Otros datos:

Volumen de la nave: 2.500 m³/h

Peso molecular del metilcloroformo: 133,4 kg/kmol

Densidad del metilcloroformo: 1,32 kg/l

VLA-ED del metilcloroformo: 350 ppm

SOLUCIÓN

a) Cálculo del caudal efectivo de ventilación:

$Q' = G/C$

$G = (24\ d\ E)/M$; $G = 24 \cdot 1{,}32 \cdot 0{,}95/133{,}4 = 0{,}2256$ m³ metilcloroformo/h

$Q' = [(24\ d\ E)/(M\ C)] \cdot 10^6$

$Q' = [(24 \cdot 1{,}32 \cdot 0{,}95) / (133{,}4 \cdot 350] \cdot 10^6 = 644,57$ m³ aire/h

b) Cálculo del tiempo que se tardará en alcanzar una concentración de 345 ppm:

$$\Delta t = -\frac{V}{Q'}\left[\ln\left(\frac{G - Q'\ C_2}{G}\right)\right]$$

$$\Delta t = -\frac{2.500}{644,57} \cdot \left[\ln \left(\frac{0,2256 - 644,57 \cdot 345 \cdot 10^{-6}}{0,2256} \right) \right] = 16,48 \text{ h}$$

c) La concentración de metilcloroformo que habrá en el local al iniciarse el proceso productivo.

Consideramos que la concentración al final del segundo turno es de 345 ppm aproximadamente.

$$C_2 = C_1 \, e^{\left(-\frac{Q' \cdot \Delta t}{V}\right)}$$

$$C_2 = 345 \, e^{\left(-\frac{644,57 \cdot 8}{2.500}\right)} = 43,9 \text{ ppm}$$

8 Las piezas barnizadas en un taller de 8 m por 25 m y 3 m de altura se introducen en un horno (80 °C) para su completo secado. Para la ventilación del horno se toma aire del exterior. El barniz consiste en una mezcla de resina y disolvente (xileno) en una proporción 70:30. El consumo estimado de barniz es de 100 l/día. Estas operaciones se desarrollan durante 6 horas de la jornada laboral.

a) Suponiendo que el 80% del disolvente se evapora en el taller, antes de introducir las piezas en el horno, se pide:

a.1) Estimar la generación de volátiles, teniendo en cuenta que se extraen los vapores del horno al exterior del taller.

a.2) Calcular la ventilación necesaria para el control de los riesgos para la salud.

b) Partiendo de los datos del enunciado y teniendo en cuenta que las piezas que se introducen en el horno no están completamente secas (suponer que un 20% del disolvente se evapora en el interior del horno), calcular la ventilación necesaria para el control del riesgo de incendio y explosión en el horno.

Otros datos:

Peso molecular del xileno: 106 kg/kmol

Densidad del xileno: 0,87 kg/l

VLA-ED del xileno: 50 ppm

Límite inferior de inflamabilidad (LII) del xileno: 1%

Factor de seguridad: 4

B = 1

SOLUCIÓN

a.1) Generación de volátiles:

Consumo disolvente: 100 l/día·0,30 = 30 l/día

Evaporación de volátiles:

30 l/día/6 h = 5 l/h

5 l/h·0,80 = 4 l/h evaporados en el taller.

a.2) La ventilación para el control de riesgos para la salud:

$Q' = [(24 \cdot 0{,}87 \cdot 4) / (106 \cdot 50)] \cdot 10^6 = 15.758{,}5\ m^3/h$

b) La ventilación para el control del riesgo de incendio y explosión:

Evaporación de volátiles en el horno:

5 l/h·0,20 = 1 l/h

$$Q = \frac{24\ d\ E\ F_s}{M\ (LII)\ B} \cdot 100$$

$$Q = \frac{24 \cdot 0{,}87 \cdot 4 \cdot 4}{106 \cdot (10.000 - 50) \cdot 1} \cdot 10^6 = 316{,}8\ m^3/h$$

$$Q_{total} = Q_{std} \left(\frac{273 + T}{273 + 20} \right)$$

$$Q_{total} = 316{,}8 \left(\frac{273 + 80}{273 + 20} \right) = 381{,}8\ m^3/h$$

9 Se ha realizado un estudio en un aparcamiento subterráneo que tiene una superficie de 2.000 m^2 y una altura de 2,4 m. La capacidad es de 200 vehículos y, en promedio, se registran unas 400 circulaciones al día, con puntas de circulación de 30 coches en 15 minutos. El tiempo aproximado de circulación de los coches en el aparcamiento es de 2 minutos.

La emisión medida de monóxido de carbono (CO) es de 20 l/min · vehículo.

La ventilación cumple, según especificaciones del proyecto, con lo dispuesto en las ordenanzas municipales: 6 renovaciones por hora. El suministro de aire se realiza por conductos de impulsión, mientras que la extracción se lleva a cabo a través de las rampas de acceso al aparcamiento. La ventilación funciona un promedio de 20 horas al día.

Se pide:

a) Valorar la situación desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales.

b) Determinar la concentración máxima que se puede esperar.

c) Proponer modificaciones, si es el caso. Justificar su eficacia.

d) Qué caudal de aire sería necesario para mantener la concentración a la mitad del valor límite.

SOLUCIÓN

a) La ventilación del aparcamiento:

2.000 $m^2 \cdot 2{,}4$ m · 6 renovaciones/h = 28.800 m^3/h = 480 m^3/min

Valor medio diario de la concentración de CO:

(400 vehículos/20 h) · 2 min · 20 l/min·vehículo = 800 l/h (generación de CO)

$C = G/Q$; $C = [(800 \text{ l/h})/(28.800 \text{ m}^3/\text{h})] \cdot 10^6 = 28$ ppm > 25 ppm, que es el VL.

Por lo tanto, la ventilación es insuficiente.

b) Concentración máxima esperable:

(30 vehículos/15 min)·(2 min) · (20 l/min·vehículos) = 80 l/min

$C_{max} = [(0{,}08 \text{ m}^3/\text{min})/(480 \text{ m}^3/\text{min})] \cdot 10^6 = 166{,}6$ ppm

Esta concentración supera unas seis veces el valor límite para exposición diaria, por lo que la situación es incorrecta (límites de desviación).

c) La ventilación es insuficiente. El criterio de la norma UNE 100-011-91 es, para aparcamientos, de 5 l/s·m^2, lo que supondría una ventilación de:

(2.000 m^2)·(5 l/s·m^2)·3,6 = 36.000 m^3/h = 600 m^3/min

Si la generación media es de 800 l/h, el valor medio de la concentración será:

$[(0{,}8 \text{ m}^3/\text{h})/(36.000 \text{ m}^3/\text{h})] \cdot 10^6 = 22$ ppm de CO

Sin embargo la concentración máxima:

$[(0{,}08 \text{ m}^3/\text{h})/(600 \text{ m}^3/\text{h})] \cdot 10^6 = 133$ ppm, que supera ligeramente los límites de desviación (LD)

Hay que mejorar la ventilación.

d) Ahora bien, si calculamos la ventilación para mantener la concentración de CO a la mitad del valor límite:

$Q = [(0{,}8 \text{ m}^3/\text{h})/(12{,}5 \text{ ppm})] \cdot 10^6 = 64.000 \text{ m}^3/\text{h} = 1.066{,}6 \text{ m}^3/\text{min}$

En estas condiciones el valor máximo de la concentración de CO:

$C = (80.000/1.066{,}6) \cdot 10^6 = 75$ ppm, que cumple con los criterios de no superación de los límites de desviación.

10 Un taller de ebanistería, situado en los bajos de un edificio de viviendas, tiene unas dimensiones de 10 m por 25 m y 3 m de altura. En el taller trabajan 3 personas con una jornada laboral de 8 horas. Uno de los trabajadores se ocupa de las tareas de barnizado que se realiza mediante aplicación con pistola aerográfica.

El barniz se prepara antes de su utilización y consiste en una mezcla de resina y disolvente, en una proporción de un 80% de resina sin diluir (con un contenido en volátiles del 50%) y un 20% de disolvente. El consumo diario se estima en unos 80 litros.

El análisis de la composición del disolvente y de los compuestos volátiles de la resina revela los siguientes datos, en volumen: xileno, 10%; tolueno, 5%; acetato de etilo, 35%; metiletilcetona, 50%.

Se pide:

a) La cantidad de volátiles evaporados diariamente.

b) Definir el criterio de diseño de ventilación más adecuado para la situación de trabajo planteada.

c) Dimensionar el sistema.

d) Calcular el tiempo en que se alcanzará una concentración del 90% de la alcanzada en la fase estacionaria.

e) Calcular el tiempo que tarda la concentración en disminuir a la mitad tras cesar la actividad.

Otros datos:

Compuesto	Peso molecular (g/mol)	Densidad (kg/l)	Valor límite (ppm)
Xileno	106	0,87	50
Tolueno	92	0,87	50
Acetato de etilo	88	0,90	400
Metiletilcetona	72	0,81	200

Supóngase una K = 4

SOLUCIÓN

a) Cantidad de volátiles:

Consumo de barniz: 80 l/día · 0,80 = 64 l/día

Consumo diluyente: 80 l/día · 0,20 = 16 l/día

Evaporación de volátiles:

Resina: 64 l/día · 0,50 = 32 l/día

Diluyente: 16 l/día

Total: 48 l/día; 48 l/día/8 h = 6 l/h

Composición de volátiles:

Xileno (10%): 6 l/h·0,10 = 0,6 l/h

Tolueno (5%): 6 l/h·0,05 = 0,3 l/h

Acetato de etilo (35%): 6 l/h·0,35 = 2,1 l/h

Metiletilcetona (50%): 6 l/h·0,50 = 3 l/h

b) La ventilación debe diseñarse teniendo en cuenta la cantidad de volátiles evaporada con

el objetivo de mantener la concentración de los productos químicos por debajo de los límites recomendados.

c) Caudal de ventilación:

$Q'_{xil} = [(24 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}6)/(106 \cdot 50)] \cdot 10^6 = 2.364\ m^3/h$

$Q'_{Tol} = [(24 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}3)/(92 \cdot 50)] \cdot 10^6 = 1.362\ m^3/h$

$Q'_{Ac.Etn} = [(24 \cdot 0{,}90 \cdot 2{,}1)/(88 \cdot 400)] \cdot 10^6 = 1.289\ m^3/h$

$Q'_{MEK} = [(24 \cdot 0{,}81 \cdot 3)/(72 \cdot 200)] \cdot 10^6 = 4.050\ m^3/h$

$Q'_{Total} = 9.065\ m^3/h$; $Q_{Total} = 9.065 \cdot 4 = 36.260\ m^3/h$

La entrada de aire deberá tener una sección que permita obtener una velocidad inferior a 2 m/s, para evitar sensación de corriente de aire.

Sección = Q/v ; $S = 36.260/(3.600 \cdot 2) = 5\ m^2$

Esto puede suponer una rendija de 0,5 m a lo largo de la fachada de 10 m, o bien una rendija de 0,2 m a lo largo de la fachada de 25 m.

d) $C_i = G_i / Q'_{Total}$

El resultado será el mismo con cualquiera de los componentes de la mezcla. Se toman aquí los datos intermedios correspondientes al tolueno.

$G_{Tol} = 0{,}068\ m^3/h$

$C_{Tol} = 7{,}5$ ppm

$0{,}9 \cdot C_{Tol} = 6{,}7$ ppm

$$\Delta t = -\frac{V}{Q'} \cdot \left[\ln \left(\frac{G - Q'C_2}{G} \right) \right]$$

$$\Delta t = -\frac{750}{9.065} \cdot \left[\ln \left(\frac{0{,}068 - 9.065 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-6}}{0{,}068} \right) \right] = 0{,}18h = 11min$$

e)

$$\Delta t = -\frac{V}{Q'} \cdot \left[\ln \left(\frac{C_2}{C_1} \right) \right]$$

Si $C_1 = 2 \cdot C_2$

$$\Delta t = -\frac{750}{9.065} \cdot \left[\ln \left(\frac{1}{2} \right) \right] = 0{,}057\ h = 4\ min$$

4. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS

Ventilación por extracción localizada

1 Se prevé instalar en un proceso de soldadura una campana exterior de aspiración de boca circular de 20 cm de diámetro.

a) ¿A qué distancia deberá situarse para que la velocidad en el foco sea de 0,75 m/s si el caudal que proporciona el ventilador es de 0,49 m^3/s?

b) ¿Cuál será el caudal necesario en m^3/h, para que la velocidad sea de 1 m/s a 30 cm?

c) Dibujar la curva de velocidad de captura en función de la distancia desde 5 cm hasta 50 cm para un caudal de 0,49 m^3/s.

SOLUCIÓN

a) Es adecuada la siguiente ecuación de DallaValle:

$Q = 0{,}75 \cdot (10x^2 + \pi r^2) = 0{,}75 \cdot [10x^2 + \pi\ (0{,}1)^2]$

Despejando x, la distancia resulta ser de 25 cm.

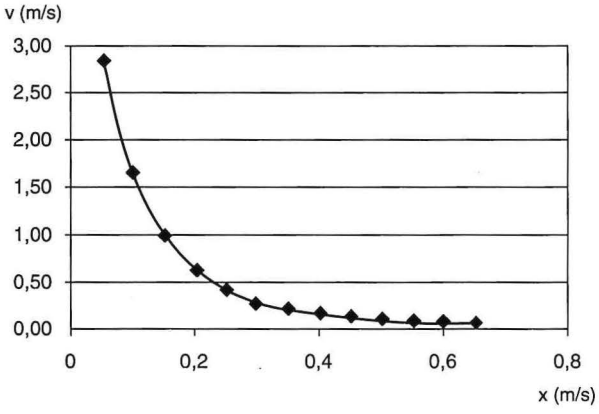
b) Si queremos que la velocidad sea de 1 m/s a 30 cm de distancia, el caudal será mucho mayor:

$Q = 1 \cdot [10 \cdot (0{,}3)^2 + \pi\ (0{,}1)^2] = 0{,}93\ m^3/s = 3.348\ m^3/h$

c) Para trazar la curva se dan distintos valores a la distancia y se calculan las velocidades correspondientes:

$v = 0{,}49 / (10\ x^2 + 0{,}03)$

x (m)	v (m/s)
0,05	8,9
0,1	3,8
0,15	1,9
0,2	1,1
0,3	0,5
0,4	0,3
0,5	0,2



2 La aspiración que produce un aspirador doméstico es despreciable a 10 cm de la boquilla (dimensiones de la boquilla: 2 cm por 4 cm). ¿Cuál es el caudal del aspirador? (Considerar la aspiración despreciable cuando la velocidad sea inferior a 0,25 m/s.)

SOLUCIÓN

$$Q = 0{,}25 \cdot [10 \cdot (0{,}1)^2 + 0{,}0008] = 0{,}0252 \text{ m}^3/\text{s} = 90{,}72 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal es extremadamente bajo; sin embargo, aspirando a muy poca distancia (que es como se usan los aspiradores) el sistema es eficaz.

3 Considerando un tramo de conducto con las siguientes características en dos puntos, 1 y 2:

$v_1 = 25$ m/s

$\varnothing_1 = 45$ cm

$\varnothing_2 = 60$ cm

Calcular:

a) Q_1 en m^3/h

b) Q_2 en m^3/h

c) v_2 en m/s

d) PD_1 y PD_2

e) Si la pérdida de carga (PC) entre 1 y 2 es 15 mm cda, calcular la diferencia de presiones estáticas entre estos dos puntos.

SOLUCIÓN

a) $Q_1 = v_1 S_1 = 25 (\pi \cdot 0{,}225^2) = 4{,}0 \text{ m}^3/\text{s} = 14.314 \text{ m}^3/\text{h}$

b) $Q_2 = 14.314 \text{ m}^3/\text{h}$ por aplicación de la ecuación de continuidad, puesto que se trata de un sistema de una sola rama.

c) $v_2 = 14{,}06$ m/s

d) $PD_1 = 38{,}2$ mm cda y $PD_2 = 12{,}1$ mm cda

e) $PD_1 + PE_1 = PD_2 + PE_2 + PC_{1:2}$
$\Delta PE = 38{,}2 - 12{,}1 - 15 = 11{,}1$ mm cda

4 En un proceso de soldadura de piezas sobre una estructura metálica se instala una campana móvil con pestaña perimetral y con un brazo articulado, de forma que la máxima distancia a la que quedará la campana de la pieza será de 40 cm. Por motivos de espacio la campana no debería exceder las dimensiones de 0,1 m por 0,2 m.

Calcular el caudal necesario en esta campana de extracción, teniendo en cuenta que en el local pueden existir corrientes de aire distorsionantes que pueden afectar al funcionamiento de la campana. Expresar el resultado en m^3/h.

¿Qué diámetro máximo ha de tener el conducto para que el aire contaminado circule correctamente?

SOLUCIÓN

La velocidad de captura para operaciones de soldadura es de 0,5 a 1 m/s. Se toma el límite superior por las corrientes de aire en el local.

Tipo de campana: campana simple (ecuaciones de DallaValle)

Se cumple el factor de forma: $w/L = 0,1/0,2 = 0,5$

El caudal responde a la ecuación:

$$Q = 0,75\ v\ (10x^2 + A) = 0,75 \cdot 1 \cdot [10 \cdot (0,4)^2 + (0,1 \cdot 0,2)] = 1,22\ m^3/s = 4.374\ m^3/h$$

Diámetro máximo: se escoge una velocidad en conducto de 10-12,5 m/s (para diámetro máximo, la menor).

$$Q = v\ S;\ 1,22/10 = \pi\phi^2/4$$

$\phi = 0,35$ m (o sea, 30 o 35 cm, redondear por defecto para asegurar que la velocidad no es inferior a 10 m/s).

5 En una cocina industrial se desea instalar un sistema de evacuación de humos consistente en una campana suspendida encima de la misma. Las dimensiones de sus lados serán 1,5 m de largo y 0,8 m de ancho. El diámetro del conducto que sigue a la campana será de 0,5 m. Determinar la distancia máxima a la que debe colocarse la campana por encima de los fogones.

Considerar las tablas de velocidad de captura y de conducto y razonar los datos elegidos.

SOLUCIÓN

Humos de combustión: velocidad de conducto, 10 m/s es adecuada (en tabla de velocidades en conducto aparece como "indiferente").

$$Q = 10\ (\pi\phi^2/4) = 2,0\ m^3/s$$

Humos de combustión: velocidad de captura, 0,5 m/s (entre 0,5 y 1 m/s es adecuado).

$Q = 1,4\ P\ v\ H$ (según ecuaciones de DallaValle)

$2,0 = 1,4 \cdot [(1,5 + 0,8) \cdot 2] \cdot 0,5 \cdot H$; $H = 0,62$ m; o sea, aproximadamente 60 cm.

6 En un punto de un sistema de extracción localizada se mide:

La presión dinámica con un tubo de Pitot: 21 mm cda,

La presión estática con un manómetro en U: – 45 mm cda.

El diámetro del conducto es de 50 cm. Calcular:

a) La velocidad del fluido en el punto de medida.

b) El caudal de aire que circula por el sistema.

c) La presión total en el punto de medida.

d) La pérdida de carga desde la entrada del sistema hasta el punto de medida.

SOLUCIÓN

a) $v = 4{,}043 \sqrt{PD}$; $v = 18{,}5$ m/s

b) $Q = 18{,}5\ \pi\ (0{,}25)^2 = 3{,}64$ m³/s

c) $PT = 21 + (-45) = -24$ mm cda

d) $0 = -24 + PC$; $PC = 24$ mm cda

7 El caudal que circula por un sistema de extracción localizada es de 0,75 m³/s. La sección del conducto es de 0,05 m. Calcular:

a) La velocidad en el conducto.

b) La presión dinámica en el conducto.

c) La distancia máxima de la campana al foco si se quiere tener una velocidad de captura de 0,5 m/s, y es una campana simple cuadrada de 12 cm de lado.

SOLUCIÓN

a) $Q = v\ S$; $v = 0{,}75/0{,}05 = 15$ m/s

b) $PD = \left[\dfrac{v}{4{,}043}\right]$; $PD = 13{,}8$ mm cda

c) $x = \sqrt{\dfrac{(Q/v) - A}{10}}$; $x = 38{,}5$ cm

8 En un proceso de desbarbado situado en una sala pequeña, sin entradas y salidas de trabajadores, se necesita instalar un sistema de extracción localizada. Plantear los datos iniciales de diseño (campanas, conductos).

SOLUCIÓN

$v_{captura}$: 2,5-10 m/s (tomaremos la menor, por ser sala pequeña sin entradas ni salidas de personal)

$v_{conducto}$: 17,5-20 m/s

Planteamos que la distancia máxima (u óptima) foco-campana será de 40 cm.

Los diseños pueden ser varios:

a) Para una campana simple:

30 cm diámetro, boca circular

$Q = v\ (10\ x^2 + A)$; $Q = 2{,}5 \cdot [10 \cdot (0{,}4)^2 + \pi\ (0{,}15)^2] = 4{,}18\ m^3/s$

$4{,}18 = 20 \cdot (\pi\phi^2/4)$; $\phi = 0{,}515$ m; $\phi = 50$ cm

b) Para una campana simple con pestaña:

30 cm diámetro, boca circular

$Q = 0{,}75\ v\ (10\ x^2 + A)$; $Q = 0{,}75 \cdot 2{,}5 \cdot [10 \cdot (0{,}4)^2 + \pi\ (0{,}15)^2] = 3{,}14\ m^3/s$

$3{,}14 = 20 \cdot (\pi\phi^2/4)$; $\phi = 0{,}45$ m; $\phi = 45$ ó 50, redondeando siempre por defecto para evitar que la velocidad sea menor que la de diseño.

c) Para una campana tipo rendija:

$L = 30$ cm

$W = 3$ cm; $w/L = 0{,}1$

$Q = 3{,}7\ L\ v\ x = 3{,}7 \cdot 0{,}3 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}4 = 1{,}11\ m^3/s$

$1{,}11 = 20 \cdot (\pi\phi^2/4)$; $\phi = 0{,}27$ cm; $\phi = 20$ ó 25 cm

9 Las mediciones realizadas en un conducto de extracción localizada han dado los resultados siguientes:

Diámetro interior del conducto: 300 mm

N° de mediciones: 10 repartidas en dos diámetros perpendiculares

Valores de presión dinámica:

Diámetro 1		Diámetro 2	
Punto	**PD (Pa)**	**Punto**	**PD (Pa)**
1	56	1	97
2	71	2	105
3	81	3	117
4	84	4	119
5	86	5	119

Determinar el caudal que circula por el sistema.

SOLUCIÓN

Diámetro 1			Diámetro 2		
Punto	**PD**	**Raíz (PD)**	**Punto**	**PD**	**Raíz (PD)**
1	56	7,48	1	97	9,85
2	71	8,43	2	105	10,25
3	81	9,00	3	117	10,82
4	84	9,17	4	119	10,91
5	86	9,27	5	119	10,91
	Media:	8,67		Media:	10,55

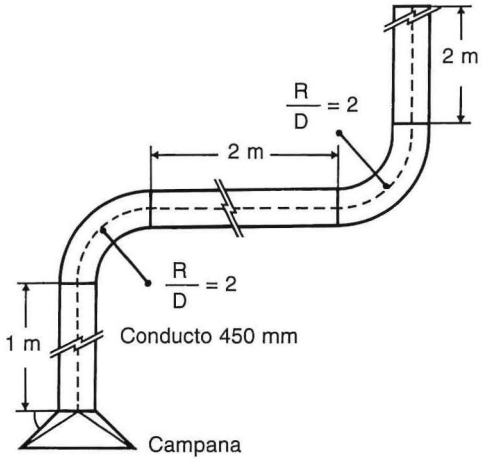
La media de la raiz cuadrada de la presión dinámica es: 9,61 Pa

$$v = 4{,}043\sqrt{PD} \qquad v = 9{,}61 \cdot 4{,}043\sqrt{\frac{1}{9{,}81}} \qquad v = 12{,}4 \text{ m/s}$$

$$Q = 12{,}4 \cdot (0{,}15)^2\,\pi = 0{,}88 \text{ m}^3/\text{s}$$

También puede resolverse hallando la velocidad para cada punto y después promediando. No es correcto promediar las presiones dinámicas para hallar una presión dinámica media, puesto que existe un término cuadrático (aunque numéricamente, en este caso, el resultado sea muy similar).

10 El caudal que circula por un sistema de una sola rama es de 1,75 m^3/s y el diámetro del conducto es de 450 mm. Calcular la pérdida de carga por los métodos de la presión dinámica y de la longitud equivalente. Calcular la presión total del ventilador y la presión estática del ventilador necesarias.



SOLUCIÓN

a) Método de la presión dinámica:

Cálculo PD:

$v = 1{,}75/[(0{,}45/2)^2 \pi] = 11$ m/s;

$PD = (v/4{,}043)^2 = 7{,}4$ mm cda

$PC = n\ PD$

Pérdidas en:

- Campana: $0{,}25 \cdot 7{,}4 = 1{,}85$ mm cda (factor pérdidas de tablas)
- Conductos: $n_{numérico(1)}$: 0,040; $n_{numérico(2)}$: 0,039; $PC = 0{,}039 \cdot 5 \cdot 7{,}4 = 1{,}4$ mm cda
- Codos: $2 \cdot 0{,}27 \cdot 7{,}4 = 4{,}0$ mm cda

$PC_{tot} = 1{,}9 + 1{,}5 + 4{,}1 = 7{,}25$ mm cda

b) Método de la longitud equivalente:

Pérdidas en:

- Campana: $0{,}25 \cdot 7{,}4 = 1{,}85$ mm cda
- Conductos: $0{,}275 \cdot 5 = 1{,}4$ mm cda (datos de tablas)
- Codos: $2 \cdot 8{,}1 \cdot 0{,}275 = 4{,}45$ mm cda (datos de tablas)

$PC_{tot} = 1{,}85 + 1{,}4 + 4{,}45 = 7{,}7$ mm cda

c) Cálculo de las presiones del ventilador (PEV y PTV):

PC = 7,5 mm cda (aproximadamente)

En este caso, y aplicando la ecuación de Bernouilli, $PEV = PC_{tot}$

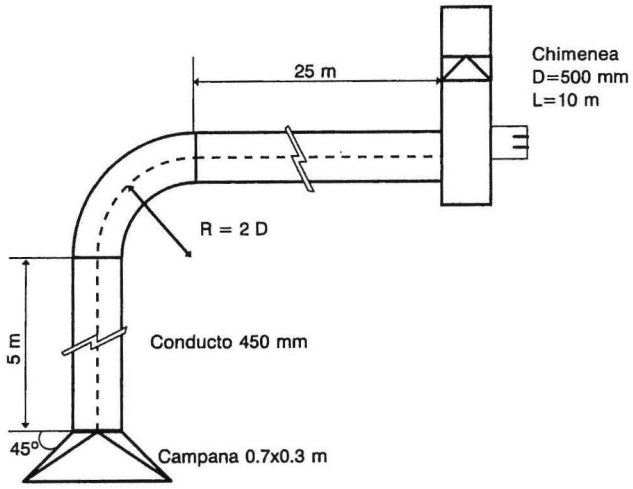
PEV = 7,5 mm cda

PTV = 7,5 + 7,4 = 14,9 mm cda

11 Calcular y dibujar los perfiles de presión estática, dinámica y total a lo largo del sistema para dos caudales distintos: 1,5 m^3/s y 3 m^3/s. Comprobar que se cumple una relación cuadrática en la curva característica del sistema.

Calcular las presiones estática y total necesarias en el ventilador en ambos casos.

Representar gráficamente el perfil de presiones estática, dinámica y total para el caudal de 3 m^3/s.



SOLUCIÓN

Se describen detalladamente los pasos a seguir para el cálculo de PT, PD y PE en cada punto:

1) Identificar cada tramo.
2) Asignar: caudal (Q), diámetro (ø), sección (S), longitud de cada tramo (L). Calcular velocidad, como Q/S.
3) Hallar factor de pérdidas de cada elemento gráfica o numéricamente (puede haber pequeñas discrepancias).
4) Calcular PD de cada punto según:

$$PD = \left[\frac{v}{4{,}043}\right]^2$$

5) Calcular PC en cada punto aplicando PC = n PD (n es el factor de pérdidas unitario, es decir, habrá que multiplicarlo por la longitud del conducto).
6) Calcular la PE (aplicando la ecuación de Bernouilli). Cuando tenemos PE, se calcula la última columna, sumando PD + PE, que es PT en cada punto.

Campana: $PT_{atm} = PT_{camp} + PC$;

$0 = PD + PE + PC$;

$PE_{camp} = - PD - PC$;

$PE_{camp} = - 5{,}4 - 1{,}4 = - 6{,}8$;

$PT = 5{,}4 + (- 6{,}8) = - 1{,}4$ mm cda

Conducto (1): $PT_{camp} = PT_{cond} + PC;$

$-1,4 = PE_{cond} + PD_{cond} + PC;$

$PE_{cond} = -1,4 - 5,4 - 1,1 = -7,9$ mm cda

$PT_{cond} = -7,9 + 5,4 = -2,5$ mm cda

Codo: $PT_{cond} = PT_{codo} + PC;$

$-2,5 = 5,4 + PE_{codo} + 1,5$

$PE_{codo} = -9,4$ mm cda

$PT_{codo} = (-9,4) + 5,4 = -4,0$ mm cda

Conducto (2): $PT_{codo} = PT_{cond2} + PC;$

$-4,0 = 5,4 + PE_{cond2} + 5,4;$

$PE_{cond2} = -14,8;$

$PT_{cond2} = 5,4 + (-14,8) = -9,4$ mm cda

Chimenea: (se calcula como un tramo nuevo: Bernouilli entre salida y chimenea)

$PT_{chim} = PT_{sal} + PC$

$PE_{chim} + PD_{chim} = PE_{sal} + PD_{sal} + PC$

$PE_{chim} = -PD_{chim} - PE_{sal} + PD_{sal} + PC$

$PE_{chim} = -3,6 - 0 + 3,6 + 1,3 = 1,3$ mm cda

$PT_{chim} = 3,6 + 1,3 = 4,9$ mm cda

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados:

TRAMO	Q (m^3/s)	ø (m)	S (m^2)	L (m)	Velocidad (m/s)	n	PD (mm cda)	PC (mm cda)	$PE_{acumulada}$ (mm cda)	PT (mm cda)
Atmósfera	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0
Campana	1,5	0,450	0,159		9,4	0,25	5,4	1,4	– 6,8	– 1,4
Conducto (1)	1,5	0,450	0,159	5	9,4	0,040	5,4	1,1	– 7,9	– 2,5
Codo	1,5	0,450	0,159		9,4	0,27	5,4	1,5	– 9,4	– 4,0
Conducto (2)	1,5	0,450	0,159	25	9,4	0,040	5,4	5,4	– 14,8	– 9,4
Ventilador										
Chimenea	1,5	0,500	0,196	10	7,7	0,036	3,6	1,3	1,3	4,8
Salida	1,5	0,500	0,196	0	7,7	0	3,6	-	0	3,6

La presión total del ventilador será:

$$PTV = PE_{sal} + PD_{sal} - PE_{ent} - PD_{ent} = 1,3 + 3,6 - (-14,8) - 5,4 = 14,3 \text{ mm cda}$$

Y la presión estática del ventilador:

$$PEV = PE_{sal} - PE_{ent} - PD_{ent} = 1,3 - (-14,8) - 5,4 = 10,7 \text{ mm cda}$$

El ventilador se seleccionaría de un catálogo comercial sabiendo la presión total del ventilador (o la presión estática del ventilador, según el fabricante) y sabiendo el caudal que circula por el sistema (1,5 m^3/s).

Los cálculos para el caudal de 3 m^3/s son:

TRAMO	Q (m^3/s)	ø (m)	S (m^2)	L (m)	Velocidad (m/s)	n	PD (mm cda)	PC (mm cda)	$PE_{acumulada}$ (mm cda)	PT (mm cda)
Atmósfera	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0
Campana	3	0,450	0,159		18,9	0,25	21,8	5,4	– 27,2	– 5,4
Conducto (1)	3	0,450	0,159	5	18,9	0,040	21,8	4,4	– 31,6	– 9,8
Codo	3	0,450	0,159		18,9	0,27	21,8	5,9	– 37,2	– 15,5
Conducto (2)	3	0,450	0,159	25	18,9	0,040	21,8	20,7	– 57,9	– 36,1
Ventilador										
Chimenea	3	0,500	0,196	10	15,3	0,036	14,3	4,9	4,9	19,1
Salida	3	0,500	0,196	0	15,3	0	14,3	-	0,0	14,3

La presión total del ventilador será:

$$PTV = PE_{sal} + PD_{sal} - PE_{ent} - PD_{ent} = 4,9 + 14,3 - (-57,9) - 21,8 = 55,3 \text{ mm cda}$$

Y la presión estática del ventilador:

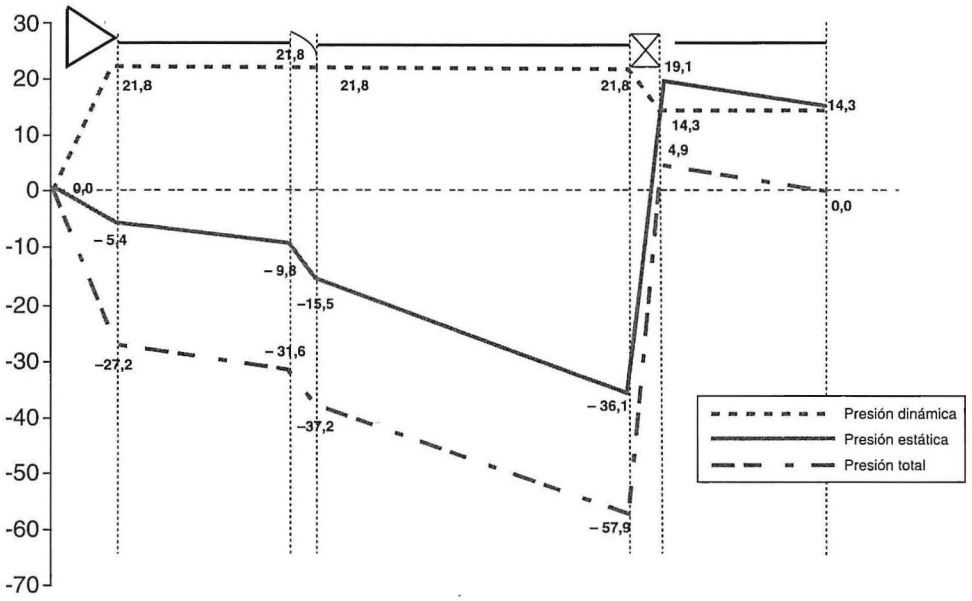
$$PEV = PE_{sal} - PE_{ent} - PD_{ent} = 4,9 - (-57,9) - 21,8 = 41,0 \text{ mm cda}$$

Efectivamente se cumple la relación cuadrática (aproximadamente) entre la pérdida de carga y el caudal:

$$\frac{PC_1}{PC_2} \cong \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2$$

$$\frac{10,7}{41,0} \cong \left(\frac{1,5}{3}\right)^2$$

La representación gráfica del perfil de presiones para Q = 3 m^3/s es la siguiente:



12 En un conducto conectado a una campana de aspiración se han medido las magnitudes siguientes:

Diámetro: 250 mm

Velocidad media del aire: 16 m/s

Presión estática: 50 mm cda

La campana tiene forma piramidal (capota), mide 1m por 1m de base y forma un ángulo interior de 90° entre paredes. Entre la campana y el punto de medición hay un codo de 90° y 5 metros de longitud recta. Analizar esta situación y extraer conclusiones.

SOLUCIÓN

$$Q = v\ S = v\ (\pi/4)\ \phi^2 = 16 \cdot (\pi/4) \cdot 0{,}25^2 = 0{,}785\ m^3/s^2 = 0{,}785\ m^3/s$$

PD = $(16/4{,}04)^2$ = 15,7 mm cda

Pérdida de carga: PC = – (–50) –15,7 = 34,3 mm cda

Factor de pérdidas global del tramo: 34,3/15,7 = 2,2

n codo (tabla): 0,27

n conducto (gráfico): 0,08/m; 0,4 para los 5 metros

El factor para la campana sería la diferencia entre el factor de pérdidas global del tramo y los factores de codo y conducto:

2,2 – 0,7 = 1,5

Sin embargo, para una campana de estas características el factor de pérdidas tendría que ser 0,25 aproximadamente. Probablemente haya una obstrucción en el conducto que aumenta la pérdida de carga del sistema.

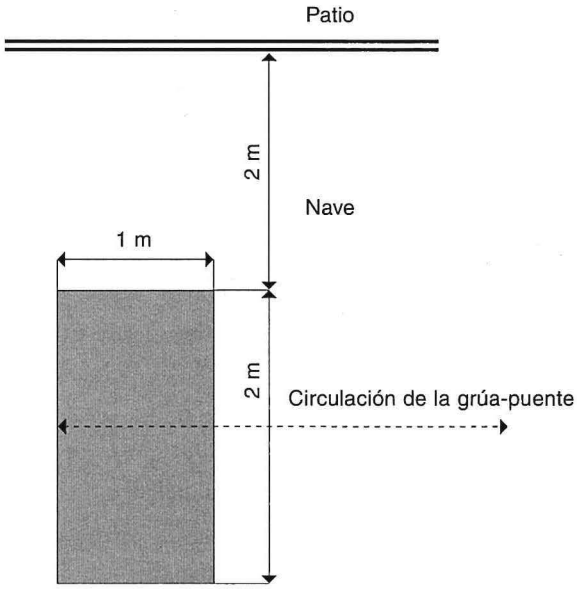
13 En una cuba de decapado de hierro con ácido clorhídrico de 2 m por 1 m de superficie es necesario instalar un sistema de extracción localizada. Diséñese el sistema (campana, conductos, ventilador) teniendo en cuenta que la cuba está situada en el centro de una nave industrial de 8 metros de altura y que la parte superior de la cuba debe quedar libre de obstáculos para permitir el paso del puente grúa con el que se manejan las piezas.

Datos adicionales (obtenidos del texto "Ventilación Industrial" de ACGIH):

Índice de peligrosidad y desprendimiento: A-2

Velocidad de captura: 0,75 m/s

Caudal específico: 1,25 $m^3/m^2 \cdot s$



SOLUCIÓN

Diseño, lo fijamos por geometría: doble campana perimetral con un solo conducto común. No es posible campana elevada (tampoco aconsejable por ser agente A).

Cálculo del caudal de extracción

El valor de w/L es:

$0{,}5 \text{ m}/2 \text{ m} = 0{,}25$

(Se toman 0,5 m de anchura en lugar de 1 m porque cada campana lateral se ocupará de extraer en los 0,5 m que le correspondan).

El caudal total que circula por el sistema es:

$Q = 1{,}25 \cdot 2 = 2{,}5 \text{ m}^3/\text{s}$

Como hay 2 campanas, el caudal que extraerá cada una de ellas es de 1,25 m^3/s.

Cálculo de la rendija y pleno

Velocidad aconsejada en rendija: 10 m/s (Velocidad máxima en el pleno: 5 m/s)

Si Q en cada lado es 1,25 m^3/s; $S_{rendija} = 1{,}25/10 = 0{,}125 \text{ m}^2 = h_{rendija} \cdot L_{rendija}$;

$h_{rendija} = 0{,}125/2 = 0{,}0625$ m = 6,2 cm aproximadamente (redondearíamos por exceso para no bajar de 10 m/s).

La profundidad del pleno, al menos el doble que la abertura de rendija, o sea:

$6{,}2 \cdot 2 = 12{,}5$ cm

Dimensionado de conductos

$v_{cond} = 10$ m/s según la tabla de velocidades de conducto recomendadas.

Sección conducto: $S = 2{,}5/10 = 0{,}250 \text{ m}^2$; ø = 564 mm. (Redondeamos por defecto a 500 mm)

Velocidad real: $2{,}5/[\pi\ (0{,}25)^2] = 12{,}7$ m/s

Longitud conductos: 2 m hasta la pared + 8 m altura = 10 m

Cálculo de la pérdida de carga del sistema

En las campanas:

$PC = 1{,}78\ PD_{rend} + 0{,}25\ PD_{cond} = 1{,}78 \cdot 6{,}12 + 0{,}25 \cdot 9{,}88 = 13{,}4$ mm cda

$PD_{rend} = (10/4{,}04)^2 = 6{,}12$ mm cda

$PD_{cond} = (12{,}7/4{,}04)^2 = 9{,}88$ mm cda

Manómetro en la garganta de la campana: $0 = PE + PD + PC$; $0 = PE + 9{,}88 + 13{,}4$;

$PE = -23{,}3$ mm cda

En el conducto:

Con $Q = 2{,}5$ m^3/s y ø = 500 mm, se pierden 0,3 mm cda/m conducto recto.

Codos:

Codo 90° con R/D = 2 tiene 9,2 m de longitud equivalente.

Separador de gotas: 25 mm cda de pérdida de carga

PC_{tot} = (2 + 8 + 9,2) m · 0,3 + 13,36 + 25 = 44,12 mm cda

PEV = 44 mm cda

PTV = PEV + PD_{sal} = 44,12 + 9,88 = 54 mm cda

Necesitamos un ventilador que proporcione un caudal de 2,5 m^3/s y una presión total de 54 mm cda.

14 Diseñar un sistema de extracción localizada aplicable a una cuba destinada al desengrase de piezas de metal con percloroetileno con una superficie abierta de dimensiones 1,5 m por 1 m de superficie y 1,2 metros de profundidad. El sistema debe incluir la conducción del aire al exterior (dos codos de 90°: R = 2D y 5 metros de tubería recta). Dibujar el diseño y dimensionar las diferentes partes. Calcular el caudal que deberá suministrar el ventilador y las velocidades del aire a lo largo de la instalación.

SOLUCIÓN

Según los datos de diseño de cubas (II) (ver apéndice), en procesos de desengrase de metal al percloroetileno le corresponde un índice de peligrosidad y desprendimiento de B-2.

Según los datos de diseño de cubas (I), como la cuba tiene un ancho de 1 m, es necesario utilizar rendijas a los dos lados.

Se calcula W/L = 1/1,5 = 0,67, pero como la cuba dispone de 2 rendijas se utiliza la mitad del valor de W, es decir, 0,33. Interpolando en la tabla del anexo 6/2b/2 se obtiene un valor del caudal específico de 0,75 $m^3/s/m^2$.

Se calcula el caudal: $Q = Q_{espec} \cdot A_{cuba} = 0,75 \cdot 1,5 = 1,125\ m^3/s$

Según criterios generales de diseño de cubas, las velocidades del sistema deben ser:

Velocidad en el conducto superior a 10 m/s

Velocidad en la rendija superior a 10 m/s

Velocidad en el pleno, inferior a la mitad de la velocidad en rendija, es decir, como máximo 5 m/s

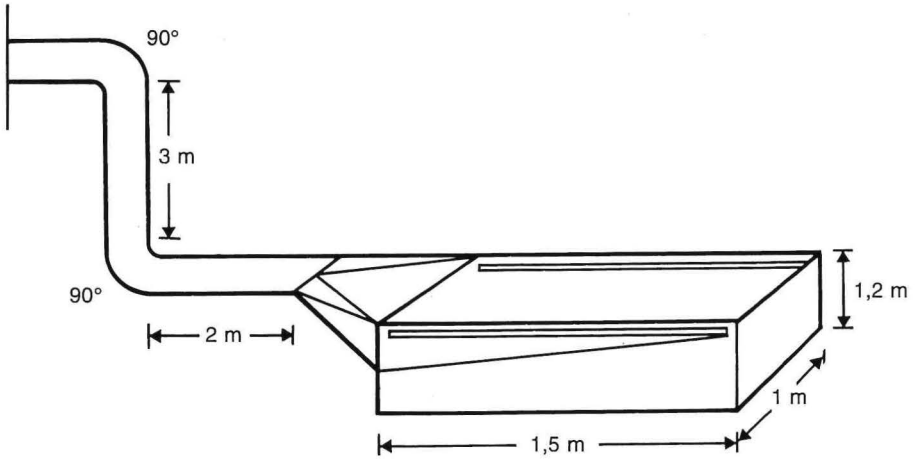
Para calcular el ancho de rendija ($W_{rendija}$) utilizaremos la velocidad mínima de rendija:

$Q/S_{rendija}$ = 10 m/s; Q debe ser la mitad del caudal global calculado anteriormente, puesto que se distribuye entre las dos rendijas.

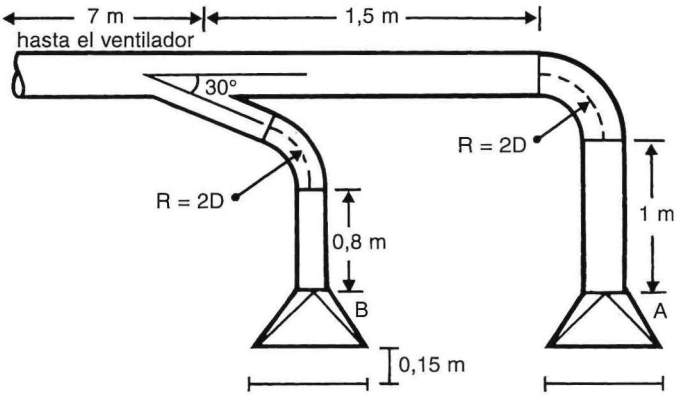
$(Q/2) / L_{rendija} \cdot W_{rendija}$

$(1,125/2) / 1,5 \cdot W_{rendija}$ = 10 m/s; despejando: $W_{rendija}$ = 3,75 cm

ESQUEMA:



15 Dado el siguiente sistema de extracción localizada de dos ramas, se pide diseñar el diámetro de los conductos y calcular la presión total del ventilador (PTV). El caudal de la rama A es de 0,6 m^3/s y el de la rama B, de 0,4 m^3/s.



SOLUCIÓN

Se muestran dos posibles soluciones obtenidas mediante una hoja de cálculo. En los dos casos hay que equilibrar el sistema corrigiendo el caudal de una de las ramas. En el segundo caso hay, además, corrección por aceleración. Las diferencias son debidas a la elección de diámetros distintos para los conductos, que suponen una velocidad en conducto un 50% superior en el segundo caso.

Primera solución:

1	Identificación del tramo		1A	2A	AB	Chimenea
2	Caudal inicial	m^3/s	0,600	0,400	1,017	1,017
3	Diámetro del conducto	mm	300	250	350	350
4	Sección del conducto	m^2	0,0707	0,0491	0,0962	0,0962
5	Velocidad en conducto	m/s	8,5	8,2	10,6	10,6
6	Presión Dinámica	mm cda	4,4	4,1	6,8	6,8
7	Área de la rendija	m^2	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Velocidad en rendija	m/s	0,0	0,0	0,0	0,0
9	Presión dinámica en rendija	mm cda	0,0	0,0	0,0	0,0
10	Factor de pérdidas en rendija	PD	0,00	0,00	0,00	0,00
11	PE en el pleno	mm cda	0,0	0,0	0,0	0,0
12	Factor de pérdidas en entrada	PD	0,25	0,25	0,00	0,00
13	Factor total en la entrada	PD	1,25	1,25	0,00	0,00
14	Pérdida en la entrada	mm cda	5,5	5,1	0,0	0,0
15	Otras pérdidas	mm cda	0,0	0,0	0,0	0,0
16	Depresión en la campana	mm cda	5,5	5,1	0,0	0,0
17	Longitud de conducto recto	m	2,5	0,8	7,0	0,0
18	Factor de pérdidas unitario (H_f)	PD/m	0,064	0,080	0,053	0,053
19	Pérdida en tramo recto	PD	0,16	0,06	0,37	0,00
20	N° de codos de 90°		1	1	0	0
21	Factor de pérdida en los codos	PD	0,27	0,27	0,00	0,00
22	Pérdida en codos	PD	0,27	0,18	0,00	0,00
23	Pérdida en uniones	PD	0,00	0,18	0,00	0,00
24	Factor de pérdida en acc. especiales	PD	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Factor total	PD	0,43	0,42	0,37	0,00
26	Pérdidas en el tramo	mm cda	1,9	1,7	2,5	0,0
27	Corrección por aceleración	mm cda	0,0	0,0	2,6	0,0
28	Pérdida PE en el tramo	mm cda	7,4	6,8	5,1	0,0
29	PE acumulada	mm cda	7,4	6,8	12,5	0,0
30	PE controlante	mm cda	7,4	7,4		0,0
31	Caudal corregido	m^3/s	0,600	0,417		0,000
32	PD media en unión	mm cda	0,0	4,3	0,0	0,0

PEV = 5,68 mm cda PTV = 12,53 mm cda

Otra solución posible:

1	Identificación del tramo		1A	2A	AB	Chimenea
2	Caudal inicial	m^3/s	0,600	0,400	1,097	1,097
3	Diámetro del conducto	mm	220	200	250	250
4	Sección del conducto	m^2	0,0380	0,0314	0,0491	0,0491
5	Velocidad en conducto	m/s	15,8	12,7	22,4	22,4
6	Presión Dinámica	mm cda	15,3	9,9	30,6	30,6
7	Área de la rendija	m^2	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Velocidad en rendija	m/s	0,0	0,0	0,0	0,0
9	Presión dinámica en rendija	mm cda	0,0	0,0	0,0	0,0
10	Factor de pérdidas en rendija	PD	0,00	0,00	0,00	0,00
11	PE en el pleno	mm cda	0,0	0,0	0,0	0,0
12	Factor de pérdidas en entrada	PD	0,25	0,25	0,00	0,00
13	Factor total en la entrada	PD	1,25	1,25	0,00	0,00
14	Pérdida en la entrada	mm cda	19,1	12,4	0,0	0,0
15	Otras pérdidas	mm cda	0,0	0,0	0,0	0,0
16	Depresión en la campana	mm cda	19,1	12,4	0,0	0,0
17	Longitud de conducto recto	m	2,5	0,8	7,0	0,0
18	Factor de pérdidas unitario (H_f)	PD/m	0,064	0,080	0,053	0,053
19	Pérdida en tramo recto	PD	0,16	0,06	0,37	0,00
20	N° de codos de 90°		1	1	0	0
21	Factor de pérdida en los codos	PD	0,27	0,27	0,00	0,00
22	Pérdida en codos	PD	0,27	0,18	0,00	0,00
23	Pérdida en uniones	PD	0,00	0,18	0,00	0,00
24	Factor de pérdida en acc. especiales	PD	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Factor total	PD	0,43	0,42	0,37	0,00
26	Pérdidas en el tramo	mm cda	6,6	4,2	11,3	0,0
27	Corrección por aceleración	mm cda	0,0	0,0	17,7	0,0
28	Pérdida PE en el tramo	mm cda	25,6	16,6	29,1	0,0
29	PE acumulada	mm cda	25,6	16,6	54,7	0,0
30	PE controlante	mm cda	25,6	25,6		0,0
31	Caudal corregido	m^3/s	0,600	0,497		0,000
32	PD media en unión	mm cda	0,0	12,8	0,0	0,0

PEV = 24,13 mm cda PTV = 54,69 mm cda

16 En un conducto de extracción localizada de 250 mm de diámetro, se realizan las siguientes mediciones antes del ventilador en 3 puntos situados según el sentido de circulación del caudal (1-2-3):

$PE_1 = -50$ mm cda

$PE_2 = -80$ mm cda

$PD_3 = 20$ mm cda

Sabiendo que el diámetro interno del conducto mide 250 mm, calcular:

a) El caudal que circula por el sistema.

b) La pérdida de carga entre los puntos 1 y 2.

c) PT, PE y PD en los puntos 1, 2 y 3, sabiendo que la PC entre 1 y 2 es igual que entre 2 y 3.

SOLUCIÓN

a) $v = 4{,}043\sqrt{PD}$; $v = 18{,}1$ m/s; $Q = \pi\,(0{,}125)^2 \cdot 18{,}1 = 0{,}89$ m³/s

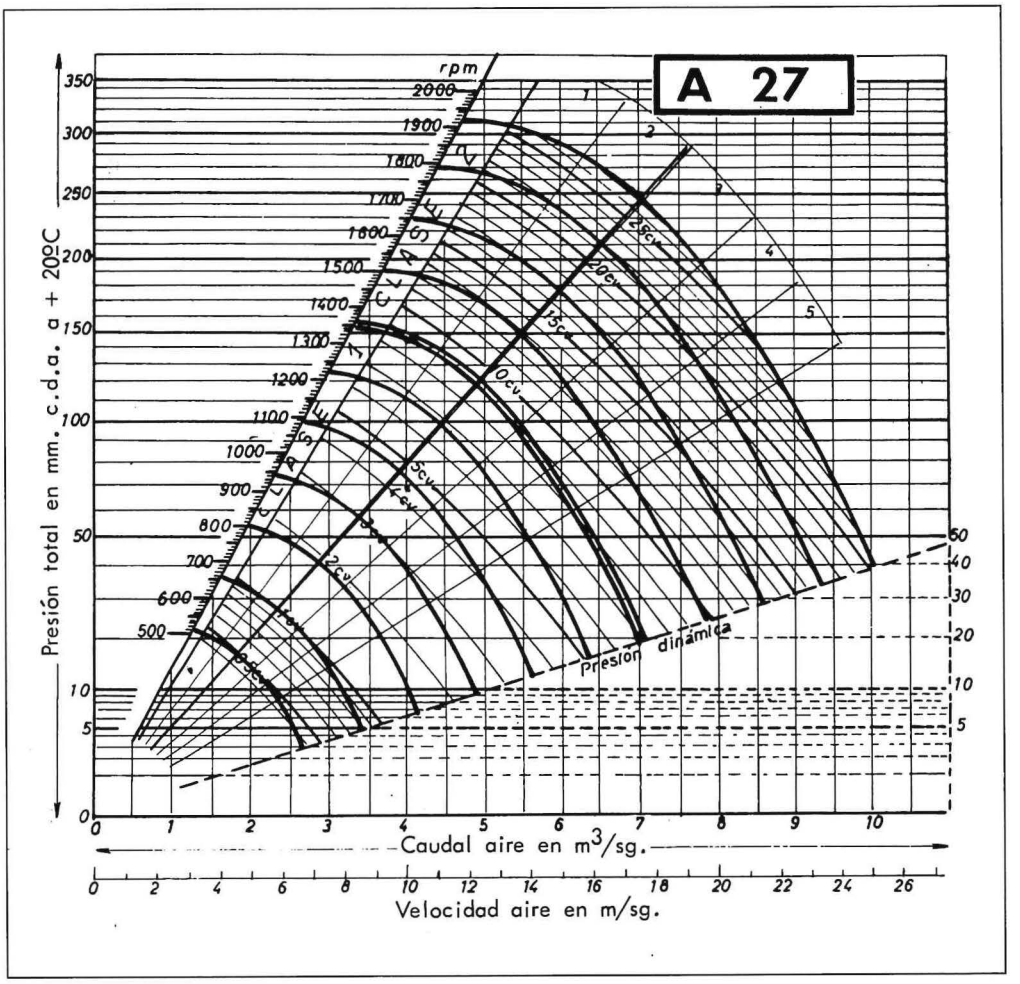
b) Aplicamos Bernouilli entre los puntos 1 y 2; $PE_1 + PD_1 = PD_2 + PE_2 + PC_{1\text{-}2}$; $-50 = -80 + PC$; $PC = 30$ mm cda

c) Valores en mm cda.

	PD	PE	PT
1	20	– 50	– 30
2	20	– 80	– 60
3	20	– 110	– 90

17 En un sistema de extracción localizada se ha instalado un filtro inmediatamente antes del ventilador, cuya curva característica se muestra en la figura, girando a 1.220 rpm. En condiciones normales de operación el caudal de aire vehiculado por el ventilador es de 5,5 m³/s y la presión estática medida en la entrada al ventilador es de 48 mm cda. El ventilador descarga directamente a la atmósfera (no hay chimenea). El conducto de entrada al ventilador es de 800 mm de diámetro

El plan de mantenimiento tiene como objetivo revisar (o sustituir) el filtro cuando el caudal disminuya a 5 m³/s. ¿Cuál será la indicación del manómetro en este caso?



SOLUCIÓN

En las características del ventilador, para un caudal de 5,5 m^3/s se lee:

$PT = 52$ mm cda

$PD_{salida} = 11$ mm cda

Aplicando Bernouilli entre la entrada y la salida del ventilador tenemos:

$$PE_{entrada} + PD_{entrada} + PT = PE_{salida} + PD_{salida}$$

$$-48 + PD_{entrada} + 52 = 0 + 11$$

$$PD_{entrada} = 48 + 11 - 52 = 7 \text{ mm cda}$$

Cuando el caudal disminuya a 5 m^3/s tendremos:

$PT = 75$ mm cda

$PD_{salida} = 10$ mm cda

La $PD_{entrada}$ será proporcional al cuadrado del caudal, o sea:

$PD_{entrada} = 7 \cdot (5/5{,}5)^2 = 6$ mm cda

Y aplicando de nuevo Bernouilli se obtiene:

$PE_{entrada} + PD_{entrada} + PT = PE_{salida} + PD_{salida}$

$PE_{entrada} + 6 + 75 = 0 + 10$

$PE_{entrada} = -71$ mm cda

Conclusión: cuando el caudal disminuye un 10%, el vacío en la aspiración aumenta un 50% (de 48 a 71 mm cda). Se trata de un buen sistema de control.

18 En un sistema de extracción localizada se realizan las siguientes mediciones:

PE en la entrada del ventilador: – 40 mm cda.

PE a la salida del ventilador: 8 mm cda.

PD en un punto del conducto de aspiración: 15 mm cda.

Calcular:

a) La pérdida de carga que se produce en el sistema hasta la entrada del ventilador.

b) La presión total del ventilador (los diámetros del conducto de aspiración y de impulsión son iguales).

c) La velocidad del fluido.

d) El caudal que circula sabiendo que el diámetro del conducto es de 500 mm.

SOLUCIÓN

a) $0 = PD_{ent} + PE_{ent} + PC_{sistema}$; $PC = -[15 + (-40)] = 25$ mm cda

b) $PTV = PE_{sal} - PE_{ent} = 8 - (-40) = 48$ mm cda (la presión dinámica es la misma a la entrada y a la salida, se anulan).

c) $v = 4{,}043\sqrt{PD}$; $v = 15{,}7$ m/s

d) $Q = 15{,}7\ (\pi\ 0{,}25^2) = 3{,}08\ m^3/s$

5. RUIDO
Evaluación y Equipos de Protección Individual (EPI)

1 Calcular el nivel global de ruido en dB(A), de los espectros de frecuencias que se dan a continuación. Razonar cuál resultará más perjudicial para el oído humano.

a)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	110	103	100	93	90	84	79	55	51	50	**111**

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	79	81	76	84	85	85	81	86	85	74	**93**

b)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	90	100	95	92	89	82	76	58	57	55	**102**

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	55	57	58	75	82	89	92	95	100	90	**102**

SOLUCIÓN

a)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	110	103	100	93	90	84	79	55	51	50	**111**
Pond. A	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1	-7	
dB(A)	71	77	84	84	87	84	80	56	50	43	**92**

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB(A)	79	81	76	84	85	85	81	86	85	74	**93**
Pond. A	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1	-7	
dB(A)	40	55	60	75	82	85	82	87	84	67	**92**

Aunque el nivel global en dB del primer espectro es mucho mayor que el del segundo, el nivel global en dB(A) es el mismo en ambos casos (se trata de un ruido de baja frecuencia). Esto significa que los efectos para el oído humano serán muy similares.

b)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	90	100	95	92	89	82	76	58	57	55	**102**
Pond. A	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1	-7	
dB(A)	51	74	79	83	86	82	77	59	56	48	**90**

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	55	57	58	76	82	89	92	95	100	90	**102**
Pond. A	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1	-7	
dB(A)	16	31	42	67	79	89	93	96	99	83	**102**

El ruido correspondiente al segundo espectro será más perjudicial para el oído humano pese a que el nivel global en dB es el mismo en los dos casos. Se trata de un ruido con niveles elevados a altas frecuencias.

2 Calcular el nivel de ruido resultante si se eliminan los ruidos secundarios siguientes, y razonar los resultados.

dB	
Total	**Eliminados**
90	89
90	88
90	87
90	86
90	85
90	84
90	83
90	82
90	81
90	80
90	79
90	78
90	78
90	76
90	75

SOLUCIÓN

dB		
Total	**Eliminados**	**Diferencia**
90	89	**83**
90	88	**86**
90	87	**87**
90	86	**88**
90	85	**88**
90	84	**89**
90	83	**89**
90	82	**89**
90	81	**89**
90	80	**89**
90	79	**90**
90	78	**90**
90	78	**90**
90	76	**90**
90	75	**90**

Eliminar un ruido secundario, de nivel inferior en 10 dB o más al ruido principal, no tiene prácticamente influencia en el nivel de ruido global. Debe tenerse esto en cuenta al proponer medidas técnicas de reducción del ruido ambiental.

3 El nivel de ruido en un taller es de 88 dB. Una segunda medición con una de las máquinas parada, da un valor de 85 dB. Calcular el nivel de presión acústica de dicha máquina.

SOLUCIÓN

$L_m = 10 \log (10^{88/10} - 10^{85/10}) = 85$ dB

4 Deducir, sin necesidad de cálculos, el nivel de ruido equivalente y el porcentaje de la EMP de los siguientes puestos de trabajo:

Nivel de ruido, dB(A)	Tiempo de exposición, h
87	8
90	8
93	8
84	8
84	4
84	2
84	16
87	8
90	4
93	2
96	1
99	0,5
102	0,25

SOLUCIÓN

Nivel de ruido, dB(A)	Tiempo de exposición, h	Nivel equivalente diario, dB(A)	%EMP
87	8	87	100
90	8	90	200
93	8	93	400
84	8	84	50
84	4	81	25
84	2	78	12,5
84	16	87	100
87	8	87	100
90	4	87	100
93	2	87	100
96	1	87	100
99	0,5	87	100
102	0,25	87	100

5 Calcular el nivel de ruido equivalente y el porcentaje de exposición máxima permitida de los siguientes puestos de trabajo:

a) Jornada laboral: 8 horas + 0,5 horas para cambiarse

Operación	Tiempo de exposición, h	Nivel de ruido equivalente, dB(A)
Torno	5,5	84
Plegadora	2,5	95
Vestuario	0,5	84
Total	**8,5**	

b) Jornada laboral: 8,5 horas

Operación	Tiempo de exposición, h	Nivel de ruido equivalente, dB(A)
Soldando	5	81
Puliendo	0,25	102
Preparando	3	75
Vestuario	0,25	70
Total	**8,5**	

SOLUCIÓN

a) Jornada laboral: 8,5 horas

Operación	Tiempo de exposición, h	Nivel de ruido equivalente, dB(A)	%EMP
Torno	5,5	84	34,5
Plegadora	2,5	95	197
Vestuario	0,5	84	3
Total	**8,5**	**91 (diario: 8 h)**	**234,5**

b) Jornada laboral: 8,5 horas

Operación	Tiempo de exposición, h	Nivel de ruido equivalente, dB(A)	%EMP
Soldando	5	81	15,8
Puliendo	0,25	102	99
Preparando	3	75	2,4
Vestuario	0,25	70	0,0
Total	**8,5**	**88 (diario: 8 h)**	**117,2**

Nótese cómo un nivel de 102 dB(A), durante un cuarto de hora, es suficiente para superar el valor límite de exposición.

6 Calcular la atenuación real de dos auriculares de protección auditiva frente al mismo espectro de frecuencias de ruido.

a)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	118,4	112,2	104,1	95,6	78,2	75	69,8	69	65,1	66,6	**119**
Atenuación auricular	7,2	10	15,5	19,2	28,1	36,1	38,1	42,1	43,5	44,6	

b)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	118,4	112,2	104,1	95,6	78,2	75	69,8	69	65,1	66,6	**119**
Atenuación auricular	14,2	15,3	16,2	17,4	19,2	20,1	22,3	24,3	25,1	27,2	

SOLUCIÓN

a)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	118,4	112,2	104,1	95,6	78,2	75	69,8	69	65,1	66,6	**119**
Atenuación auricular	7,2	10	15,5	19,2	28,1	36,1	38,1	42,1	43,5	44,6	
	111,2	102,2	88,62	76,4	50,1	38,9	31,7	26,9	21,6	22	**112**
Pond. A	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6	
dB(A)	71,8	76	72,52	67,8	46,9	38,9	32,9	27,9	20,5	15,4	**79**

Atenuación real, dB(A): 13

b)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	Global
dB	118,4	112,2	104,1	95,6	78,2	75	69,8	69	65,1	66,6	**119**
Atenuación auricular	14,2	15,3	16,2	17,4	19,2	20,1	22,3	24,3	25,1	27,2	
	104,2	96,9	87,92	78,2	59	54,9	47,5	44,7	40	39,4	**105**
Pond. A	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6	
dB(A)	64,8	70,7	71,82	69,6	55,8	54,9	48,7	45,7	38,9	32,8	**76**

Atenuación real, dB(A): 16

7 En una jornada laboral de 8 h un trabajador realiza dos operaciones con los siguientes niveles de ruido:

Fresadora: 87 dB(A) durante 6,5 horas

Plegadora: 95 dB(A) durante 1 hora

Calcular:

a) El porcentaje de EMP.

b) El nivel de ruido diario equivalente.

SOLUCIÓN

a) $$\%EMP_{fresadora} = 100 \frac{T_{fresadora}}{8} 10^{\frac{L_{fresadora} - 87}{10}} \quad ; \quad \%EMP_{fresadora} = 81{,}3\%$$

$$\%EMP_{plegadora} = 100 \frac{T_{plegadora}}{8} 10^{\frac{L_{plegadora} - 87}{10}} \quad ; \quad \%EMP_{plegadora} = 78.9\%$$

$$\%EMP_{Total} = 160{,}2\%$$

b) $$L_{Aeq,d} = 87 + 10 \log \frac{\%EMP}{100} \quad ; \qquad L_{Aeq,d} = 89 \text{ dB(A)}$$

8 En un puesto de trabajo se mide durante 1 hora 98 dB(A) de nivel sonoro. La tarea dura 2,5 h diarias y el ruido durante este tiempo es estable. Calcular:

a) El nivel de ruido diario equivalente.

b) El tiempo de exposición máximo permitido.

c) El porcentaje de EMP.

SOLUCIÓN

a) Como el ruido es estable, el nivel durante las 2,5 horas de exposición va a ser el mismo que el medido durante 1 hora, es decir, 98 dB(A).

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8} = 98 + 10 \log \frac{2{,}5}{8} = 93 \text{ dB(A)}$$

b) $T_{EMP} = 0{,}63$ h

c) EMP = 2,5/0,63 = 400% aproximadamente.

87 dB(A) de ruido diario equivalente significarían una EMP del 100%.

6 dB(A) más (93 dB(A)) corresponden a cuatro veces la presión sonora y, por lo tanto, también a cuatro veces la dosis.

9 En un puesto de trabajo se mide la exposición a ruido de un trabajador con un dosímetro, obteniéndose un resultado de 110%. El trabajador está expuesto a ruido durante 6 horas de su jornada laboral. Determinar:

a) El tiempo máximo de exposición que debería permitirse al trabajador.

b) El nivel de ruido diario equivalente.

c) El nivel de ruido durante las 6 horas de exposición.

SOLUCIÓN

a) $\frac{110}{6} = \frac{100}{T_{EMP}}$; $T_{EMP} = 5{,}5$ h

b) $L_{Aeq,d} = 87 + 10 \log \frac{\%EMP}{100} = 87$ dB(A) (redondeado de 87,4 dB(A))

c) $L_{Aeq,T} = L_{Aeq,d} - 10 \log (T/8) = 87 - 10 \log (6/8) = 88$ dB(A)

10 En una jornada laboral de 8 h un trabajador efectúa las siguientes tareas:

Almacén: 2,5 horas

Trabajo dentro de la planta: 5 horas

Desayuno: 0,5 horas

En el almacén se ha medido un nivel de ruido de 82 dB(A) y en la planta, 92 dB(A). Determinar:

a) La dosis de ruido.

b) El nivel de ruido diario equivalente.

c) La necesidad o no de tomar medidas preventivas y, en caso afirmativo, de qué tipo y dónde.

SOLUCIÓN

a) $\%EMP_{almacén} = 100 \frac{T_{almacén}}{8} 10^{\frac{L_{almacén} - 87}{10}}$

$\%EMP_{almacén} = 10\%$

$$\%EMP_{planta} = 100 \frac{T_{planta}}{8} 10^{\frac{L_{planta} - 87}{10}} \quad ; \quad \%EMP_{planta} = 198\%$$

$$\%EMP_{Total} = 208\%$$

b) $L_{Aeq,d} = 87 + 10 \log \frac{\%EMP}{100}$; $L_{Aeq,d} = 90$ dB(A)

c) Habrá que tomar medidas en el área correspondiente a la planta: reducción del tiempo de exposición, apantallamiento de máquinas, recubrimientos absorbentes. Si aún así se supera el límite de exposición, se recurrirá al uso de protectores auditivos.

11 En un puesto de trabajo se realizan cuatro operaciones:

La primera operación dura 1,5 horas al día y el nivel de ruido medido es 85 dB(A).

La segunda operación dura 3 horas al día y el nivel de ruido medido es 81 dB(A).

La tercera operación dura 2 horas al día y el nivel de ruido medido es 90 dB(A).

La cuarta operación dura 2,5 horas al día y el nivel de ruido medido es 83 dB(A).

Calcular:

a) El nivel de ruido diario equivalente.

b) El nivel de ruido durante las 9 horas de exposición.

c) El porcentaje de EMP.

SOLUCIÓN

a) $L_{Aeq,d} = 10 \log \left[\frac{1}{8} (1{,}5 \cdot 10^{\frac{85}{10}} + 3 \cdot 10^{\frac{81}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{90}{10}} + 2{,}5 \cdot 10^{\frac{83}{10}}) \right] = 86$ dB(A)

b) $L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{9} (1{,}5 \cdot 10^{\frac{85}{10}} + 3 \cdot 10^{\frac{81}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{90}{10}} + 2{,}5 \cdot 10^{\frac{83}{10}}) \right] = 85$ dB(A)

c) $\%EMP = 100 \cdot 10^{\frac{L_{Aeq,d} - 87}{10}} = 100 \cdot 10^{\frac{86 - 87}{10}} = 79\%$

12 Un individuo trabaja la mayor parte de su jornada de 8 horas sin exposición aparente a ruido ($L_{Aeq,T} < 70$ dB(A)), pero 5 veces al día tiene que acceder a un recinto (durante 4 minutos cada vez) donde un compresor genera un nivel de presión sonora de 102 dB(A).

Determinar el $L_{Aeq,d}$ correspondiente al puesto de trabajo y proponer soluciones si es necesario.

SOLUCIÓN

$T = 4 \text{ min} \cdot 5 = 20 \text{ min.}$

$L_{Aeq,T} = 102 \text{ dB}$

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8} = 102 + 10 \log \frac{20}{480} = 88 \text{ dB(A)}$$

Se supera el valor límite. Está indicado el uso de protectores auditivos, por tratarse de exposición elevada pero puntual (5 veces durante la jornada) y breve (4 minutos).

13 En una cadena de envasado trabajan 6 personas durante 7 horas y 30 minutos al día. Por motivos organizativos, rotan la posición.

Calcular los $L_{Aeq,d}$ correspondientes sabiendo que los niveles medidos en las 6 posiciones de la cadena son:

$L_{A1} = 81 \text{ dB(A)}$
$L_{A2} = 85 \text{ dB(A)}$
$L_{A3} = 83 \text{ dB(A)}$
$L_{A4} = 81 \text{ dB(A)}$
$L_{A5} = 82 \text{ dB(A)}$
$L_{A6} = 85 \text{ dB(A)}$

SOLUCIÓN

La exposición se puede considerar equivalente para los diferentes trabajadores, el valor único del $L_{Aeq,d}$ se calculará, ya que es ruido estable, según:

$T = 7{,}5 \cdot 60 = 450 \text{ min}$

$L_{max} - L_{min} = 85 - 81 = 4 \text{ dB(A)}$ (ruido continuo o estable)

$$L_{Aeq,T} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{n} = \frac{81 + 85 + 83 + 81 + 82 + 85}{6} = 82{,}8 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8} = 82{,}8 + 10 \log \frac{450}{480} = 82{,}5 \text{ dB(A)}$$

y se comprueba que el resultado es el mismo que se obtiene sin realizar la simplificación de la suma aritmética:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \frac{1}{8} \left[1{,}25 \cdot 10^{8,1} + 1{,}25 \cdot 10^{8,5} + 1{,}25 \cdot 10^{8,1} + 1{,}25 \cdot 10^{8,2} + 1{,}25 \cdot 10^{8,5}\right] =$$

82,9 dB(A) ~ 83 dB(A)

14 Se desea conocer el nivel de presión sonora efectivo ponderado A en un ambiente de trabajo, cuando se utiliza un determinado protector auditivo. El nivel de presión sonora por bandas de octava del ruido ambiental y las características de atenuación del protector se indican en las siguientes tablas:

Espectro de frecuencias en bandas de octava del ruido:

Frecuencia (Hz)	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
L_f **(dB)**	100	97	95	90	90	85	82	78

Datos de atenuación del protector (datos del fabricante):

Frecuencia (Hz)	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**
m_f	24,9	25,4	25,9	27,8	28,3	33,2	30,9	40,2
σ	6,4	6,1	3,8	2,5	3,4	4,9	5,2	4,9

H = 27 dB
M = 25 dB
L = 23 dB
SNR = 28 dB

SOLUCIÓN

Calcularemos la atenuación por distintos métodos.

Método de las bandas de octava:

Frecuencia (Hz)	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Global**
L_p	100	97	95	90	90	85	82	78	**103 dB**
Ponderación A	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	
L_{pA}	73,8	80,9	86,4	86,8	90	86,2	83	76,9	**94 dB(A)**
ΔPVfx	18,5	19,3	22,1	24	24,9	28,3	25,7	35,3	37
L_{pA} **atenuado**	55,3	61,6	64,3	62,8	65,1	57,9	57,3	41,6	**70 dB(A)**

Método de PNR:

$$PNR = M - \frac{H - M}{4}\left[L_c - L_A - 2\right] \quad \text{Si } L_c - L_a < 2$$

$$PNR = M - \frac{M - L}{8}\left[L_c - L_A - 2\right] \quad \text{Si } L_c - L_a < 2$$

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
$L_C - L_A$	9								
PNR(dBA)	23,3								
C	-0,8	-0,2	0,0	0,0	0	-0,2	-0,8	-3	
L_{pC}	99	97	95	90	90	85	81	75	**103 dB(C)**

Método de HML:

PNR = 23,3

L_{pA} atenuado = 70,8 dB(A)

Método de SNR:

L_{pA} atenuado = 75 dB(A)

15 Un trabajador está expuesto a un nivel de ruido diario equivalente de 89 dBA (correspondiente a 99 dB(C), después de haber implementado todas las medidas técnicas posibles para la reducción del ruido. En virtud de lo dispuesto en el Real Decreto 286/2006, se procede a la evaluación de la exposición con los equipos de protección individual colocados. ¿Cuáles son los valores mínimos de los parámetros de atenuación que deben procurar los EPI que vayan a elegirse?

SOLUCIÓN

Cálculo de PNR con parámetros H, M, L:

$L_C - L_A = 99 - 89 = 10$

El PNR debe ser al menos 2, para situarnos en 87 dB(A).

$PNR = M - \frac{M - L}{8} 8 = 2$ de lo que se deduce que el parámetro L debe valer como mínimo 2.

Parámetro SNR:

En este método la atenuación se calcula a partir de los dB(C), por lo que el parámetro SNR debe valer como mínimo: 99 – 87 = 12.

Como se trata de un ruido de baja frecuencia (obsérvese que la diferencia entre L_C y L_A es alta), este método resulta menos exacto que si se tratara de un ruido de alta frecuencia.

Nota: Los resultados de este ejercicio deben interpretarse como mínimos a efectos únicamente de cálculo. En el momento de realizar la evaluación de riesgos con los protectores auditivos colocados, según dispone el Real Decreto 286/2006 en su artículo 5.2, deberán tenerse en cuenta los factores que restan eficacia a los protectores auditivos (tiempo de utilización, defectos de adaptación al pabellón auditivo, mala colocación, etc.).

6. RUIDO
Control por absorción

1 Una oficina de dimensiones 25 m por 20 m de superficie y 3 m de altura tiene las superficies laterales cubiertas con un material tipo corcho, el suelo de moqueta y el techo de yeso. Calcular el área de absorción y la constante del local a las frecuencias centrales de las bandas de octava entre 125 y 4000 Hz. (Utilizar los datos de absorción de tablas genéricas).

SOLUCIÓN

Para cada frecuencia se debe calcular la suma de los productos de cada superficie por su coeficiente de absorción.

La constante del local vale $R = A/(1 - \overline{\alpha})$, donde A es el área de absorción del local.

La disposición de los cálculos se indica en la tabla:

			Frecuencias (Hz)					
Elemento	**Superficie (m^2)**		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Suelo	500	α $S\alpha$	0,02 10	0,03 15	0,06 30	0,15 75	0,23 115	0,47 235
Techo	500	α $S\alpha$	0,12 60	0,09 45	0,07 35	0,05 25	0,05 25	0,04 20
Paredes	270	α $S\alpha$	0,12 32,4	0,27 72,9	0,72 194,4	0,79 213,3	0,76 205,2	0,77 207,9
Total	1.270	$\Sigma(S\alpha)$	102,4	142,9	259,4	313,3	345,2	462,9
	$\overline{\alpha}$		0,08	0,10	0,20	0,25	0,27	0,36
	R (m^2)		111,3	158,8	342,3	417,7	472,9	723,28

2 Una oficina de dimensiones 10 m por 8 m de superficie y 2,4 m de altura tiene las paredes hasta 1,10 m cubiertas de gres, y la parte superior de vidrio, el suelo de gres y el techo de escayola. Calcular el tiempo de reverberación a las frecuencias centrales de las bandas de octava entre 125 y 4000 Hz. (Utilizar los datos de absorción de tablas genéricas).

SOLUCIÓN

Para cada frecuencia se debe calcular la suma de los productos de cada superficie por su coeficiente de absorción.

La fórmula de Eyring nos permitirá calcular el tiempo de reverberación:

$$T = \frac{0{,}161\ V}{S\ [-\ln\ (1 - \bar{\alpha})]}$$

La disposición de los cálculos se indica en la tabla:

			Frecuencias (Hz)					
Elemento	**Superficie (m^2)**		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Suelo	80	α $S\ \alpha$	0,01 0,80	0,01 0,80	0,02 0,16	0,02 0,16	0,02 0,16	0,02 0,16
Techo	80	α $S\ \alpha$	0,12 9,60	0,09 7,20	0,07 5,60	0,05 4,00	0,05 4,00	0,04 3,20
Pared baja	39,6	α $S\ \alpha$	0,01 0,40	0,01 0,40	0,02 0,79	0,02 0,79	0,02 0,79	0,02 0,79
Pared alta	46,8	α $S\ \alpha$	0,35 16,38	0,25 11,70	0,18 8,42	0,12 5,62	0,07 3,28	0,04 1,87
Total		$\Sigma(S\alpha)$	27,18	20,10	14,97	10,57	8,23	6,02
	$\bar{\alpha}$		0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02
	T.rev (s)		1,07	1,47	2,00	2,86	3,69	5,07

3 En el caso de la oficina del problema anterior se han medido experimentalmente los tiempos de reverberación con los resultados siguientes.

f (Hz)	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Tiempo de reververación (s)	0,47	0,43	0,40	0,40	0,48	0,57

¿Son coherentes los resultados experimentales del tiempo de reverberación con los valores estimados? Si son muy diferentes, ¿cuál puede ser la causa? ¿Cuáles son las superficies de absorción reales del local?

SOLUCIÓN

Los tiempos medidos son muy inferiores a los estimados. La causa es que en la estimación de los tiempos de reverberación sólo se han tenido en cuenta las superficies límite del local, sin considerar la absorción del mobiliario y los ocupantes, por lo que la estima-

ción de la superficie de absorción es muy errónea por defecto y, en consecuencia, la estimación de los tiempos de reverberación es muy errónea por exceso.

Para estimar la superficie de absorción se utiliza la misma ecuación:

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tiempo de reverberación (s)	0,47	0,43	0,40	0,40	0,48	0,57
$\bar{\alpha}$	0,23	0,25	0,27	0,27	0,23	0,20
Área de absorción experimental (m^2)	57,7	62,4	66,3	66,3	56,7	48,7
Área de absorción calculada (m^2)	27,18	20,10	14,97	10,57	8,23	6,02

4 En la oficina del problema 1 de este capítulo se han medido experimentalmente los tiempos de reverberación con los resultados siguientes:

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tiempo de reverberación (s)	0,75	0,38	0,22	0,16	0,21	0,19

Estos datos indican que el local es muy apagado. Se plantea la posibilidad de eliminar la moqueta del suelo y reemplazarla por un suelo de terrazo, sin que ello ocasione pérdidas significativas en la calidad acústica del local. Determinar los tiempos de reverberación después de eliminar la moqueta.

SOLUCIÓN

Los tiempos de reverberación resultantes al eliminar la moqueta se pueden estimar tomando los valores medidos como datos de partida, estimando la superficie real de absorción y corrigiendo este valor con la modificación de superficies de absorción al sustituir la moqueta por terrazo.

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tiempo de reverberación (s)	0,75	0,38	0,22	0,16	0,21	0,19
$\bar{\alpha}_{real}$	0,22	0,39	0,58	0,70	0,60	0,63
Área de absorción (m^2)	326	643	1111	1528	1164	1286
Área de absorción eliminada (m^2)	10	15	30	75	115	235
Coeficiente del terrazo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Área de absorción añadida (m^2)	5	5	10	10	10	10
Área de absorción final (m^2)	321	633	1091	1463	1059	1061
$\bar{\alpha}_{nuevo}$	0,22	0,39	0,56	0,64	0,51	0,46
Tiempo de reverberación final (s)	0,77	0,39	0,23	0,18	0,26	0,31

Comparando los valores iniciales y finales del tiempo de reverberación se observa que el incremento al eliminar la moqueta es poco significativo, por lo que esta solución no sería efectiva.

5 En un local de 10 m por 10 m de planta y 4 m de altura se mide un tiempo de reverberación de 2,5 segundos a 500 Hz. Si se colocan dos biombos de tres hojas, de 2 m por 1 m cada hoja, construidos con un material cuyo coeficiente de absorción a 500 Hz es de 0,65, ¿cuál será el nuevo tiempo de reverberación?

SOLUCIÓN

La suma de las superficies de suelo, techo y paredes es 360 m^2, y el volumen del local es de 400 m^3. Del tiempo de reverberación medido se deduce que el coeficiente medio de absorción vale 0,07.

En total se introducen 24 m^2 de superficie con coeficiente de absorción 0,65, esto es, 15,6 m^2 de superficie absorbente.

El nuevo coeficiente de absorción medio vale 0,106 y el nuevo tiempo de reverberación, 1,49 segundos.

6 Una fuente de ruido isótropa que produce un nivel de potencia L_w de 120 dB a 2 kHz está situada en un local de 22,5 m por 13,5 m de planta y 6 m de altura. El tiempo de reverberación a 2 kHz fue de 3 segundos. ¿Cuál será el nivel de presión L_p a esa frecuencia a 13 metros de la fuente?

SOLUCIÓN

$S = 2 \cdot (22,5 + 13,5) \cdot 6 + 2 \cdot 22,5 \cdot 13,5 = 1.050\ m^2$

$V = 22,5 \cdot 13,5 \cdot 6 = 1.822\ m^3$

$\overline{\alpha} = 1 - \exp[-(0,161 \cdot 1.822)/(1.050 \cdot 3)] = 0,09$

Area de absorción $= 0,09 \cdot 1.050 = 94,5\ m^2$

$R = 94,5/(1 - 0,09) = 103,8\ m^2$

$L_p = 120 + 10 \log [1/(4\pi\ 13^2) + (4/103,8)] = 106$ dB

7 Un local mide 16,5 m por 10 m de planta y 5 metros de altura. A 2000 Hz las paredes tienen un coeficiente de absorción de 0,1, el techo, de 0,8 y el pavimento, de 0,01. En el local existen dos máquinas ruidosas, cuyo coeficiente de directividad es 1; la máquina A genera una potencia sonora a 2000 Hz de 1 W; la máquina B, a igual frecuencia, genera una potencia de 0,5 W. ¿Cuál será el nivel de ruido en el punto C, situado a 6,5 metros de la máquina A y a 5 metros de la máquina B?

SOLUCIÓN

La suma de superficies del local es 595 m^2, y la superficie equivalente del local:

$$\Sigma(S\alpha) = 0{,}1 \cdot [2 \cdot (16{,}5 + 10) \cdot 5] + (0{,}01 \cdot 16{,}5 \cdot 10) + (0{,}8 \cdot 16{,}5 \cdot 10) = 160{,}15 \text{ m}^2$$

El coeficiente medio de absorción es $\overline{\alpha} = 160{,}15/595 = 0{,}269$

La constante del local, R, vale $160{,}15/(1 - 0{,}269) = 219{,}13 \text{ m}^2$

Los niveles de potencia son, para la máquina A:

$$L_{wA} = 10 \log (1/10^{-12}) = 120 \text{ dB}$$

y para la máquina B:

$$L_{wB} = 10 \log (0{,}5/10^{-12}) = 117 \text{ dB}$$

La máquina A, en el punto C genera:

$$L_{pA} = 120 + 10 \log [1/(4\pi\ 6{,}5^2) + (4/219{,}13)] = 103{,}04 \text{ dB}$$

La maquina B, en el punto C genera:

$$L_{pB} = 117 + 10 \log [1/(4\pi\ 5^2) + (4/219{,}13)] = 103{,}32 \text{ dB}$$

Como el nivel generado es prácticamente idéntico, ambas simultáneamente producirán 3 decibelios más (la suma), es decir, 106 dB.

8 Una máquina tiene un factor de directividad de 6 en la banda de 2000 Hz en una determinada dirección. En dicha banda y en la dirección indicada el nivel de presión acústica es de 98 dB a 6,1 metros de la máquina. Calcular la potencia radiada por la máquina teniendo en cuenta que las mediciones se han realizado en una cámara anecoica. Repetir el cálculo suponiendo que el factor de directividad vale 1. Explicar la diferencia en los resultados obtenidos.

SOLUCIÓN

Por ser una cámara anecoica, el coeficiente de absorción es próximo a la unidad y se puede tomar R muy grande y por tanto 4/R aproximadamente igual a cero.

El nivel de potencia de la máquina vale:

$$L_w = 98 - 10 \log [6/(4\pi\ 6{,}1^2)] = 116{,}9 \text{ dB}.$$

Por tanto la potencia vale:

$$W = 10^{-12} \cdot 10^{116{,}9/10} = 0{,}49 \text{ W}$$

Si Q valiera la unidad, el nivel de potencia sería de 124,7 dB, y la potencia valdría 2,94 W.

Si el nivel de presión acústica es el mismo en ambos casos pero en el primero se concentra la energía en 1/6 del espacio y en el segundo se reparte uniformemente por todo él, en este segundo caso la potencia emitida debe ser seis veces mayor. Por eso 2,94 es 6 veces superior a 0,49.

9 Una oficina mide 3,4 m por 3,7 m de planta y 2,6 m de altura. El coeficiente de absorción a 500 Hz vale 0,06 para paredes y techo y 0,03 para el suelo. Existe también una puerta que mide 2,2 m por 0,9 m; su coeficiente de absorción vale 0,05 a 500 Hz. En la oficina hay una máquina cuyo nivel de potencia es de 68 dB y cuyo coeficiente de directividad vale 2,8, a la misma frecuencia anterior. Determinar el nivel de presión acústica a 500 Hz a 2 metros de la máquina. ¿Qué superficie de suelo debería recubrirse con moqueta (coeficiente de absorción a 500 Hz: 0,66) para reducir dicho nivel de presión acústica en 3 dB?

SOLUCIÓN

Volumen del local = 32,7 m^3; Superficie total = 62,06 m^2; $\Sigma(S\alpha)$ = 3,326 m^2.

Coeficiente de absorción medio = 3,326/62,06 = 0,0536

$R = 3{,}326/(1 - 0{,}0536) = 3{,}51\ m^2$

A 2 metros de la máquina el nivel de presión acústica valdrá:

$L_p = 68 + 10 \log [(2{,}8/4\pi\ 2^2) + (4/3{,}51)] = 69$ dB

Si queremos disminuir el nivel en 3 dB tendremos 66 dB, lo que requerirá que R valga 6,95 m^2 (se usa la misma fórmula anterior con L_p conocido y despejando R).

Ese nuevo valor de R exige un valor del coeficiente medio de absorción de 0,1008 (se despeja de la fórmula de R).

Para lograrlo será necesario recubrir con moqueta unos 5,25 m^2 de suelo.

7. RUIDO
Control por aislamiento

1 Calcular el índice de aislamiento a las frecuencias centrales de bandas de octava entre 63 y 8000 Hz de:

- Pared de ladrillo hueco de 15 cm de espesor
- Vidrio simple de 6 mm de espesor
- Chapa de acero de 2 mm de espesor

SOLUCIÓN

En todos los casos el procedimiento es similar y consiste en determinar el índice de aislamiento dado por la ley de la masa. Para ello es necesario calcular la masa superficial de cada panel y la frecuencia de coincidencia a partir de las propiedades físicas de cada material (ver tablas de datos).

Masa superficial: $m_s = \rho\, e$

Frecuencia de coincidencia: $f_c = \dfrac{f_c\, e}{e}$

Material	ρ (kg/m³)	Espesor, e (m)	m_s (kg/m²)	$f_c \cdot e$ (Hz mm)	Frecuencia coincidencia (Hz)	Factor de pérdidas, η
Ladrillo	750	0,15	112,5	31.000	206	0,015
Vidrio	2.500	0,006	15	15.200	2.530	0,01
Acero	7.700	0,002	15,4	12.500	6.250	0,001

El valor del índice de aislamiento hasta la frecuencia de coincidencia viene dado por:

$$a = 10 \log (m_s f)^2 - 47$$

Para frecuencias iguales y superiores a la de coincidencia el índice de aislamiento viene dado por:

$$a = 10 \log (m_s f_c)^2 - 47 + 13 \log \eta + 40 \log (f/f_c)$$

Con estas fórmulas se calculan los valores pedidos en el enunciado en dB:

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ladrillo	30,0	36,0	18,3	30,3	42,4	54,4	66,4	78,5
Vidrio	12,5	18,5	24,5	30,5	36,5	16,5	28,6	40,6
Acero	12,7	18,7	24,7	30,7	36,8	42,8	48,8	15,8

Nótese que los cálculos se realizan tomando el valor central de la banda de octava a la que pertenece la frecuencia de coincidencia, y no con el valor exacto de la frecuencia de coincidencia. Para conocer a qué banda pertenece una determinada frecuencia se utiliza la siguiente fórmula:

$$f_{central} = \sqrt{f_i f_s} = f_i\sqrt{2} = f_s\sqrt{2}$$

siendo f_i y f_s la frecuencias inferior y superior de la banda, respectivamente.

Así, la frecuencia de coincidencia 206,6 Hz, pertenece a la banda entre 177 y 353 Hz, y para los cálculos se utilizará el valor central de dicha banda, 250 Hz.

2 La separación entre una sala de máquinas y su sala de control consiste en una pared de 15 m por 4 m, construida con bloque de hormigón en la que existe un ventanal de 10 m por 2 m de vidrio de 6 mm y una puerta de acero de 2 mm de espesor y 4 m^2 de superficie.

El techo de la sala de control está construido con panel mixto de chapa y fibra mineral y se puede considerar que su aislamiento es equivalente al de la chapa de acero. El tamaño es 15 m por 5 m.

Calcular el índice de aislamiento global de esta separación. (Se pueden utilizar los resultados del problema anterior como datos de partida).

SOLUCIÓN

La fórmula para el cálculo del aislamiento, para cada banda de frecuencias, de una pared compuesta es:

$$a_g = 10 \cdot \log \frac{\Sigma S_i}{\Sigma \frac{S_i}{10^{a_i/10}}}$$

Con los resultados del problema anterior se puede construir la tabla de cálculo del índice de aislamiento a cada frecuencia.

Elemento	Superficie m^2	Índice de aislamiento a cada frecuencia							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ladrillo	36	30,0	36,0	18,3	30,3	42,4	54,4	66,4	78,5
Vidrio	20	12,5	18,5	24,5	30,5	36,5	16,5	28,6	40,6
Puerta	4	12,7	18,7	24,7	30,7	36,8	42,8	48,8	15,8
Techo	75	12,7	18,7	24,7	30,7	36,8	42,8	48,8	15,8
SUMA	135								
a_g (dB)		14,0	20,0	21,9	30,6	37,6	24,8	36,7	18,1

3 Si en el caso del problema 2 suponemos que los defectos de aislamiento debidos a rendijas en la puerta y el ventanal son equivalentes a un orificio de 0,14 m^2, ¿cuál será el índice de aislamiento global esperado?

SOLUCIÓN

La fórmula de cálculo es la misma que en el problema anterior pero puede simplificarse considerando $a_{orificio} = 0$ y $S_{orificio} << S_{pared}$, resultando en:

$$a_g = 10 \cdot \log \frac{1}{10^{\frac{-a_{pared}}{10}} + \frac{S_{orif}}{S_{pared}}}$$

En este caso $S_{orif} / S_{pared} = 0,14/135 = 0,001$

y el valor final del índice de aislamiento a cada frecuencia será:

Elemento	Superficie m^2	Índice de aislamiento a cada frecuencia							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pared	135	14,0	20,0	21,9	30,6	37,6	24,8	36,7	18,1
Orificio	0,14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
a_g		13,9	19,5	21,2	27,2	29,2	23,6	29,0	17,9

Puede observarse cómo la existencia de un pequeño orificio produce pérdidas de aislamiento importantes.

4 En una fábrica de papel se emplea una máquina ruidosa que se encuentra dentro de un local de 900 m^2 de superficie y con coeficiente de absorción medio de 0,05. La máquina tiene un nivel de potencia de 105 dB y un factor de directividad de 2. La máquina se encuentra situada a 4 metros de la pared de una sala de control cuya superficie es de 100 m^2 y su coeficiente medio de absorción es de 0,35. El aislamiento de la pared que separa ambos locales es de 30 dB, siendo la superficie de dicha pared de 16 m^2. El operador está situado a 1,5 m de la pared. Calcular el nivel de presión acústica en el puesto de trabajo del operador.

SOLUCIÓN

La constante del local en la sala donde está la máquina vale:

$$R = (0{,}05 \cdot 900)/(1 - 0{,}05) = 47{,}37 \text{ m}^2$$

Junto a la pared de separación, en el local donde está la máquina, el nivel de presión acústica valdrá:

$$L_p = 105 + 10 \log [(4/47{,}37) + (2)/((4\pi) \cdot (4)^2)] = 94{,}7 \text{ dB}$$

En la sala de control la constante del local vale:

$$R = (0{,}35 \cdot 100)/(1 - 0{,}35) = 53{,}85 \text{ m}^2$$

Como el operador está cerca de la pared (distancia inferior a $(S/2\pi)^{1/2}$, donde S es la superficie de la pared que separa ambos locales), el nivel de presión acústica en el puesto del operador vale:

$$L_p = 94{,}7 - 30 + 10 \log [(1/4) + (16/53{,}85)] = 62{,}1 \text{ dB}$$

En un punto de la sala de control alejado de la pared (campo reverberante) el nivel de presión acústica sería:

$$L_p = 94{,}7 - 30 + 10 \log [(16/53{,}85)] = 59{,}43 \text{ dB}$$

5 Dos locales A y B están separados por una pared común que mide 7,5 por 4,5 metros y cuya pérdida por transmisión a 2 kHz es de 30 dB. El local A contiene una fuente sonora que a 2 kHz produce un nivel de presión acústica de 108 dB. Determinar el nivel de presión acústica en el local B sabiendo que la constante de dicho local (R) vale 140 m^2.

SOLUCIÓN

$$L_p = 108 - 30 + 10 \log (1/4 + S_{pared}/R) = 108 - 30 - 10 \log (0{,}491) = 74{,}91 \text{ dB}$$

6 Se desea reducir el ruido provocado por la fuente del problema anterior encerrándola en una cabina que debe producir una reducción de 36 dB en la banda de 2kHz. La cabina se construirá con un material cuya pérdida por transmisión, a esa misma frecuencia,

es de 37 dB. ¿Cuál deberá ser el coeficiente de absorción de las paredes interiores de la cabina?

SOLUCIÓN

$$36 = 37 + 10 \log \bar{\alpha} \; ; \quad \bar{\alpha} = 0{,}794$$

7 A 500 Hz una máquina emite una potencia de 114 dB. La máquina está colocada en un local de 20 m por 20 m de base y 4 m de altura, con un coeficiente medio de absorción, a 1000 Hz, de 0,051. El factor de directividad de la máquina vale 1. Determinar el nivel de ruido soportado a 1000 Hz por un operario situado a 3 m de la máquina.

Se desea reducir dicho nivel de ruido colocando la máquina dentro de una cabina de 1,8 m por 1,2 m de base y 1 m de altura, con dos aberturas de 300 mm por 200 mm. La cabina se construirá con tablero aglomerado de 235 mm de espesor, recubierto interiormente con un material absorbente. La pérdida por transmisión del tablero aglomerado a 1000 Hz es de 19 dB, y el coeficiente de absorción del absorbente, a 1000 Hz, es de 0,63.

Calcular el nivel de ruido soportado por el operario a 1000 Hz, una vez insertada la cabina. Se considera que el suelo de la cabina (que no se recubrirá de absorbente) no contribuye a la transmisión del ruido.

SOLUCIÓN

Superficie del local:

$$[2 \cdot (20 + 20) \cdot 4] + [2 \cdot 20 \cdot 20] = 1.120 \text{ m}^2$$

Constante del local:

$$R = (1.120 \cdot 0{,}051)/(1 - 0{,}051) = 60{,}19 \text{ m}^2$$

Ruido soportado por el operario antes de colocar la cabina:

$$L_p = 114 + 10 \log [(4/60{,}19) + (1/(4\pi) \cdot 3^2)] = 102{,}9 \text{ dB}$$

Superficie de la cabina recubierta por absorbente:

$$[2 \cdot (1{,}20 + 1{,}80) \cdot 1] + (1{,}20 \cdot 1{,}80) - (2 \cdot 0{,}31 \cdot 0{,}2) = 8{,}04 \text{ m}^2$$

Superficie de aberturas:

$$2 \cdot 0{,}31 \cdot 0{,}2 = 0{,}12 \text{ m}^2$$

Área de absorción de la cabina:

$$(0{,}12 \cdot 1) + (8{,}04 \cdot 0{,}63) = 5{,}185 \text{ m}^2$$

Coeficiente medio de absorción:

$$\bar{\alpha} = 5{,}185/(8{,}04 + 0{,}12) = 0{,}6354$$

Pérdida de potencia por inserción (*insertion loss*):

$$IL = 10 \log (0{,}6354) + 30 = -1{,}96 + 19 = 17 \text{ dB}$$

Nivel de potencia fuera de la cabina:

$$114 - 17 = 97 \text{ dB}$$

Nivel de presión a 3 metros:

$$L_p = 97 + 10 \log [(4/60{,}19) + (1/(4\pi) \cdot 3^2)] = 85{,}9 \text{ dB}$$

8 La información facilitada por el fabricante de un panel aislante indica que se trata de un panel con un diseño estructural muy avanzado que permite obtener un índice de aislamiento a 1000 Hz de 39 dB, y por ello justifica un precio de venta muy elevado. El panel tiene una masa superficial de 20 kg/m^2. ¿Se trata realmente de un panel especial o el incremento de precio es injustificado?

SOLUCIÓN

La ley de la masa muestra que para un panel de 20 kg/m^2 el índice de aislamiento a 500 Hz vale:

$$a = 20 \cdot \log (20 \cdot 1.000) - 47 = 39 \text{ dB a } 1000 \text{ Hz}$$

Por lo tanto el panel tiene un aislamiento igual al de cualquier material con la misma masa y el incremento de precio no es justificable.

8. VIBRACIONES MECÁNICAS

1 En el asiento de conductor de una carretilla elevadora se han obtenido los siguientes resultados:

Circulando por el taller (recorrido aleatorio):

Lugar de medición	Dirección de la vibración	Aceleración ponderada (m/s^2)	Duración de la medición (min)
Asiento	frontal	0,65	10
Asiento	lateral	0,60	10
Asiento	vertical	1,25	10
Respaldo	frontal	1,35	5

Elevando cargas (sin circular):

Lugar de medición	Dirección de la vibración	Aceleración ponderada (m/s^2)	Duración de la medición (min)
Asiento	frontal	0,32	5
Asiento	lateral	0,20	5
Asiento	vertical	0,30	5
Respaldo	frontal	0,24	3

Se estima que el conductor permanece sobre la carretilla 6 horas diarias, y el reparto de tiempo entre circulación y elevación de cargas es del 75% y el 25%, respectivamente.

Evaluar la exposición a vibraciones.

SOLUCIÓN

Tipo de exposición

Trabajador expuesto a vibraciones en cuerpo entero.

Ponderación

Ver Real Decreto 1311/2005 (Anexo B, punto 1) o bien ISO 2631-1:1997 (punto 7.2.3) donde se justifica la utilización de los factores multiplicativos k según los tres ejes:

Frontal (X): $k_x = 1,4$

Lateral (Y): $k_y = 1,4$

Vertical (Z): $k_z = 1$

Tiempo de exposición

$6 \cdot 0{,}75 = 4{,}5$ horas (circulando por el taller)

$6 \cdot 0{,}25 = 1{,}5$ horas (elevando cargas)

Aceleración eficaz ponderada referida a 8h

$A(8)_x$ (respaldo) $= 1{,}4 \cdot [((1{,}35)^2 \cdot 4{,}5 + (0{,}24)^2 \cdot 1{,}5)/8]^{1/2} = 1{,}42$ m/s^2

$A(8)_x$ (asiento) $= 1{,}4 \cdot [((0{,}65)^2 \cdot 4{,}5 + (0{,}32)^2 \cdot 1{,}5)/8]^{1/2} = 0{,}71$ m/s^2

$A(8)_y = 1{,}4 \cdot [((0{,}60)^2 \cdot 4{,}5 + (0{,}20)^2 \cdot 1{,}5)/8]^{1/2} = 0{,}64$ m/s^2

$A(8)_z = 1 \cdot [(1{,}25)^2 \cdot 4{,}5 + (0{,}30)^2 \cdot 1{,}5]/8)]^{1/2} = 0{,}95$ m/s^2

Límites RD 1311/2005: valor límite: 1,15 m/s^2
valor que da lugar a acción: 0,5 m/s^2

Valoración de la exposición a vibraciones de cuerpo entero

Se compara el valor de cada eje con el valor límite según indica la norma ISO 2631-1 (punto 7.2.2).

Conclusión

Se supera el valor límite en el eje x. Es necesario adoptar medidas correctoras.

2 Se dispone de los siguientes datos de las vibraciones a las que está sometido un conductor, obtenidas en el asiento y en dirección vertical. Evaluar la exposición a vibraciones según la norma ISO 2631:1997. Suponer un tiempo de exposición de 8 horas diarias.

Frecuencia central banda 1/3 octava (Hz)	Aceleración (m/s^2)
0,5	0,035
0,63	0,042
0,8	0,048
1	0,055
1,25	0,070
1,6	0,085
2	0,11
2,5	0,14
3,15	0,18
4	0,22
5	0,29
6,30	0,35

Continuación

Frecuencia central banda 1/3 octava (Hz)	Aceleración (m/s^2)
8	0,50
10	0,65
12,5	0,90
16	1,50
20	2,70
25	5,50
31,5	2,50
40	1,50
50	1,00
63	0,75
80	0,70

SOLUCIÓN

La aceleración ponderada total se calcula según la expresión:

$$a_w = [\Sigma (w_i a_i)^2]^{1/2}$$

según se indica en el punto 6.4.2 de la norma ISO 2631.

Los factores de ponderación a aplicar son, en este caso los w_k, según la tabla 1 de la norma.

Frecuencia central banda (Hz)	Aceleración (eje z)(m/s²)	Factor ponderación (eje z)	$(a_i w_i)^2$
0,5	0,035	0,418	0,000214
0,63	0,042	0,459	0,000372
0,8	0,048	0,477	0,000524
1	0,055	0,482	0,000703
1,25	0,070	0,484	0,001148
1,6	0,085	0,494	0,001763
2	0,11	0,531	0,003412
2,5	0,14	0,631	0,007804
3,15	0,18	0,804	0,020944
4	0,22	0,967	0,045258
5	0,29	1,039	0,090788
6,3	0,35	1,054	0,136087
8	0,50	1,036	0,268324
10	0,65	0,988	0,412421
12,5	0,90	0,902	0,659019
16	1,50	0,768	1,327104
20	2,70	0,636	2,948776
25	5,50	0,513	7,960862
31,5	2,50	0,405	1,025156
40	1,50	0,314	0,221841
50	1,00	0,246	0,060516
63	0,75	0,186	0,01946
80	0,70	0,132	0,008538
Suma			15,22103

Aceleración ponderada (eje z): $a_w = (15{,}2210)^{1/2} = 3{,}90$ m/s²

Tiempo de exposición: T = 8 h

Aceleración ponderada referida a 8 horas: $A(8) = a_{w,8} = 3{,}90$ m/s²

Valor límite de exposición: 1,15 m/s²

Conclusión: Se supera el valor límite. Deben adoptarse medidas correctoras.

3 En el mango de un taladro manual se han medido los valores que se indican en la tabla. Evaluar la exposición suponiendo que la duración es de 2 h/día trabajando con percutor y de 1 h/día trabajando sin percutor.

Aceleraciones en m/s^2:

Frecuencia central banda (Hz)	Sin percutor			Sin percutor		
	eje x	eje y	eje z	eje x	eje y	eje z
6,3	0,055	0,11	0,20	2	2	4
8	0,07	0,14	0,25	2	2	4,5
10	0,09	0,19	0,35	3	3	4
12,5	0,12	0,21	0,32	3	4	5
16	0,16	0,23	0,45	3,5	6	7
20	0,25	0,30	0,50	5,5	7	9
25	0,40	0,35	0,65	7	8	13
31,5	0,30	0,5	0,80	10	15	20
40	0,35	0,5	1,0	15	25	40
50	0,45	0,7	1,2	25	25	65
63	0,55	1,0	1,6	35	35	35
80	0,65	1,5	2,1	25	30	35
100	0,85	1,9	2,7	40	50	60
125	1,30	3,0	3,6	60	50	40
160	1,80	3,5	5,0	80	50	50
200	2,30	5,5	6,5	80	70	75
250	3,50	8,5	10	110	100	70
315	6,00	13	18	150	100	65
400	11,0	25	55	140	130	65
500	9,0	15	25	150	140	65
630	5,0	10	20	130	100	65
800	3,0	9	25	160	140	65
1000	2,5	10	20	100	100	90
1250	3,5	8	25	90	80	150

SOLUCIÓN

Se procede como en el problema anterior pero considerando en este caso cada uno de los tres ejes.

De acuerdo con lo expuesto en el apartado 4.5 de la norma ISO 5349, párrafos 1 y 2, se determinan los cuadrados de los valores de la aceleración en cada caso:

Vibraciones mano-brazo sin percutor
Tiempo de exposición: 2h

Frecuencia central (Hz)	Aceleración (m/s²)			Factor ponde-ración				
	a_x	a_y	a_z		$(aw)_x^2$	$(aw)_y^2$	$(aw)_z^2$	
6,3	0,055	0,11	0,2	0,727	0,0016	0,0064	0,0211	
8	0,07	0,14	0,25	0,873	0,0037	0,0149	0,0476	
10	0,09	0,19	0,35	0,951	0,0073	0,0326	0,1108	
12,5	0,12	0,21	0,32	0,958	0,0132	0,0405	0,0940	
16	0,16	0,23	0,45	0,896	0,0206	0,0425	0,1626	
20	0,25	0,3	0,5	0,782	0,0382	0,0550	0,1529	
25	0,4	0,35	0,65	0,647	0,0670	0,0513	0,1769	
31,5	0,3	0,5	0,8	0,519	0,0242	0,0673	0,1724	
40	0,35	0,5	1	0,411	0,0207	0,0422	0,1689	
50	0,45	0,7	1,2	0,324	0,0213	0,0514	0,1512	
63	0,55	1	1,6	0,256	0,0198	0,0655	0,1678	
80	0,65	1,5	2,1	0,202	0,0172	0,0918	0,1799	
100	0,85	1,9	2,7	0,160	0,0185	0,0924	0,1866	
125	1,3	3	3,6	0,127	0,0273	0,1452	0,2090	
160	1,8	3,5	5	0,101	0,0331	0,1250	0,2550	
200	2,3	5,5	6,5	0,0799	0,0338	0,1931	0,2697	
250	3,5	8,5	10	0,0634	0,0492	0,2904	0,4020	
315	6	13	18	0,0503	0,0911	0,4276	0,8197	
400	11	25	55	0,0398	0,1917	0,9900	4,7917	
500	9	15	25	0,0314	0,0799	0,2218	0,6162	
630	5	10	20	0,0245	0,0150	0,0600	0,2401	
800	3	9	25	0,0186	0,0031	0,0280	0,2162	
1000	2,5	10	20	0,0135	0,0011	0,0182	0,0729	
1250	3,5	8	25	0,00894	0,0010	0,0051	0,0500	
SUMA					0,7996	3,1585	9,7353	13,6933

$$a^2_{w,\text{sin percutor}} = a^2_{wx} + a^2_{wy} + a^2_{wz} = 13{,}69\ (m/s^2)^2$$

$$a_{w,\text{ sin percutor}} = 3{,}7\ m/s^2$$

Vibraciones mano-brazo con percutor

Tiempo de exposición: 1h

Frecuencia central (Hz)	Aceleración (m/s^2)			Factor ponderación				
	a_x	a_y	a_z		$(aw)_x^2$	$(aw)_y^2$	$(aw)_z^2$	
6,3	2	2	4	0,727	2,1141	2,1141	8,4565	
8	2	2	4,5	0,873	3,0485	3,0485	15,4331	
10	3	3	4	0,951	8,1396	8,1396	14,4704	
12,5	3	4	5	0,958	8,2599	14,6842	22,9441	
16	3,5	6	7	0,896	9,8345	28,9014	39,3380	
20	5,5	7	9	0,782	18,4986	29,9647	49,5334	
25	7	8	13	0,647	20,5118	26,7910	70,7449	
31,5	10	15	20	0,519	26,9361	60,6062	107,7444	
40	15	25	40	0,411	38,0072	105,5756	270,2736	
50	25	25	65	0,324	65,6100	65,6100	443,5236	
63	35	35	35	0,256	80,2816	80,2816	80,2816	
80	25	30	35	0,202	25,5025	36,7236	49,9849	
100	10	50	60	0,160	2,5600	64,0000	92,1600	
125	60	50	40	0,127	58,0644	40,3225	25,8064	
160	80	50	50	0,101	65,2864	25,5025	25,5025	
200	80	70	75	0,0799	40,8577	31,2816	35,9101	
250	110	100	70	0,0634	48,6367	40,1956	19,6958	
315	150	100	65	0,0503	56,9270	25,3009	10,6896	
400	140	130	65	0,0398	31,0472	26,7703	6,6926	
500	150	140	65	0,0314	22,1841	19,3248	4,1657	
630	130	100	65	0,0245	10,1442	6,0025	2,5361	
800	160	140	65	0,0186	8,8566	6,7808	1,4617	
1000	10	100	90	0,0135	1,8225	1,8225	1,4762	
1250	90	80	150	0,00894	0,6474	0,5115	1,7983	
SUMA					653,7786	750,2561	1.400,6235	2.804,66

$$a^2_{w,\text{con percutor}} = 2.804,66\ (m/s^2)^2$$

$$a^2_{w,\text{con percutor}} = 52,96\ m/s^2$$

Se calcula la exposición diaria a vibraciones referida a 8 horas según la expresión (3) del apartado 5.3 de la norma, que permite dicha valoración cuando la exposición consta de

varias operaciones con diferentes magnitudes de las vibraciones y diferentes tiempos de exposición. Según dicha expresión:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^{n} a^2_{w,i}\, T_i}$$ Donde T_0 es 8 h.

$$A(8)_{\text{sin percutor}} = 3{,}7 \sqrt{\frac{2}{8}} = 1{,}85 \text{ m/s}^2$$

$$A(8)_{\text{con percutor}} = 52{,}96 \sqrt{\frac{1}{8}} = 18{,}54 \text{ m/s}^2$$

$$A(8) = \sqrt{1{,}85^2 + 18{,}54^2} = 18{,}63 \text{ m/s}^2$$

Según el Real Decreto 1311/2005, artículo 3, punto 1, el valor límite de exposición diaria normalizado para un período de 8 horas es de 5 m/s^2.

Como se supera este valor, es necesario adoptar medidas correctoras.

4 En un puesto de trabajo de una cadena de montaje se utilizan dos máquinas, una atornilladora y una llave de paso para apretar tuercas. La organización del trabajo es:

Tornillos a montar: 500 ud./turno

Duración de la operación de atornillar: 5,4 segundos

Tuercas a montar: 2.000 ud./turno

Duración de la operación de apriete: 2,2 segundos

Las intensidades de la vibración se indican en la tabla:

Aceleración ponderada en cada eje (m/s^2):

	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
Atornillado	3,4	0,2	4,6
Apriete de tuercas	5,2	3,6	1,1

Evaluar la exposición.

SOLUCIÓN

Tiempos de exposición:

- Atornillado: 500 · 5,4 = 2.700 segundos = 0,75 h
- Apriete de tuercas: 2.000 · 2,2 = 4.400 segundos = 1,22 h

Determinación de la exposición diaria total:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^{n} a^2_{w,i}\, T_i}$$

Confeccionamos el siguiente esquema de cálculo:

	$a_{w,i}$ (m/s²)	$(a_{w,i})^2$	T (h)	$(a_{w,i})^2 T$
Eje x, atornillado	3,4	11,56	0,75	8,67
Eje x, apriete de tuercas	5,2	27,04	1,22	32,9888
Eje y, atornillado	0,2	0,04	0,75	0,03
Eje y, apriete de tuercas	3,6	12,96	1,22	15,8112
Eje z, atornillado	4,6	21,16	0,75	15,87
Eje z, apriete de tuercas	1,1	1,21	1,22	1,4762
SUMA				74,8462

$A^2(8) = 74,85/8 = 9,35$

El valor de la exposición diaria normalizado para un periodo de 8 horas es:

$A(8) = 3,1$ m/s²

El Real Decreto 1311/2005 fija como límite para dicho valor una aceleración de 5 m/s², por lo que nos encontramos ante una situación tolerable; sin embargo, el mismo Real Decreto establece como "valor que da lugar a una acción" una aceleración de 2,5 m/s², por lo cual, al superarse dicho valor, no tenemos evidencia de que no se produzcan efectos adversos, por lo que es aconsejable tomar medidas para disminuir el valor de la exposición.

5 Un tornero trabaja a razón de 30 piezas al día, dedicando 3 minutos a cada una de ellas. Las mediciones arrojan un valor de resultado de 3,6 m/s². Calcular la exposición diaria a vibraciones.

SOLUCIÓN

El tiempo de exposición es 30 piezas · 3 minutos / pieza = 90 minutos = 1,5 horas

$$A(8) = a_{w,T}\sqrt{\frac{T}{T_0}} = 3,6\sqrt{\frac{1,5}{8}} = 1,6 \text{ m/s}^2$$

No se supera el valor límite ni el valor que da lugar a una acción, que son de 5 m/s² y 2,5 m/s², respectivamente.

6 Un trabajador de la construcción está 2,5 h utilizando un martillo neumático. Posteriormente utiliza una tronzadora con la que corta piezas durante 2 horas. El resto de la jornada trabaja en una pulidora. La jornada laboral es de 8 horas. Las mediciones han arrojado los siguientes resultados:

Evaluar la exposición a vibraciones durante esta jornada laboral.

SOLUCIÓN

Trabajo con el martillo neumático:

Operación	Aceleración (m/s^2)
Martillo neumático	4,2
Tronzadora	2,1
Pulidora	1,2

Tiempo de exposición: 2,5 horas

$$A(8) = a_{w,T}\sqrt{\frac{T}{T_0}} = 4{,}2\sqrt{\frac{2{,}5}{8}} = 2{,}3 \text{ m/s}^2$$

Tronzadora:

Tiempo de exposición: 2 horas

$$A(8) = a_{w,T}\sqrt{\frac{T}{T_0}} = 2{,}1\sqrt{\frac{2}{8}} = 1{,}1 \text{ m/s}^2$$

Pulidora:

Tiempo de exposición: 8 h – 2,5 h – 1 h = 4,5 horas

$$A(8) = a_{w,T}\sqrt{\frac{T}{T_0}} = 1{,}2\sqrt{\frac{3{,}5}{8}} = 0{,}8 \text{ m/s}^2$$

Para conocer la exposición total:

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2(8)} = \sqrt{A^2(8)_{\text{martillo}} + A^2(8)_{\text{tronzadora}} + A^2(8)_{\text{pulidora}}} =$$

$$= \sqrt{2{,}3^2 + 1{,}1^2 + 0{,}8^2} = 2{,}7 \text{ m/s}^2$$

No se supera el valor límite (5 m/s^2) pero sí el valor que da lugar a una acción (2,5 m/s^2).

7 En una determinada jornada laboral, un trabajador sufre la siguiente exposición a vibraciones:

Conducción de:	Tiempo de exposición (h)	Aceleración eficaz (m/s^2)
Turismo en camino sin asfaltar	0,5	0,6
Turismo en autopista	1,5	0,3
Camión en autopista	1,5	0,5
Camión en camino irregular	0,5	0,7

Evaluar la exposición diaria a vibraciones de la jornada laboral de 8 horas.

SOLUCIÓN

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0}\sum_{i=1}^{4} a_{wi}^2 T_i} = \sqrt{\frac{1}{8}\left[(0,6)^2 \cdot 0,5 + (0,3)^2 \cdot 1,5 + (0,5)^2 \cdot 1,5 + (0,7)^2 \cdot 0,5\right]} =$$

$$= 0,34 \text{ m/s}^2$$

8 Un guarda forestal conduce su vehículo por caminos sin asfaltar durante una parte variable de su jornada laboral. Las mediciones con un acelerómetro arrojan los siguientes resultados:

$a_{w,x} = 0,56 \text{ m/s}^2$

$a_{w,y} = 0,24 \text{ m/s}^2$

$a_{w,z} = 0,35 \text{ m/s}^2$

Determinar el tiempo máximo permitido de conducción durante la jornada laboral, que es de 8 horas.

SOLUCIÓN

$$A(8) = a_{w,t}\sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

El valor a comparar con el valor límite será el máximo entre 1,4 a_{wx}, 1,4 a_{wy} y a_{wz}.

$1,4\, a_{wx} = 0,78 \text{ m/s}^{2,m}$

$1,4\, a_{wy} = 0,34 \text{ m/s}^2$

$a_{wz} = 0,35 \text{ m/s}^2$

Por lo tanto la dirección x es la que debe usarse para la evaluación.

Para una jornada de 8 horas no se supera el valor límite, por lo que el tiempo de exposición podría ser igual a 8 horas.

Sin embargo, sí existirá limitación de tiempo de exposición si no se desea superar el valor que da lugar a una acción (0,5 m/s^2 para una exposición de 8 horas):

$$T_{EMP} = \frac{VL^2 \cdot 8}{A^2(8)} = \frac{0{,}5^2 \cdot 8}{0{,}78^2} = 3{,}2 \text{ horas}$$

9. AMBIENTE TÉRMICO

1 Determinar el valor de actividad (M) correspondiente a un trabajo de conductor de carretilla elevadora, expresándolo en kcal/h, W y W/m^2.

SOLUCIÓN

168 kcal/h, 108,5 W/m^2, 195 W

El trabajo es ligero, se realiza sentado, con dos brazos, más el consumo metabólico basal. Se extraen los datos de la tabla de consumo metabólico del formulario. Los cambios de unidades se realizan teniendo en cuenta que 1 Watio = 1 Julio/segundo, 1 Julio = 0,24 calorías y que un individuo estándar tiene una superficie cutánea aproximada de 1,8 m^2.

2 Un individuo trabaja continuamente realizando una actividad de 184 W/m^2 en una nave industrial. Se realizan mediciones termohigrométricas en condiciones extremas de calor. Los resultados son los siguientes:

Temperatura del aire, $T_a = 32$ °C

Temperatura de globo, $T_g = 44$ °C

Temperatura húmeda natural, $T_{hn} = 24$ °C

Calcular los minutos de cada hora que podría trabajar según el criterio basado en el índice WBGT (UNE EN 27243) si el resto, hasta cumplir la hora, permanece en un lugar cuyo índice WBGT es de 26 °C con una actividad de trabajo de 135,5 W/m^2 (considerar 1,8 m^2 de superficie corporal).

SOLUCIÓN

184 $W/m^2 \cdot 1{,}8\ m^2 \cdot 3.600\ s \cdot 0{,}24$ calorías/1.000 = 286 kcal/h

135,5 W/m^2 = 211 kcal/h

$WBGT = 0{,}3\ T_g + 0{,}7\ T_{hn} = 0{,}3 \cdot 44 + 0{,}7 \cdot 24 = 30$ °C

Y en el descanso o recuperación = 26 °C

Deel gráfico de valores límite del WBGT, se extrae que el índice WBGT límite en el descanso, es decir, para 211 kcal/h, es 30 °C. El WBGT límite durante el trabajo, es decir, para 286 kcal/h, es 28 °C.

De la expresión VI en la NTP-322 se tiene: $(30 - 26)/[(30 - 28) + (30 - 26)] = 0{,}66$; $0{,}66 \cdot 60 = 40$ minutos

3 Hallar el índice medio de valoración (IMV) aproximado, como indicador de confort (UNE EN ISO 7730) en un taller de cosido de tapicería situado bajo terrado donde se han obtenido los siguientes valores por medición:

Temperatura seca del aire, $T_a = 28$ °C

Temperatura húmeda psicrométrica, $T_h = 20$ °C

Temperatura de globo, $T_g = 33$ °C

Velocidad del aire, $v = 0{,}2$ m/s

El trabajo (actividad de tipo medio) se realiza en posición sentado y supone esfuerzos de tipo ligero con los brazos. La resistencia térmica del vestido es, en general, de 0,5 clo.

SOLUCIÓN

En el diagrama psicrométrico se lee del cruce de T_a y T_h, $P_a = 1{,}75$ kPa y para 28 °C en la curva de saturación, $P_s = 3{,}75$ kPa, por lo que la humedad relativa es:

$$\%HR = (1{,}75/3{,}75) \cdot 100 = 46{,}6\%$$

De la tabla de consumo metábolico se extraen los datos de actividad de forma que:

$$M = \text{sentado} + \text{ligero con los brazos} + \text{basal} = 0{,}3 + 1{,}5 + 1 = 2{,}8 \text{ kcal/min} = 168 \text{ kcal/h}$$

De la tabla 1 para M = 160 kcal/h en la NTP-74 se obtiene con los datos del problema:

$$IMV_0 = 1{,}35$$

A continuación se corrige por humedad y radiación de forma que:

$$IMV = IMV_0 + f_h (HR - 50) + f_r (T_r - T_a) = 1{,}35 + 0{,}004 \cdot (46{,}6 - 50) + 0{,}09 \cdot \cdot (35{,}2 - 28) = 1{,}98$$

Se obtiene un valor para el índice IMV de aproximadamente 1,98.

Los valores de f_h y f_r se obtienen de tablas para actividad media.

El valor de $T_r = T_g + 1{,}9v^{0{,}5} (T_g - T_a) = 33 + 0{,}2^{0{,}5} \cdot (33 - 28) = 35{,}2$ °C

4 Obtener el valor de la humedad relativa del aire en porcentaje, sabiendo que la temperatura húmeda psicrométrica es de 17 °C y la temperatura seca del aire es de 25 °C. ¿Cuál es el valor de la presión parcial del vapor de agua? ¿Cuál es la temperatura de rocío? ¿Cuál es el valor de la presión de saturación del vapor de agua?

SOLUCIÓN

%HR = 42,9%.

P_a = 1,35 kPa

Temperatura de rocío: entre 11 °C y 12 °C

P_s = 3,15 kPa

En el diagrama psicrométrico se lee del cruce de 25 °C y 17 °C, en el eje de ordenadas P_a = 1,35 kPa. La vertical de 25 °C nos muestra en la curva de saturación, la presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de 25 °C, P_s = 3,15 kPa. La humedad relativa es el cociente de ambas presiones: 1,35/3,15 = 42,85%.

La temperatura de rocío es la que daría como resultado la condensación (saturación del vapor de agua) si se enfría el ambiente manteniendo la humedad absoluta. Se parte del cruce de 25 °C y 17 °C y se corre en horizontal hasta la curva de saturación obteniendo un punto cuya proyección en el eje de temperaturas es de 11,5 °C aproximadamente.

5 Estimar cuál es teóricamente la temperatura del aire óptima para el confort en un puesto de trabajo en el que no hay focos de radiación importantes, la velocidad del aire es inapreciable, la resistencia térmica del vestido es de 0,75 clo, la humedad relativa es del 50% y la actividad, sedentaria (tomar 110 kilocalorías/hora).

SOLUCIÓN

En la tabla 1 de la NTP-74 para 110 kcal se buscan los valores de IMV más cercanos a cero que supongan velocidades de aire v < 0,1 m/s y el vestido de 0,75 clo. Los valores son – 0,25 y 0,27, que corresponden a temperaturas del aire entre 22 °C y 24 °C.

6 Un individuo aclimatado al calor trabaja de pie al sol realizando esfuerzos pesados con los dos brazos durante 20 minutos, trabajo moderado con el cuerpo durante 20 minutos y el resto hasta cumplir la hora, manual ligero. Se obtienen por medición los siguientes valores de las variables termohigrométricas:

Temperatura del aire, T_a = 32 °C

Temperatura de globo, T_g = 45 °C

Temperatura húmeda natural, T_{hn} = 24 °C

Calcular el índice WBGT y el índice $WBGT_{max}$, límite al que puede estar expuesto según la UNE EN 27243.

SOLUCIÓN

Cálculo del índice WBGT:

$$WBGT = 0{,}7\ T_{hn} + 0{,}2\ T_g + 0{,}1\ T_a = 29\ ^\circ C$$

Cálculo de $WBGT_{max}$:

En primer lugar hay que estimar el consumo metabólico (M), según tablas:

Esfuerzos pesados con los dos brazos: 3,1 kcal/min

Trabajo moderado con el cuerpo: 5,6 kcal/min

Trabajo manual ligero: 1,0 kcal/min

$M = (3{,}1 + 5{,}6 + 1{,}0)$ kcal/min $\cdot$ (20 min/60 min) = 4,23 kcal /min = 254 kcal/h

Interpolando en el gráfico de la norma UNE, tenemos que $WBGT_{max}$ vale también 29 °C aproximadamente.

7 Un individuo aclimatado al calor trabaja continuamente realizando una actividad de 285 kcal/h ($WBGT_{max}$ = 28 °C) en una nave industrial. Se realizan mediciones termohigrométricas en condiciones extremas de calor. Los resultados son los siguientes:

Temperatura del aire, T_a = 32 °C

Temperatura de globo, T_g = 44 °C

Temperatura húmeda natural, T_{hn} = 24 °C

Calcular los minutos de cada hora que podría trabajar según el criterio basado en el índice WBGT (UNE EN 27243) si el resto, hasta cumplir la hora, permanece en un lugar cuyo índice WBGT es de 26 °C con una actividad de trabajo de 210 kcal/h, donde el $WBGT_{max}$ = 30 °C.

SOLUCIÓN

A: $WBGT_{\text{lím descanso}} = 30\ ^\circ C$

B: $WBGT_{\text{descanso}} = 26\ ^\circ C$

C: $WBGT_{\text{trabajo}} = WBGT = 0{,}7\ T_{hn} + 0{,}3\ T_g = 30\ ^\circ C$

D: $WBGT_{\text{lim trabajo}} = 28\ ^\circ C$

$$f_t = \frac{A - B}{(C - D) - (A - B)} \cdot 60 = \frac{4}{2 + 4} \cdot 60 = 40 \text{ min.}$$

8 En un local de trabajo la presión parcial del vapor de agua es P_a = 2,1 kPa, mientras que la presión del vapor de agua en condiciones de saturación a la misma temperatura es P_s = 3,0 kPa. ¿Cuál es el valor de la humedad relativa en %?

SOLUCIÓN

Interpolando en el diagrama psicrométrico, se obtiene un valor de HR = 70%.

9 En una oficina se desea valorar el ambiente térmico del local, en verano, cuando funciona el aire acondicionado. El servicio de prevención lleva a cabo la correspondiente evaluación según la norma UNE EN ISO 7730, siendo los resultados de las mediciones los siguientes:

Temperatura seca del aire, T_a = 22 °C

Temperatura radiante media, T_r = 28 °C

Velocidad del aire, v = 0,3 m/s

Humedad relativa, HR = 60%

Factor de corrección por la humedad, f_h = 0,0095

Factor de corrección por la radiación térmica, f_r = 0,146

Atuendo veraniego (resistencia térmica del vestido), I = 0,5 clo

Los datos indican que el índice medio de valoración inicial es $IMV_0 = -1,36$

¿Cuál es el valor del IMV final que valora el grado de disconfort térmico? ¿Se pueden considerar adecuadas las condiciones de trabajo? En caso de existir quejas, ¿a qué sensación térmica serán debidas?

SOLUCIÓN

IMV = – 0,39

Se considera adecuado al ser menor de 0,5 en valor absoluto. Si existen quejas serán mayoritariamente por frío.

10 Determinar la evaporación máxima del sudor, en una situación de trabajo en la que la temperatura cutánea es de 35 °C y la presión parcial del vapor de agua en el aire a 34 °C es de 2,6 kPa, mientras que la resistencia evaporativa de la capa limitante de aire y atuendo de vestir es R_t = 0,01658 kPa · m²/W.

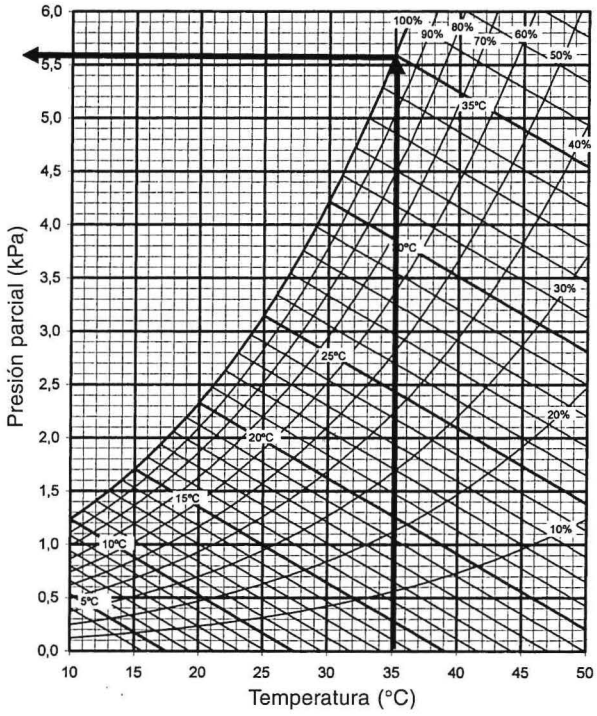
SOLUCIÓN

El valor de la presión en saturación del vapor de agua a 35 °C se extrae del diagrama psicrométrico: P_s = 5,6 kPa

La expresión de la evaporación máxima que se puede producir en un ambiente determinado es:

$$E_{max} = (P_s - P_a)/R_t$$

Sustituyendo: $E_{max} = 5,6 - 2,6/0,01658 = 181$ W/m²



11 Una situación de trabajo supone la exposición a un ambiente muy caluroso. Las variables termohigrométricas medidas o estimadas son las siguientes:

Consumo metabólico, $M = 207{,}5\ W/m^2$

Temperatura seca del aire, $T_a = 37\ ºC$

Presión parcial del vapor de agua en el aire, $P_a = 2{,}11\ kPa$

Temperatura radiante media, $T_r = 40\ ºC$

Resistencia térmica, $I = 0{,}5$ clo ($0{,}0775\ m^2\,ºC/W$)

Velocidad, $v = 0{,}5\ m/s$

Con estos valores se deduce que los términos de intercambio de calor en W/m^2 son los siguientes:

Convección, $C = -4{,}93\ W/m^2$

Radiación, $R = -9{,}97\ W/m^2$

Convección respiratoria, $C_{res} = -0{,}58\ W/m^2$

Evaporación respiratoria, $E_{res} = 12{,}61\ W/m^2$

Evaporación máxima, $E_{max} = 253{,}96\ W/m^2$

Determinar los tiempos máximos de exposición para minimizar el riesgo de incremento de la temperatura interna y deshidratación de un individuo no aclimatado al calor en límite de peligro.

SOLUCIÓN

Valores requeridos:

Humedad requerida de la piel: $w_{req} = 210{,}37/253{,}96 = 0{,}83$

Eficacia evaporativa: $r = 1 - w^2/2 = 0{,}66$

Sudoración requerida: $SW_{req} = E_{req}/r = 210{,}37/0{,}66 = 320{,}10\ W/m^2$

Valores previstos:

Humedad máxima de la piel: $w_{max} = 0{,}85$ (no aclimatado: nivel peligro, extraído de tabla de máximos).

Humedad previsible de la piel; $w_p = w_{req} = 0{,}83$

$w_p < w_{max}$, entonces $E_p = w_p E_{max} = 210{,}37\ W/m^2$

Sudoración previsible de la piel; $SW_p = E_p/r = 320{,}10\ W/m^2$

$SW_p > SW_{max}$ (250 W/m^2 extraído de tabla de máximos) por lo que se recalcula w_p

$w_p E_{max} = r_p SW_{max}$

$w_p 253{,}96 = (1 - w_p^2/2) \cdot 250$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$w_p = 0{,}73$

$E_p = w_p E_{max} = 184{,}12\ W/m^2$

$SW_p = SW_{max} = 250\ W/m^2$

$T_{max} = 60\ Q_{max}/(E_{req} - E_p) = 60 \cdot 60/(210{,}37 - 184{,}12) = 137$ min

$T'_{max} = 60\ D_{max}/SW_p = 60 \cdot 1.250/250 = 300$ min

El tiempo máximo de permanencia es el menor de ellos, es decir, 137 minutos.

12 Un puesto de trabajo consta de dos secuencias de 30 y 15 minutos, respectivamente. Efectuados los cálculos pertinentes basados en las variables termohigrométricas, se obtienen los siguientes valores de la evaporación requerida y la máxima que permite el ambiente para cada secuencia.

Valores en	1ª secuencia (periodo caluroso)	2ª secuencia (periodo de recuperación)
E_{req} (W/m^2)	234,5	150
E_{max} (W/m^2)	182,4	250

Averiguar el tiempo máximo recomendable para un individuo no aclimatado al calor, suponiendo ese ritmo secuencial de trabajo.

SOLUCIÓN

$$E_{req}^{global} = \frac{E'_{req}\, t_1 + E''_{req}\, t_2}{t_1 + t_2} = \frac{234{,}5 \cdot 30 + 150 \cdot 15}{45} = 206 \text{ W/m}^2$$

$$E_{max}^{global} = \frac{E'_{max}\, t_1 + E''_{max} \cdot t_2}{t_1 + t_2} = \frac{250 \cdot 15 + 182{,}4 \cdot 30}{45} = 204{,}9 \text{ W/m}^2$$

$$w_{req} = \frac{206}{204{,}9} = 1{,}005$$

$$w_p = 0{,}85$$

$$E_p = 0{,}85 \cdot 204{,}9 = 174 \text{ W/m}^2$$

$$SW_p = \frac{174}{1 - \frac{0{,}85^2 \cdot}{2}} = 272{,}4 \text{ W/m}^2$$

$$SW_{max} = 200 \text{ W/m}^2$$

$$w_p^2\, E_{max} = \left(1 - \frac{w_p^2}{2}\right) \cdot SW_{max}$$

$$100\, w_p^2 + 204{,}9\, w_p - 200 = 0$$

$$w_p = \frac{-204{,}9 \pm \sqrt{204{,}92^2 - 4 \cdot 100 \cdot (-200)}}{2 \cdot 100} = 0{,}72$$

$$E_p = 0{,}72 \cdot 204{,}9 = 147{,}9 \text{ W/m}^2$$

$$SW_p = 200 \text{ W/m}^2$$

$$T_{max} = \frac{60 \cdot 50}{206 - 147{,}9} = 51{,}6 \text{ min (para evitar incremento térmico)}$$

$$T'_{max} = \frac{60 \cdot 1.000}{206 - 147{,}9} = 300 \text{ min (para evitar deshidratación)}$$

El tiempo máximo de permanencia es un poco mayor que el de las dos secuencias. No es posible el trabajo continuado, ya que la segunda secuencia no sirve para recuperar al individuo de la situación creada al ganar calor en la primera.

13 Una operación en una fundición consiste en conducir una pala excavadora para apilar material candente (escoria) proveniente de fundición. La cabina de la máquina carece de climatización y en su interior se han obtenido los siguientes valores:

Temperatura del aire, $T_a = 36$ °C

Temperatura de globo, $T_g = 60$ °C

Presión parcial del vapor de agua, $P_a = 1{,}7$ kPa

Velocidad del aire, $v = 0{,}6$ m/s

Resistencia térmica del vestido, $I = 0{,}25$ clo

Con estos datos la evaporación máxima del sudor calculada es $E_{max} = 483{,}6$ W/m^2; la evaporación requerida es $E_{req} = 378$ W/m^2 y la evaporación previsible calculada es $E_p = 315$ W/m^2.

Suponiendo que el individuo está aclimatado al calor, calcular el tiempo máximo de trabajo en estas condiciones para prevenir un incremento térmico en situación de alarma.

SOLUCIÓN

La expresión del tiempo máximo de permanencia para evitar el incremento térmico, es:

$$T_{max} = 60\ Q_{max}/(E_{req} - E_p)$$

Introduciendo los datos del enunciado en la expresión anterior:

$$T_{max} = 60 \cdot 50/(378 - 315)$$

$$T_{max} = 47 \text{ min}$$

14 Calcular el tiempo máximo de permanencia, en situación de alarma, para prevenir el incremento de la temperatura interna del organismo, cuando una persona no aclimatada al calor está reparando una línea de fabricación de papel, si se dispone de los siguientes datos:

Actividad del trabajo, $M = 240$ W/m^2

Convección, $C = 9$ W/m^2

Radiación, $R = -15$ W/m^2

Convección respiratoria, $C_{res} = 10$ W/m^2

Evaporación respiratoria, $E_{res} = 9$ W/m^2

Evaporación máxima del sudor, $E_{max} = 204{,}9$ W/m^2

SOLUCIÓN

Valores requeridos:

Humedad requerida de la piel: $w_{req} = 227/204,9 = 1,1$

Eficacia evaporativa: $r = 1 - w^2/2 = 0,6387$

Sudoración requerida: $SW_{req} = E_{req}/r = 174,165/0,6387 = 272,66\ W/m^2$

Valores previstos:

Humedad máxima de la piel: $w_{max} = 0,85$ (no aclimatado, nivel peligro, extraído de tabla de máximos).

Humedad previsible: $w_p = w_{req} = 1,1$

Como $w_p > w_{max}$ se hace $w_p = 0,85$

$E_p = w_p E_{max} = 174,165\ W/m^2$

$SW_p = E_p/r = 272,66\ W/m^2$

Como $SW_p > SW_{max}$ (250 W/m^2, extraído de tabla de máximos) se recalcula w_p

$w_p \cdot E_{max} = r_p \cdot SW_{max}$

$w_p \cdot 204,9 = (1 - w_p^2/2) \cdot 200$

$2,05\ w_p + w_p^2 - 2 = 0$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$w_p = 0,721$

$E_p = w_p E_{max} = 147,79\ W/m^2$

$SW_p = SW_{max} = 200\ W/m^2$

$T_{max} = 60\ Q_{max}/(E_{req} - E_p) = 60 \cdot 50/(227 - 147,79) = 38$ minutos para evitar incremento térmico.

$T'_{max} = 60\ D_{max}/200 = 60 \cdot 1.000/200 = 300$ minutos para evitar deshidratación.

Se elige el valor del tiempo menor, $T_{max} = 38$ minutos.

15 Un puesto de trabajo se halla en un ambiente donde la presión parcial del vapor de agua es $P_a = 2,65$ kPa y la temperatura seca del aire es $T_a = 32$ °C. Mediante el manejo del diagrama psicrométrico, determinar: temperatura húmeda psicrométrica, presión parcial del vapor de agua en saturación (P_s), humedad relativa (%HR) y temperatura de punto de rocío.

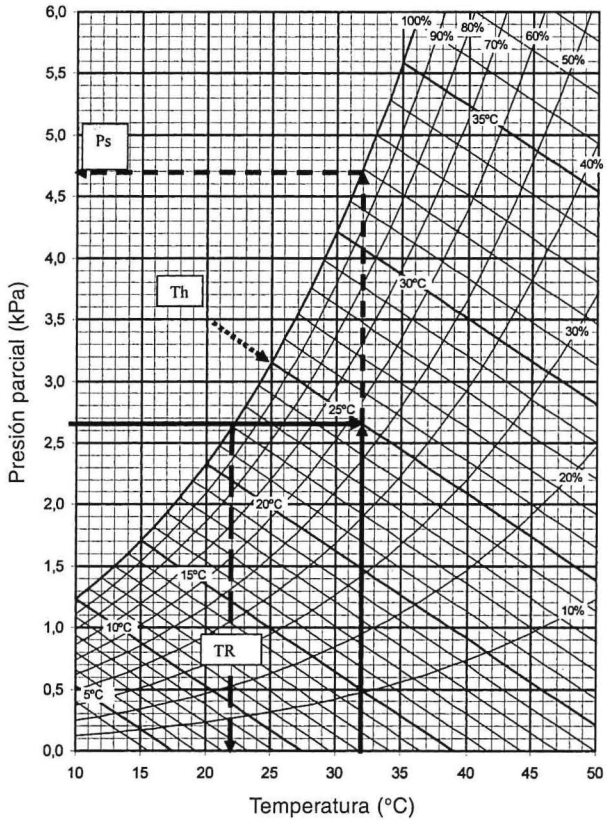
SOLUCIÓN

La proyección de la vertical de 32 °C hasta la curva de saturación (100%) nos da la presión en saturación del vapor de agua P_s = 4,7 kPa.

La intersección de la horizontal de P_a = 2,65 kPa con la vertical de 32 °C nos coloca sobre la diagonal de la temperatura húmeda, T_h = 25 °C.

Sabiendo que la humedad relativa es HR = P_a/P_s, %HR = 56,4%

Enfriando las condiciones del local sin variar la humedad absoluta (misma presión parcial que el vapor de agua) hasta que condense el vapor de agua (HR = 100%) se tiene la temperatura de rocío $T_{rocío}$ = 22 °C.



10. RADIACIONES NO IONIZANTES

1 ¿Qué valor aproximado de intensidad de corriente eléctrica continua debería utilizar, como mínimo, un proceso industrial electrolítico para que a 2 metros de las cubas se alcanzara el valor que da lugar a una acción, para el campo magnético estático, propuesto por la Directiva 2004/40/CE, relativa a la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores expuestos a campos electromagnéticos?

SOLUCIÓN

La densidad de flujo magnético (B) a una distancia (d) de un conductor de corriente es función de la intensidad de la corriente que circula por aquél y se cumple la siguiente expresión:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2 \pi d}$$

$$I = \frac{B\ 2 \pi d}{\mu_0} = \frac{0{,}2 \cdot 2 \pi 2}{4\ \pi\ 10^{-7}} = 2.000.000 \text{ Amperios}$$

donde: B es la densidad de flujo magnético en Teslas (T)

d es la distancia del conductor al punto en cuestión en metros

μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Weber/m^2 ó T · m/A)

En este caso B = 0,2 T, que es el valor que da lugar a una acción propuesto por la Directiva 2004/40/CE.

2 Calcular la distancia de seguridad a una antena, cuya potencia nominal es de 150 W, que emite radiación electromagnética de frecuencia 1,8 GHz, en la dirección correspondiente a 10° de la normal a la antena donde la ganancia es de 15 dB, según criterios propuestos por la Directiva 2004/40/CE.

SOLUCIÓN

La Directiva 2004/40/CE establece como valor que da lugar a una acción para la magnitud densidad de potencia S = 45 W/m^2, cuando la frecuencia es de 1,8 GHz.

Partiendo de su valor en decibelios, se tiene en cuenta que el coeficiente de ganancia es:

$$G = P_e/P$$

Entonces:

$$L_g = 10\log \frac{P_e}{P}$$

$$G = 10^{L_g/10} = 10^{10/10} = 10$$

siendo P_e la potencia emitida en la dirección señalada.

La distancia de seguridad se calcula con la siguiente expresión:

$$d = \sqrt{\frac{P\,G}{4\,\pi\,S_{lim}}} = \sqrt{\frac{150 \cdot 10}{4\,\pi\,45}} = 2{,}7 \text{ m}$$

3 Averiguar la ganancia en dB de la antena del ejercicio anterior en la dirección correspondiente a 40° de la normal si la distancia de seguridad, con el criterio mencionado en el ejercicio anterior, es de 1 m.

SOLUCIÓN

Despejamos el valor de G, de la expresión ya conocida de la distancia de seguridad:

$$d = \sqrt{\frac{P\,G}{4\,\pi\,S_{lim}}}$$

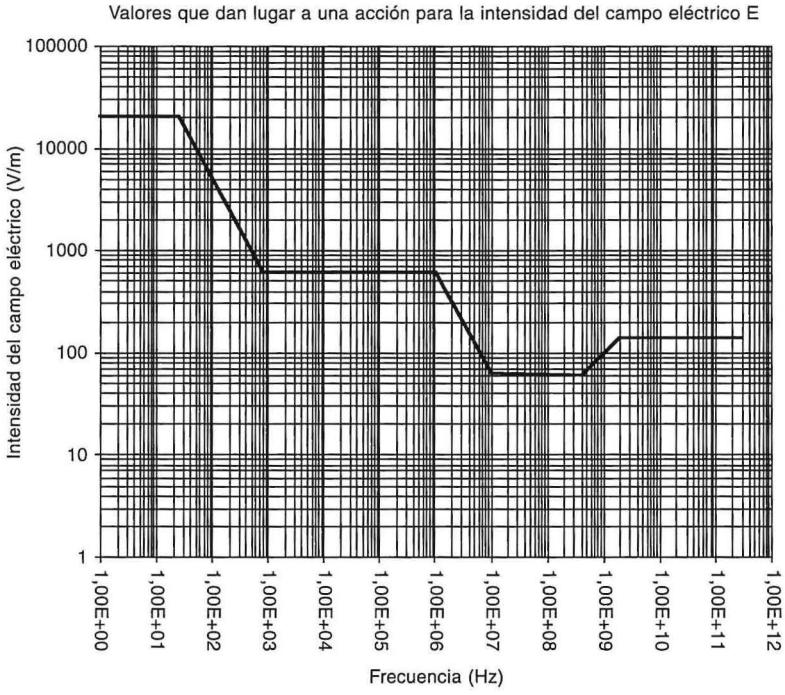
$$G = \frac{4\,\pi\,S_{lim}\,d^2}{P}$$

$$G = 3{,}77$$

El valor en dB se obtiene: $L_g = 10 \log 3{,}77 = 5{,}8$ dB

4 Representar gráficamente, frente a la frecuencia, el valor de la intensidad del campo eléctrico propuesto, como valor que da lugar a una acción, por la Directiva 2004/40/CE para frecuencias entre 0 Hz y 300 GHz. Anotar las características de la gráfica.

SOLUCIÓN



Observaciones:

1. No existen valores de E para campos estáticos (f = 0).
2. Los valores más restrictivos corresponden a las frecuencias entre 10 y 400 MHz, máxima absorción de calor en el organismo.
3. Entre 10 Hz y 1 KHz la restricción aumenta con fuerte pendiente. Es debida al aumento de la capacidad del campo de inducir corriente eléctrica en el organismo.
4. Desde 1 GHz a las frecuencias de infrarrojos, se mantiene el valor de la restricción ambiental a pesar de aumentar mil veces la frecuencia. A esas frecuencias el calor de la radiación se disipa superficialmente (no obstante, varía el tiempo de ponderación del valor de referencia).

5 Una antena de potencia 1.000 W emite en una cierta dirección con una ganancia de 10 dB. A 13 metros en esa misma dirección la radiación incide en un muro de atenuación 15 dB. ¿Cuál es la densidad de potencia al otro lado del muro?

SOLUCIÓN

La ganancia es $G = P_e/P$, siendo P_e la potencia de emisión y P la nominal.

La atenuación debida al muro es $A_t = P_e/P_t$, donde P_t es la potencia transmitida al otro lado del muro.

La densidad de potencia se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{P\,G}{4\,\pi\,d^2\,A_t}$$

Por otro lado $G = 10^{Lg/10}$ y $A_t = 10^{La/10}$, por lo que $G = 10$ y $A_t = 31{,}6$.

Sustituyendo en la expresión de la densidad de potencia:

$$S = \frac{1.000 \cdot 10}{4\,\pi\,13^2 \cdot 31{,}6} = 0{,}15\ W/m^2$$

6 Evaluar el riesgo higiénico debido a la presencia de radiación electromagnética para un individuo que controla el funcionamiento de un horno de secado mediante radiofrecuencias de 27 MHz. Durante la mayor parte de la jornada se halla a 2 metros de distancia del horno debiendo aproximarse de vez en cuando para realizar breves intervenciones en la alimentación y descarga. De la observación del proceso se determina que en las peores condiciones (periodos de 6 minutos de máxima exposición) permanece 20 segundos junto al horno donde las mediciones ambientales arrojan valores de E = 140 V/m y H = 0,3 A/m, 200 segundos a 50 cm del horno donde E = 32 V/m y H = 0,07 A/m, y el resto (140 segundos) a 2 metros del horno, donde E = 15 V/m y H = 0,04 A/m.

SOLUCIÓN

Se hallan los valores de E y H medios ponderados en el tiempo para 6 minutos. En realidad deben ser los cuadrados de E y H los que se ponderan porque la absorción de calor (SAR) es proporcional al cuadrado de esas magnitudes.

Después se comparan los resultados con los valores que dan lugar a una acción que propone la Directiva 2004/40/CE:

$$\overline{E} = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_i E_i^2\,T_i} = \sqrt{\frac{1}{360}(140^2 \cdot 20 + 32^2 \cdot 200 + 15^2 \cdot 140)} = 41{,}8\ V/m$$

$$\overline{H} = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_i H_i^2\,T_i} = \sqrt{\frac{1}{360}(0{,}3^2 \cdot 20 + 0{,}07^2 \cdot 200 + 0{,}04^2 \cdot 140)} = 0{,}09\ A/m$$

Los valores que dan lugar a una acción para una frecuencia de 27 MHz son E = 61 V/m y H = 0,16 A/m, que no son superados en este caso.

7 En la azotea de un edificio de vecinos se instala una antena de telefonía móvil de 2 GHz de frecuencia de emisión y potencia nominal 1.000 W. En dirección vertical la ganancia es de – 15 dB. Calcular la densidad de potencia que se puede esperar en el interior del ático situado inmediatamente debajo de la antena a una distancia aproximada de 3 metros. Se considera que la atenuación del forjado es prácticamente 0 dB.

SOLUCIÓN

Se utiliza la expresión de la densidad de potencia en función de la distancia:

$$S = \frac{P\,G}{4\,\pi\,d^2\,A_t}$$

Sabiendo que $G = 10^{Lg/10} = 10^{-15/10} = 0{,}032$ y que la atenuación es de 0 dB ($A_t = 1$), se sustituye en la expresión anterior:

$$S = \frac{1.000 \cdot 0{,}032}{4\,\pi\,3^2 \cdot 1} = 0{,}28\ W/m^2$$

FORMULARIO DE HIGIENE INDUSTRIAL

CONTENIDO:

A. Contaminantes químicos

B. Ventilación general

C. Ventilación por extracción localizada

D. Ruido

D.1. Evaluación

D.2. Protectores auditivos

D.3. Control por absorción

D.4. Control por aislamiento

E. Vibraciones mecánicas

F. Ambiente térmico

G. Radiaciones

ANEXOS

1. Estadística general

2. Conversión de unidades

3. Constantes

4. Prefijos en unidades

A. CONTAMINANTES QUÍMICOS

GASES IDEALES

$PV = n\,R\,T$

donde:
P: presión del gas (atm)
V: volumen del gas (l)
n: número de moles
R: constante de los gases ideales (0,082 atm·l/mol·K)
T: temperatura del gas (K)

$$\frac{(P_1\ V_1)}{T_1} = \frac{(P_2\ V_2)}{T_2}$$

para dos gases 1 y 2

CÁLCULO DEL TIEMPO MÍNIMO DE MUESTREO O DEL CAUDAL NECESARIO

Exposición diaria

$$T = \frac{LQ}{(VLA\text{-}ED)\cdot Q}$$

donde:
T: tiempo mínimo de muestreo
LQ: límite de cuantificación
VLA-ED: valor límite de exposición diaria
Q: caudal de muestreo

Exposición de corta duración

$LQ \leq (VLA\text{-}EC)\cdot Q \cdot 15$

donde:
VLA-EC: valor límite de corta duración
Q: caudal de muestreo

VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN

Conversión de unidades del VLA

$$VLA_{\frac{mg}{m^3}} = \frac{(VLA_{ppm})(M)}{24{,}04}$$

donde:
VLA: valor límite ambiental de exposición
M: peso molecular del agente químico (g/mol)
24,04 litros: volumen molar del gas a 20 °C y 1 atm

Exposición diaria

$$ED = \frac{\Sigma c_i t_i}{8}$$

donde:
ED: exposición diaria
c_i: concentración de cada agente químico (mg/m^3 o ppm)
t_i: tiempo de exposición asociado a cada agente (h)

Exposición de corta duración

$$EC = \frac{\Sigma c_i t_i}{15}$$

donde:
EC: exposición de corta duración
c_i: concentración de cada agente químico (mg/m^3 o ppm) en cada período de 15 min
t_i: tiempo de exposición asociado a cada valor de c_i (min)

Exposición semanal

$$ES = \frac{\Sigma ED_i}{5}$$

donde:
ES: exposición semanal
ED_i: exposición diaria en los distintos días de la semana

Índices de exposición

$$I_{ED} = \frac{ED}{VLA\text{-}ED}$$

$$I_{EC} = \frac{EC}{VLA\text{-}EC}$$

donde:
I_{ED}: índice de exposición diaria
I_{EC}: índice de exposición de corta duración
ED: exposición diaria
EC: exposición de corta duración
VLA-ED: valor límite de exposición para 8 h
VLA-EC: valor límite de exposición de corta duración

Efectos combinados de los agentes químicos

$$I_{global} = \Sigma I_i$$

donde:
I_{global}: índice de exposición a distintos agentes
I_i: índice de exposición diaria o de corta duración a los distintos agentes (mg/m^3 o ppm)

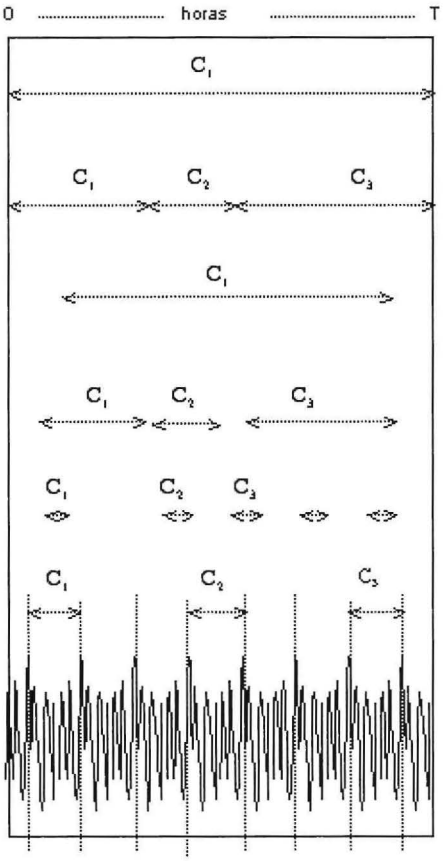
Porcentaje de la exposición máxima permitida

$\%EMP = I \cdot 100$

donde:

I: índice de exposición

TIPOS DE MUESTREO



Tipo A: $ED = C_1 \frac{T}{8}$

Tipo B: $ED = \frac{C_1 \cdot t_1 + C_2 \cdot t_2 + C_3 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3} \cdot \frac{T}{8}$

Tipo C: $ED \cong C_1 \frac{T}{8}$

Tipo D: $ED \cong \frac{C_1 \cdot t_1 + C_2 \cdot t_2 + C_3 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3} \cdot \frac{T}{8}$

Tipo E: ED: estimación del valor más probable de la media y su intervalo de confianza (ver apartado más adelante)

Tipo F: $ED \cong \frac{C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n}{N} \cdot \frac{T}{8}$

o estimación del valor más probable de la media y su intervalo de conzianza

GRUPOS HOMOGÉNEOS DE EXPOSICIÓN (GHE)

$$p = \frac{\frac{(N - N_o)!}{n!\,(N - N_o - n)!}}{\frac{N!}{n!\,(N-n)!}}$$

donde:

p: probabilidad de encontrar en el GHE al menos uno de los trabajadores de exposición más alta

N: número total de trabajadores del grupo

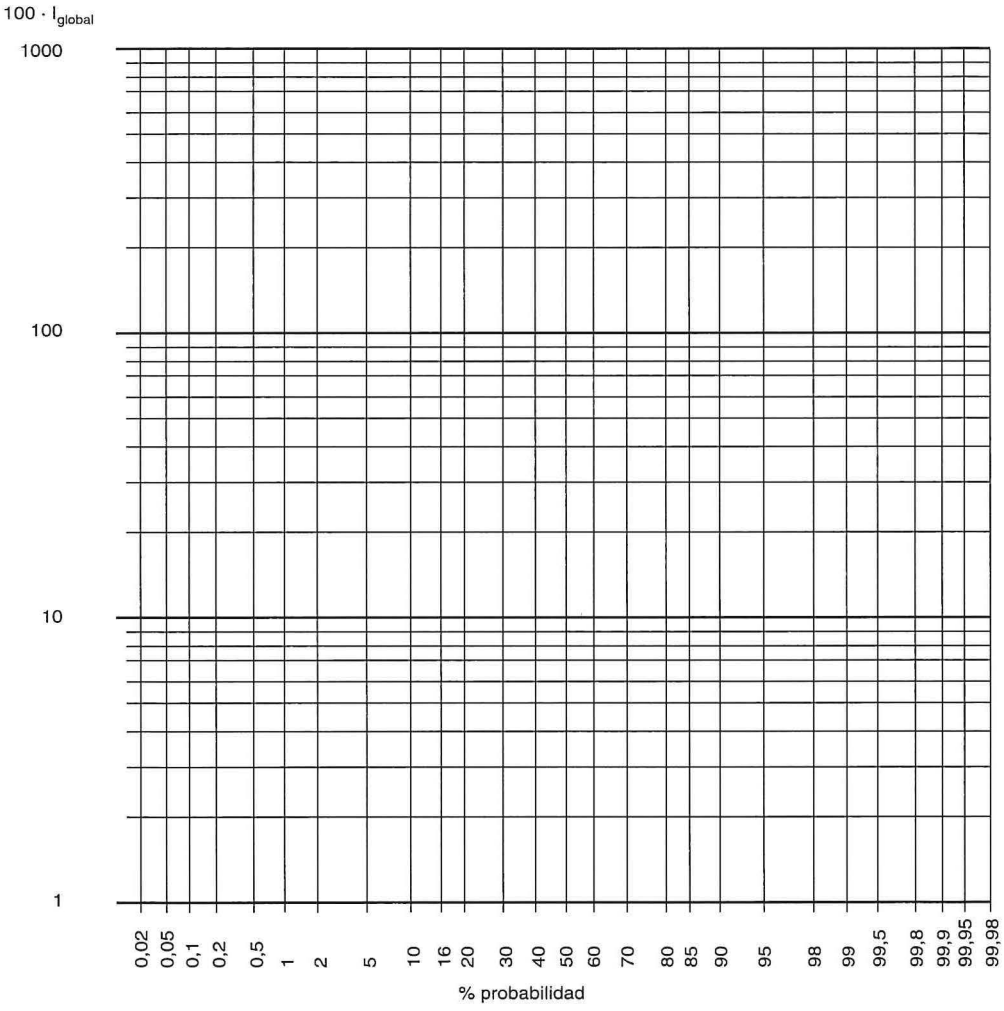
N_o: número de trabajadores de mayor exposición dentro del GHE

n: número de trabajadores a muestrear

DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTÁNDAR

Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
-3,49	0,0002	-2,99	0,0014	-2,49	0,0064	-1,99	0,0233	-1,49	0,0681	-0,99	0,1611	-0,49	0,3121
-3,48	0,0003	-2,98	0,0014	-2,48	0,0066	-1,98	0,0239	-1,48	0,0694	-0,98	0,1635	-0,48	0,3156
-3,47	0,0003	-2,97	0,0015	-2,47	0,0068	-1,97	0,0244	-1,47	0,0708	-0,97	0,1660	-0,47	0,3192
-3,46	0,0003	-2,96	0,0015	-2,46	0,0069	-1,96	0,0250	-1,46	0,0721	-0,96	0,1685	-0,46	0,3228
-3,45	0,0003	-2,95	0,0016	-2,45	0,0071	-1,95	0,0256	-1,45	0,0735	-0,95	0,1711	-0,45	0,3264
-3,44	0,0003	-2,94	0,0016	-2,44	0,0073	-1,94	0,0262	-1,44	0,0749	-0,94	0,1736	-0,44	0,3300
-3,43	0,0003	-2,93	0,0017	-2,43	0,0075	-1,93	0,0268	-1,43	0,0764	-0,93	0,1762	-0,43	0,3336
-3,42	0,0003	-2,92	0,0018	-2,42	0,0078	-1,92	0,0274	-1,42	0,0778	-0,92	0,1788	-0,42	0,3372
-3,41	0,0003	-2,91	0,0018	-2,41	0,0080	-1,91	0,0281	-1,41	0,0793	-0,91	0,1814	-0,41	0,3409
-3,4	0,0003	-2,9	0,0019	-2,4	0,0082	-1,9	0,0287	-1,4	0,0808	-0,9	0,1841	-0,4	0,3446
-3,39	0,0003	-2,89	0,0019	-2,39	0,0084	-1,89	0,0294	-1,39	0,0823	-0,89	0,1867	-0,39	0,3483
-3,38	0,0004	-2,88	0,0020	-2,38	0,0087	-1,88	0,0301	-1,38	0,0838	-0,88	0,1894	-0,38	0,3520
-3,37	0,0004	-2,87	0,0021	-2,37	0,0089	-1,87	0,0307	-1,37	0,0853	-0,87	0,1922	-0,37	0,3557
-3,36	0,0004	-2,86	0,0021	-2,36	0,0091	-1,86	0,0314	-1,36	0,0869	-0,86	0,1949	-0,36	0,3594
-3,35	0,0004	-2,85	0,0022	-2,35	0,0094	-1,85	0,0322	-1,35	0,0885	-0,85	0,1977	-0,35	0,3632
-3,34	0,0004	-2,84	0,0023	-2,34	0,0096	-1,84	0,0329	-1,34	0,0901	-0,84	0,2005	-0,34	0,3669
-3,33	0,0004	-2,83	0,0023	-2,33	0,0099	-1,83	0,0336	-1,33	0,0918	-0,83	0,2033	-0,33	0,3707
-3,32	0,0005	-2,82	0,0024	-2,32	0,0102	-1,82	0,0344	-1,32	0,0934	-0,82	0,2061	-0,32	0,3745
-3,31	0,0005	-2,81	0,0025	-2,31	0,0104	-1,81	0,0351	-1,31	0,0951	-0,81	0,2090	-0,31	0,3783
-3,3	0,0005	-2,8	0,0026	-2,3	0,0107	-1,8	0,0359	-1,3	0,0968	-0,8	0,2119	-0,3	0,3821
-3,29	0,0005	-2,79	0,0026	-2,29	0,0110	-1,79	0,0367	-1,29	0,0985	-0,79	0,2148	-0,29	0,3859
-3,28	0,0005	-2,78	0,0027	-2,28	0,0113	-1,78	0,0375	-1,28	0,1003	-0,78	0,2177	-0,28	0,3897
-3,27	0,0005	-2,77	0,0028	-2,27	0,0116	-1,77	0,0384	-1,27	0,1020	-0,77	0,2206	-0,27	0,3936
-3,26	0,0006	-2,76	0,0029	-2,26	0,0119	-1,76	0,0392	-1,26	0,1038	-0,76	0,2236	-0,26	0,3974
-3,25	0,0006	-2,75	0,0030	-2,25	0,0122	-1,75	0,0401	-1,25	0,1056	-0,75	0,2266	-0,25	0,4013
-3,24	0,0006	-2,74	0,0031	-2,24	0,0125	-1,74	0,0409	-1,24	0,1075	-0,74	0,2296	-0,24	0,4052
-3,23	0,0006	-2,73	0,0032	-2,23	0,0129	-1,73	0,0418	-1,23	0,1093	-0,73	0,2327	-0,23	0,4090
-3,22	0,0006	-2,72	0,0033	-2,22	0,0132	-1,72	0,0427	-1,22	0,1112	-0,72	0,2358	-0,22	0,4129
-3,21	0,0007	-2,71	0,0034	-2,21	0,0136	-1,71	0,0436	-1,21	0,1131	-0,71	0,2389	-0,21	0,4168
-3,2	0,0007	-2,7	0,0035	-2,2	0,0139	-1,7	0,0446	-1,2	0,1151	-0,7	0,2420	-0,2	0,4207
-3,19	0,0007	-2,69	0,0036	-2,19	0,0143	-1,69	0,0455	-1,19	0,1170	-0,69	0,2451	-0,19	0,4247
-3,18	0,0007	-2,68	0,0037	-2,18	0,0146	-1,68	0,0465	-1,18	0,1190	-0,68	0,2483	-0,18	0,4286
-3,17	0,0008	-2,67	0,0038	-2,17	0,0150	-1,67	0,0475	-1,17	0,1210	-0,67	0,2514	-0,17	0,4325
-3,16	0,0008	-2,66	0,0039	-2,16	0,0154	-1,66	0,0485	-1,16	0,1230	-0,66	0,2546	-0,16	0,4364
-3,15	0,0008	-2,65	0,0040	-2,15	0,0158	-1,65	0,0495	-1,15	0,1251	-0,65	0,2578	-0,15	0,4404
-3,14	0,0008	-2,64	0,0041	-2,14	0,0162	-1,64	0,0505	-1,14	0,1271	-0,64	0,2611	-0,14	0,4443
-3,13	0,0009	-2,63	0,0043	-2,13	0,0166	-1,63	0,0516	-1,13	0,1292	-0,63	0,2643	-0,13	0,4483
-3,12	0,0009	-2,62	0,0044	-2,12	0,0170	-1,62	0,0526	-1,12	0,1314	-0,62	0,2676	-0,12	0,4522
-3,11	0,0009	-2,61	0,0045	-2,11	0,0174	-1,61	0,0537	-1,11	0,1335	-0,61	0,2709	-0,11	0,4562
-3,1	0,0010	-2,6	0,0047	-2,1	0,0179	-1,6	0,0548	-1,1	0,1357	-0,6	0,2743	-0,1	0,4602
-3,09	0,0010	-2,59	0,0048	-2,09	0,0183	-1,59	0,0559	-1,09	0,1379	-0,59	0,2776	-0,09	0,4641
-3,08	0,0010	-2,58	0,0049	-2,08	0,0188	-1,58	0,0571	-1,08	0,1401	-0,58	0,2810	-0,08	0,4681
-3,07	0,0011	-2,57	0,0051	-2,07	0,0192	-1,57	0,0582	-1,07	0,1423	-0,57	0,2843	-0,07	0,4721
-3,06	0,0011	-2,56	0,0052	-2,06	0,0197	-1,56	0,0594	-1,06	0,1446	-0,56	0,2877	-0,06	0,4761
-3,05	0,0011	-2,55	0,0054	-2,05	0,0202	-1,55	0,0606	-1,05	0,1469	-0,55	0,2912	-0,05	0,4801
-3,04	0,0012	-2,54	0,0055	-2,04	0,0207	-1,54	0,0618	-1,04	0,1492	-0,54	0,2946	-0,04	0,4840
-3,03	0,0012	-2,53	0,0057	-2,03	0,0212	-1,53	0,0630	-1,03	0,1515	-0,53	0,2981	-0,03	0,4880
-3,02	0,0013	-2,52	0,0059	-2,02	0,0217	-1,52	0,0643	-1,02	0,1539	-0,52	0,3015	-0,02	0,4920
-3,01	0,0013	-2,51	0,0060	-2,01	0,0222	-1,51	0,0655	-1,01	0,1562	-0,51	0,3050	-0,01	0,4960
-3	0,0013	-2,5	0,0062	-2	0,0228	-1,5	0,0668	-1	0,1587	-0,5	0,3085	0	0,5000

GRÁFICO PARA EL CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD



CÁLCULO DEL VALOR MÁS PROBABLE DE LA MEDIA (MUESTREO TIPO E)

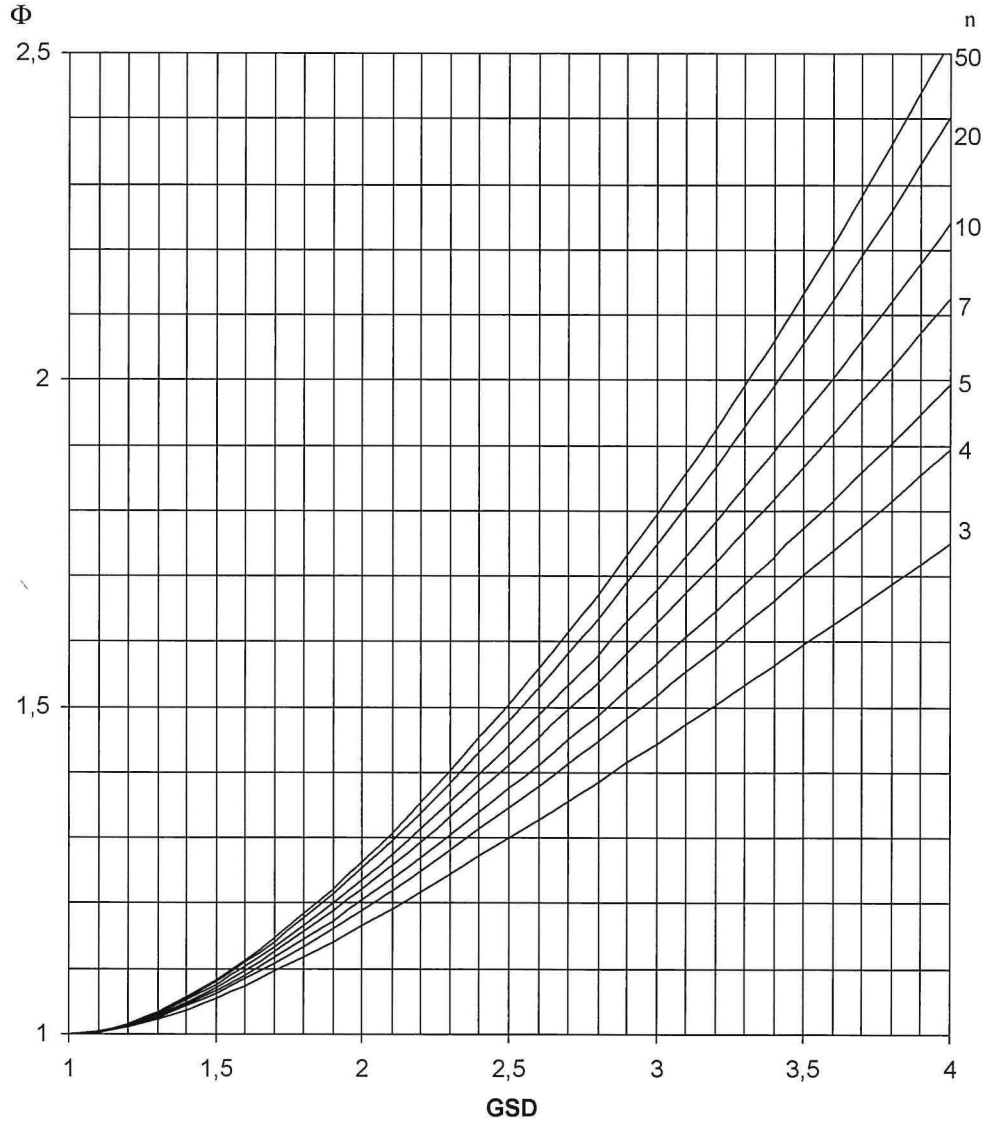
Valor más probable de la media: $ED = \Phi \cdot MG$

donde:

MG: media geométrica de las concentraciones

Φ: se obtiene del siguiente gráfico, en función del número de muestras (n)

GSD: desviación estándar de la media geométrica



CÁLCULO DEL INTERVALO DE CONFIANZA DE LA MEDIA

Límite inferior

$C_{inf} = MG \cdot F_{inf}$

donde:

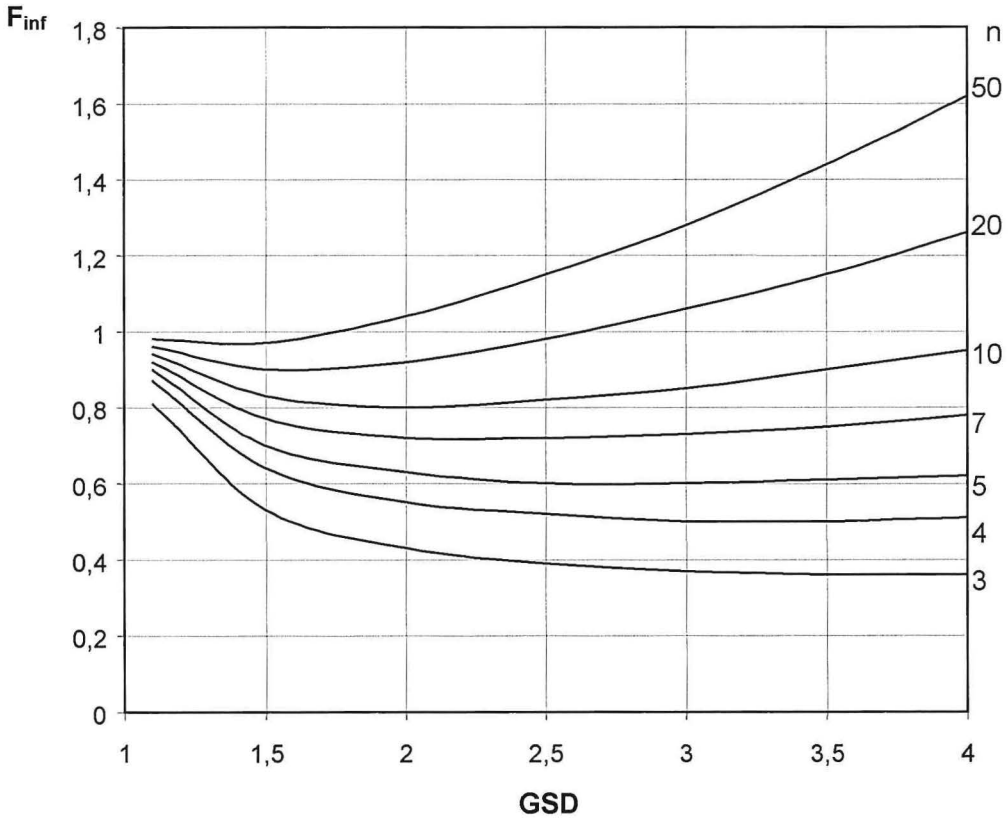
C_{inf}: límite inferior del valor más probable de la media de la concentración (95% confianza)

MG: media geométrica de las concentraciones

F_{inf}: factor para el cálculo de límite inferior del valor más probable de la media de la concentración

n: número de muestras

GSD: desviación estándar de la media geométrica



Límite superior

$C_{sup} = MG \cdot F_{sup}$

donde:

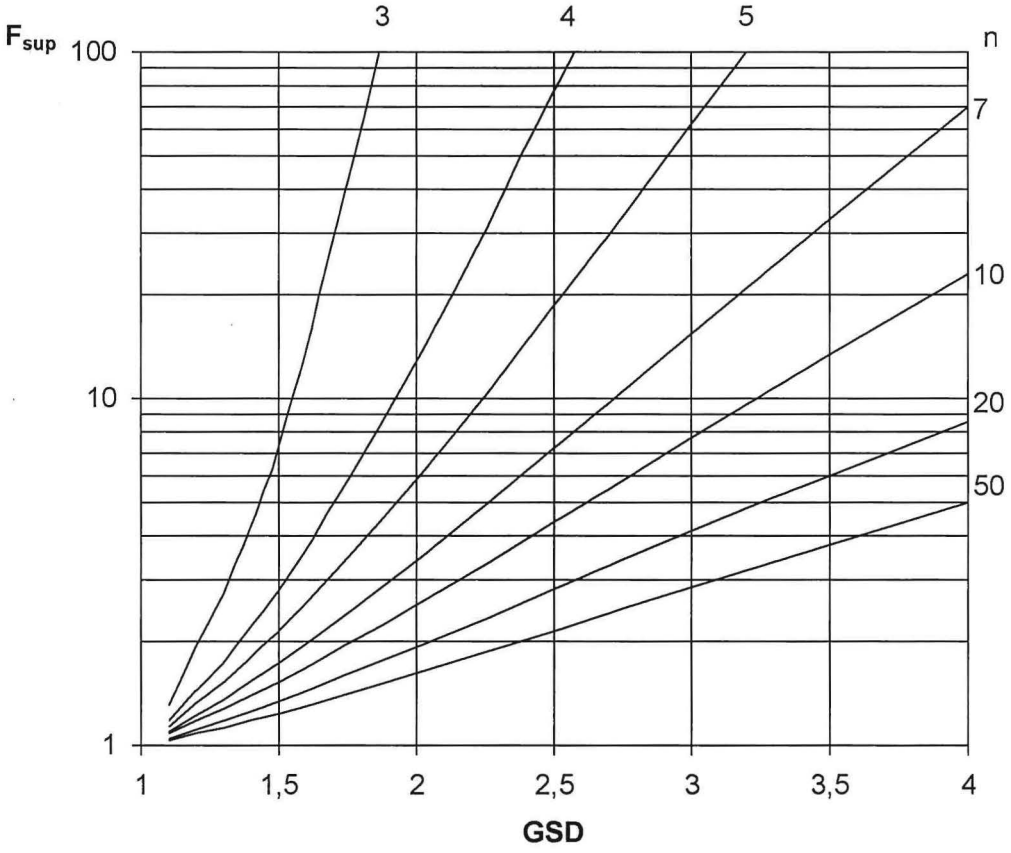
C_{sup}: límite superior del valor más probable de la media de la concentración (95% confianza)

MG: media geométrica de las concentraciones

F_{sup}: factor para el cálculo del límite superior del valor más probable de la media de la concentración

n: número de muestras

GSD: desviación estándar de la media geométrica



B. VENTILACIÓN GENERAL

$$Q' = \frac{G}{C}$$

donde:
Q': caudal efectivo de ventilación (m^3/h)
G: velocidad de generación (m^3/h o mg/h)
C: concentración del gas o vapor (tanto por 1 o mg/m^3)

VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA EL CONTROL DEL RIESGO PARA LA SALUD

$$Q = Q'\ K; \qquad Q = \left(\frac{G}{C}\right) K$$

donde:
Q: caudal real de ventilación (m^3/h)
Q': caudal efectivo de ventilación (m^3/h)
K: factor de seguridad a efectos de mezcla no completa

$$G = \frac{24\ d\ E}{M}$$

donde:
G: velocidad de generación (m^3/h)
24: volumen molar del vapor a 1 atm y 20 °C (l/mol)
d: densidad relativa del disolvente líquido (kg/l)
E: velocidad de evaporación del disolvente (l/h)
M: peso molecular del disolvente (g/mol)

por tanto:

$$Q' = \frac{24 \cdot 10^6\ d\ E}{M\ C}$$

donde:
C: concentración en el equilibrio (ppm)
Resto de parámetros definidos anteriormente.

Aumento de la concentración durante el estado no estacionario

$$\Delta t = \frac{-V}{Q'}\left[\ln\left(\frac{G - Q'\ C_2}{G}\right)\right], \text{ siendo } C_1 = 0 \qquad C_2 = \frac{G\left[1 - e^{\left(-\frac{Q\,\Delta t}{V}\right)}\right]}{Q'}$$

donde:
Δt: tiempo de aumento de la concentración (h)
V: volumen del local (m^3)
C_1: concentración inicial (tanto por 1)
C_2: concentración final después de un tiempo Δt (tanto por 1)
Resto de parámetros definidos anteriormente.

Velocidad de eliminación

$$\Delta t = \frac{-V}{Q'}\left[\ln\left(\frac{C_2}{C_1}\right)\right] \qquad C_2 = C_1 e^{\left(-\frac{Q\,\Delta t}{V}\right)}$$

donde:
Δt: tiempo de disminución de la concentración (h)
C_1: concentración inicial (tanto por 1)
C_2: concentración final después de un tiempo Δt (tanto por 1)
(*Resto de parámetros definidos anteriormente*)

VENTILACIÓN POR DILUCIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

$$Q = \frac{24\ d\ 100\ E\ F_s}{M\ (LII)\ B}$$

donde:
Q, 24, d, M, definidos anteriormente
LII: límite inferior de inflamabilidad (%)
F_s: factor de seguridad (adimensional)
B: constante de corrección (adimensional)

$$Q_{real} = Q_{std}\left[\frac{273 + T_{trab}}{273 + 20}\right]$$

donde:
Q_{std}: caudal de ventilación necesario (m^3/h)
Q_{real}:caudal corregido por temperatura (m^3/h)
T_{trab}: temperatura de proceso o trabajo (°C)

C. VENTILACIÓN POR EXTRACCIÓN LOCALIZADA

ECUACIÓN DE BERNOUILLI

$PT_1 + w_{1:2} = PT_2 + PC_{1:2}$

donde:
PT_1: presión total en un punto 1 del sistema
PT_2: presión total en un punto 2 del sistema
$w_{1:2}$: trabajo suministrado entre los puntos 1 y 2
$PC_{1:2}$: pérdida de carga entre los puntos 1 y 2

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

$Q_1 = Q_2$

donde:
Q: caudal volumétrico (m^3/h o m^3/s)

(*La igualdad se cumple entre 2 puntos de una rama, sin obstrucciones ni cambios de densidad del fluido*).

COMPONENTES DE LA PRESIÓN

$PT = PE + PD$

donde:
PT: presión total
PE: presión estática
PD: presión dinámica

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE CIRCULA EN UN CONDUCTO (conociendo velocidad en conducto)

$Q = v\ S$

donde:
v: la velocidad media en el conducto
S: la sección del conducto

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE CIRCULA EN UN CONDUCTO (sin conocer velocidad. Método aproximado)

$$Q = 4{,}43\ S \sqrt{\frac{PE_c}{(1 + F_c)\ \rho}} \qquad \text{si } \rho = 1{,}2\ kg/m^3: \quad Q = 4{,}04\ S \sqrt{\frac{PE_c}{(1 + F_c)}}$$

donde:
Q: caudal (m^3/s)
S: sección del conducto unido a la campana (m^2)
PE_c: presión estática en la campana (mm cda)
F_c: factor de pérdidas de la campana
ρ: densidad del aire (kg/m^3)

CÁLCULO DE LA PRESIÓN DINÁMICA

$$v = 4{,}43\sqrt{\frac{PD}{\rho}} \qquad \text{si } \rho = 1{,}2 \text{ kg/m}^3\text{:} \qquad v = 4{,}04\sqrt{PD}$$

donde:
v: velocidad media del fluido (m/s)
PD: presión dinámica en el conducto (mm cda)
ρ: densidad del fluido (kg/m^3)

CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA POR EL MÉTODO DE LA PRESIÓN DINÁMICA
(ver datos más adelante)

$PD = n\ PC$

donde:
n: factor de pérdida de carga del tramo
PC: pérdida de carga del tramo

CORRECCIONES POR TEMPERATURA, PRESIÓN Y ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

$\rho = 1{,}2\ C_h C_p C_t$

donde:
ρ: densidad del fluido (kg/m^3)
C_h: factor de corrección para alturas fuera del margen ± 300 m sobre el nivel del mar
C_p: factor de corrección para presiones en el conducto superiores a ± 500 mm cda
C_t: factor de corrección para temperaturas fuera del margen de 5°C a 35°C

$C_h = [\ 1 - (22 \cdot 10^{-6})\ h\ ]^{5{,}258}$ donde: h: altura sobre el nivel del mar (m)

$$C_p = \frac{10.340 + PE}{10340}$$

donde:
PE: presión estática con su signo algebraico (mm cda)

$$C_p = \frac{10.340 + PE}{10340}$$

donde: T: temperatura seca (°C)

Cálculo de la densidad usando diagrama psicrométrico:

$\rho = (1 + H) / VH$

donde:
ρ: densidad de la mezcla (kg/m^3)
H: humedad absoluta (kg vapor/kg aire seco)
VH: volumen húmedo (m^3/kg aire seco)

PRESIONES EN EL VENTILADOR

$$PT_{vent} = PE_{sal} + PD_{sal} - PE_{ent} - PD_{ent} = PEV + PD_{sal}$$

$$PEV = PE_{sal} - PE_{ent} - PD_{ent}$$

LEYES DE LOS VENTILADORES

$$Q_2 = Q_1 \left[\frac{D_2}{D_1}\right]^3 \left[\frac{N_2}{N_1}\right]$$

$$P_2 = P_1 \left[\frac{D_2}{D_1}\right]^2 \left[\frac{N_2}{N_1}\right]^2 \left[\frac{d_2}{d_1}\right]$$

$$W_2 = W_1 \left[\frac{D_2}{D_1}\right]^5 \left[\frac{N_2}{N_1}\right]^3 \left[\frac{d_2}{d_1}\right]$$

donde:
Q: caudal que circula por el sistema
Ø: diámetro de la hélice del ventilador
N: velocidad de rotación
P: presión del ventilador
d: densidad del fluido
W: potencia consumida por el ventilador

CORRECCIÓN POR CAMBIOS DE VELOCIDAD

$$PD_{media} = \frac{Q_1 \cdot PD_1 + Q_2 \cdot PD_2}{Q_1 + Q_2}$$

o bien

$$PD_{media} = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4{,}0434 \cdot (A_1 + A_2)}\right]^2$$

$$PE_3 = PE_1 - (PD_3 - PD_{media})$$

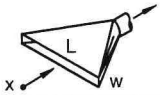
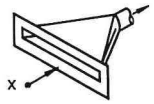
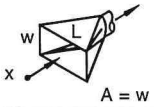
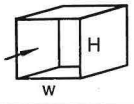
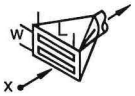
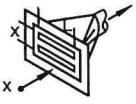
donde:
PD_{media}: presión dinámica media resultante de la unión
Q_1: caudal en conducto 1 (antes de la unión)
Q_2: caudal en conducto 2 (antes de la unión)
PD_1: presión dinámica en 1 antes de la unión
PD_2: presión dinámica en 2 antes de la unión
A_1: sección del conducto 1
A_2: sección del conducto 2
PE_1: presión estática en el conducto 1 antes de la unión
PE_2: presión estática en el conducto 2 antes de la unión
PD_3: presión dinámica después de la unión

EQUILIBRADO DE SISTEMAS POR DISEÑO

$$Q_c = Q_d \sqrt{\frac{PE_u}{PE_t}}$$

donde:
PE_u: presión estática en la unión
PE_t: presión estática calculada en el tramo
Q_c: caudal corregido
Q_d: caudal de diseño

ECUACIONES DE DALLAVALLE

Tipo de campana	Factor de forma (w/L)	Caudal*
Rendija 	≤ 0,2	Q = 3,7 L v x
Rendija con pestaña 	≤ 0,2	Q = 2,6 L v x
Campana simple 	≥ 0,2 y circular	Q = v (10 x^2 + A)
Campana simple con pestaña 	≥ 0,2 y circular	Q = 0,75 v (10 x^2 + A)
Cabina 	Adaptada a la operación	Q = v W H
Campana elevada 	Adaptada a la operación	Q = 1,4 P H v donde P: perímetro campana
Campana con rendijas múltiples 	≥ 0,2	Q = v (10 x^2 + A)
Campanas con rendijas múltiples y pestaña 	≥ 0,2	Q = 0,75 v (10 x^2 + A)

**v: velocidad de captura*

VALORES RECOMENDADOS PARA LA VELOCIDAD DE CAPTURA

Condiciones de dispersión del contaminante	Ejemplos	Velocidad de captura (m/s)
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos, desengrase, etc.	0,25 - 0,5
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo.	Cabinas de pintura, llenado intermitente de recipientes, transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad, soldadura, pasivado, recubrimientos superficiales.	0,5 - 1
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire.	Cabinas de pintura poco profundas, llenado de barriles, carga de cintas transportadoras, machacadoras.	1 - 2,5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Desbarbado, chorreado abrasivo, desmoldeo en fundiciones.	2,5 - 10

En cada una de las condiciones citadas se indica un margen para los valores de la velocidad de captura. La selección del valor adecuado depende de los siguientes factores:

Límite inferior

1. Corrientes de aire en el local mínimas o favorables a la captura del contaminante.

2. Contaminantes de baja toxicidad o únicamente molestos.

3. Producción de contaminantes baja o intermitente.

4. Campana de gran tamaño o con una gran masa de aire en movimiento.

Límite superior

1. Corrientes de aire distorsionantes en el local.

2. Contaminantes de alta toxicidad.

3. Gran producción, uso continuo.

4. Campana pequeña, únicamente control local.

VALORES RECOMENDADOS PARA LA VELOCIDAD DE DISEÑO DE CONDUCTOS

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de conducto(m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos.	Indiferente*
Humos de soldadura	Soldadura.	10 - 12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilo de algodón, harina de manteca, polvo de talco.	12,5 - 15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero.	15 - 20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles.	17,5 - 20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladro de fundición, polvo de plomo.	20 - 22,5
Polvo pesado húmedo.	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos).	> 22,5

**La velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s.*

DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA POR EL MÉTODO DE LA PRESIÓN DINÁMICA

Factor de pérdida en conductos

$$n = 0{,}0155 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} \quad \text{o bien} \quad n = \frac{27{,}8}{Q^{0,079}\, Ø^{1,066}}$$

donde:

n: factor de pérdidas por metro (m^{-1})

v: velocidad en el conducto (m/s)

Q: caudal (m^3/s)

Ø: diámetro (mm)

Factor de pérdida en codos

Conductos circulares

R/Ø	n
2,75	0,26
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

donde:
R: radio de curvatura del codo (referido al eje central del conducto)
Ø: diámetro del conducto
n: factor de pérdidas

Conductos rectangulares

R/Ø	W/Ø					
	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
0,0	1,50	1,32	1,15	1,04	0,92	0,86
0,5	1,36	1,21	1,05	0,95	0,84	0,79
1,0	0,45	0,28	0,21	0,21	0,20	0,19
1,5	0,28	0,18	0,13	0,13	0,12	0,12
2,0	0,24	0,15	0,11	0,11	0,10	0,10
3,0	0,24	0,15	0,11	0,11	0,10	0,10

donde:
R: radio de curvatura del codo (referido al eje central del conducto)
w/Ø: relación entre los lados del conducto

Factor de pérdida en uniones

Ángulo (°)	Factor de pérdidas	Ángulo (°)	Factor de pérdidas
10	0,06	40	0,25
15	0,09	45	0,28
20	0,12	50	0,32
25	0,15	60	0,44
30	0,18	75	0,70
35	0,21	90	1,00

donde:
θ: ángulo entre el conducto secundario y el conducto principal

Factor de pérdidas en la entrada de campanas simples

Ángulo interior (°)	Factor de pérdidas	
	Circular	Rectangular
15	0,15	0,25
30	0,08	0,16
45	0,06	0,15
60	0,08	0,17
90	0,15	0,25
120	0,26	0,35
150	0,40	0,48

DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA POR EL MÉTODO DE LA LONGITUD EQUIVALENTE

Longitud equivalente de accesorios (m)

Codos

Diámetro (mm)		75	100	125	150	175	200	300	350	400	450	500
Codo 90° *	1,5 Ø	1,4	2,0	2,6	3,2	3,9	4,6	7,4	8,9	10	12	14
	2,0 Ø	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,1	5,0	6,0	7,0	8,1	9,2
	2,5 Ø	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	4,1	5,0	5,8	6,7	7,6

Diámetro (mm)		600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Codo 90° *	1,5 Ø	17	21	24	28	32	39	47	55	64	72
	2,0 Ø	11	14	16	19	21	26	32	37	43	49
	2,5 Ø	9,5	11	13	15	18	22	26	31	36	40

** Para codos de 60°, se aplicará un factor de 0,67*
Para codos de 45° se aplicará un factor de 0,5

Uniones

Ángulo de unión	30°	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,6	3,2	3,8	4,5	5,2	5,9	7,3	8,8	10
	45°	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,1	4,0	5,0	6,0	7,0	8,1	9,2	11	14	16

Pérdida de carga en conductos rectos

$$PC = 5{,}38 \cdot \frac{v^{1,9}}{\varnothing^{1,22}}$$

donde:
PC: pérdida de carga en el conducto (mm cda)
v: velocidad en el conducto (m/s)
Ø: diámetro (mm)

Diámetro circular equivalente de conductos rectangulares

$$\varnothing_{equiv} = 1{,}3 \cdot \frac{(A\ B)^{0,625}}{(A + B)^{0,25}}$$

donde:
$\varnothing_{equiv}$: diámetro circular equivalente
A: lado de conducto rectangular
B: lado de conducto rectangular

DISEÑO DE CUBAS

Rendijas perimetrales para tanques de anchura inferior a 125 cm

a) Si la anchura es inferior a 50 cm, se utiliza una rendija a un solo lado del tanque
b) Si la anchura está comprendida entre 50 y 90 cm, es aconsejable usar rendijas a ambos lados del tanque
c) Si la anchura está comprendida entre 90 y 125 cm, es necesario usar rendijas a ambos lados del tanque
d) Si la anchura es superior a 125 cm, debe emplearse un sistema combinado de impulsión-extracción

Caudal específico en boca de tanque ($m^3/s \cdot m^2$)

Grado de peligrosidad e índice de desprendimiento	Relación anchura/longitud*				
	0,09	0,1-0,24	0,25-0,49	0,50-0,99	1-2
Cuando el tanque se halla junto a una pared o existe una pantalla que actúa como deflector					
A-4, C-3, D-2	0,25	0,30	0,38	0,45	0,50
B-3, C-2, D-1	0,38	0,45	0,56	0,66	0,75
A-3, B-1, B-2, C-1	0,50	0,66	0,75	0,89	1,00
A-1, A-2	0,75	0,97	1,15	1,32	1,50
Valores aplicables cuando el tanque se halla en el centro del local sin pantallas					
A-4, C-3, D-2	0,25	0,45	0,50	0,56	0,65
B-3, C-2, D-1	0,56	0,66	0,75	0,86	0,97
A-3, B-1, B-2, C-1	0,75	0,89	1,00	1,14	1,27
A-1, A-2	1,15	1,32	1,50	1,73	1,91

**Cuando el tanque dispone de 2 rendijas, el valor de la relación anchura/longitud se obtiene empleando la mitad del valor real de la anchura.*

GRADO DE PELIGROSIDAD E ÍNDICE DE DESPRENDIMIENTO

Proceso	Tipo	Componentes del baño que pueden ser emitidos	Grado de peligrosidad e índice de desprendimiento	Temperatura de trabajo °C
Desengrase	Alcalino	Sales alcalinas de sodio	C-2, C-1	60 - 95
	Disolventes Clorados	Tricoloetileno Percloroetileno	B-2	85 - 120
Decapado	Aluminio	Ácido nítrico Ácido crómico y sulfúrico Hidróxido sódico	A - 2 A - 3 C - 1	20 - 30 60 60
	Cobre	Ácido sulfúrico	B - 3, B - 2	50 - 85
	Hierro y acero	Ácido clorhídrico Ácido súlfúrico	A - 2 B - 1	20 20 - 80
Electropulido	Acero inoxidable	Ácidos sulfúrico y fosfórico	B - 2, B - 3	20 - 80
Electrolitos cianurados	Zinc	Sales de cianuros e hidróxido sódico	C - 3	20-50
	Cadmio y cobre	Sales de cianuros e hidróxido sódico	C - 2	45 - 70
Electrolitos ácidos	Cromo Niquel Estaño Zinc	Ácido crómico Sulfato de niquel Sulfato de estaño Cloruro de cinc	A - 1 B - 2 D - 4 B - 3	30 - 60 20 - 35 20 - 50 20 - 50
Tratamiento de superficie	Anodizado de aluminio	Ácido crómico y sulfúrico	A - 1	35

D. RUIDO

D.1. EVALUACIÓN*

ADICIÓN DE NIVELES SONOROS

$$L_T = 10 \log \sum 10^{L_i/10}$$

donde:

L_i: niveles sonoros (dB o dB(A))

L_T: nivel global (dB o dB(A))

CORRECCIÓN POR RUIDO DE FONDO

$$L_m = 10 \log \left(10^{L_T/10} - 10^{L_F/10}\right)$$

donde:

L_m: nivel de la máquina (dB o dB(A))

L_T: nivel global (dB o dB(A))

L_F: nivel con máquina parada (dB o dB(A))

NIVEL EQUIVALENTE A PARTIR DE LOS NIVELES INDIVIDUALES (RUIDO DISCONTINUO)

$$L_{eq,T} = 10 \log\left(\frac{1}{T} \sum T_i \cdot 10^{L_i/10}\right)$$

$$T = \sum T_i$$

donde:

L_i: nivel sonoro (dB o dB(A)) en el periodo i

T_i: duración del periodo i

$L_{eq,T}$: nivel equivalente (dB o dB(A)) en el tiempo T

T y T_i en las mismas unidades

NIVEL EQUIVALENTE A PARTIR DE LECTURAS DE DOSÍMETRO

$$L_{eq,T} = L_{ref} + 10 \log\left(\frac{\%Dosis}{100} \cdot \frac{T_{ref}}{T}\right)$$

donde:

%Dosis: lectura del dosímetro (%)

T: duración de la medición (mismas unidades que T_{ref})

L_{ref}: nivel de ajuste del dosímetro (normalmente el valor límite)

T_{ref}: tiempo de ajuste del dosímetro (normalmente 8 horas)

$L_{eq,T}$: nivel equivalente en el periodo de medida (mismas unidades que L_{ref})

T_{ref} y L_{ref} son los ajustes del dosímetro para los que la dosis indicada es el 100%

**Se ha tomado como valor límite 87 dB(A), de acuerdo con el Real Decreto 286/2006*

CÁLCULO DEL NIVEL DIARIO EQUIVALENTE

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8}$$

donde:
T: duración diaria de la exposición (h)
$L_{Aeq,T}$: nivel equivalente en el periodo T (dB(A))
$L_{Aeq,d}$: nivel diario equivalente (dB(A))

CÁLCULO DE LA DOSIS PARCIAL DE RUIDO

$$\%EMP_x = 100 \frac{T_x}{8} 10^{\frac{L_x - 87}{10}}$$

donde:
T_x: duración de la exposición (h)
L_x: nivel sonoro en el periodo, debe ser constante (dB(A))
$\%EMP_x$: dosis parcial de ruido (%)

CÁLCULO DE LA DOSIS DIARIA DE RUIDO

$$\%EMP = \sum \%EMP$$

donde:
$\%EMP_x$: dosis en cada periodo de exposición (%)
%EMP: dosis diaria (%)

CÁLCULO DEL NIVEL DIARIO EQUIVALENTE

$$L_{Aeq,d} = 87 + 10 \log \frac{\%EMP}{100}$$

donde:
%EMP: dosis diaria (%)

CÁLCULO DEL NIVEL DIARIO EQUIVALENTE A PARTIR DE LOS NIVELES (RUIDO DISCONTINUO)

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \left(\frac{1}{8} \sum T_1 \cdot 10^{Li/10} \right)$$

donde:
L_i: nivel sonoro (dB(A)) en el periodo i
T_i: duración del periodo i (h)
$L_{Aeq,d}$: nivel diario equivalente (dB(A))

CÁLCULO DEL NIVEL DIARIO EQUIVALENTE A PARTIR DE LECTURAS DOSIMÉTRICAS

$$L_{Aeq,d} = L_{ref} + 10 \log\left(\frac{\%Dosis}{100} \cdot \frac{T_{ref}}{T_{med}} \cdot \frac{T}{8}\right)$$

T_{ref} y L_{ref} son los ajustes del dosímetro para los que la dosis indicada es el 100%

donde:

L_{ref}: nivel de ajuste del dosímetro (normalmente 87 dB(A))

T_{ref}: tiempo de ajuste del dosímetro (normalmente 8 horas)

%Dosis: lectura del dosímetro (%)

T_{med}: duración de la medición (mismas unidades que T_{ref})

T: duración diaria de la exposición (mismas unidades)

$L_{Aeq,d}$: nivel diario equivalente (dB(A))

CÁLCULO DEL TIEMPO MÁXIMO DE EXPOSICIÓN

$$T_{EMP} = 8 \cdot 10^{\frac{87 - L_{Aeq,T}}{10}}$$

donde:

T_{EMP}: tiempo máximo de exposición permitido (h)

$L_{Aeq,T}$: nivel equivalente durante un tiempo T (dB(A))

CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN MÁXIMA PERMITIDA O DOSIS DIARIA (EN TANTO POR 1)

$$EMP(\%) = 10^{\frac{L_{Aeq,d} - 87}{10}}$$

$$EMP(\%) = \frac{T_{expo}}{T_{EMP}}$$

donde:

EMP (%): dosis diaria en tanto por 1

$L_{Aeq,d}$: nivel diario equivalente (dB(A))

T_{expo}: tiempo de exposición a un nivel de ruido

T_{EMP}: tiempo máximo de exposición permitido al mismo nivel de ruido (T_{expo} y T_{EMP} en las mismas unidades).

D.2. PROTECTORES AUDITIVOS

ESCALA NORMALIZADA DE PONDERACIÓN A

Frecuencia (Hz)	Corrección A (dB)	Frecuencia (Hz)	Corrección A (dB)	Frecuencia (Hz)	Corrección A (dB)
100	-19,1	630	-1,9	4000	1,0
125	16,1	800	-0,8	5000	0,5
160	-13,4	1000	0,0	6300	-0,1
200	-10,9	1250	0,6	8000	-1,1
250	-8,6	1600	1,0	10000	-2,5
315	-6,6	2000	1,2	12500	-4,3
400	-4,8	2500	1,3		
500	-3,3	3150	1,2		

MÉTODO DE H, M, L

$L_A' = L_A - PNR$

Si $L_c - L_a < 2dB$ $\quad PNR = M - \frac{(H - M)\cdot(L_c - L_A - 2)}{4}$

Si $L_c - L_a > 2dB$ $\quad PNR = M - \frac{(H - M)\cdot(L_c - L_A - 2)}{8}$

donde:

L_A': nivel de ruido resultante tras la atenuación (dB(A))

L_A: nivel de ruido (dB(A))

L_C: nivel de ruido (dB(C))

PNR: Predicted Noise Reduction

M: parámetro de atenuación para frecuencias altas (facilitado por el fabricante)

H: parámetro de atenuación para frecuencias medias (facilitado por el fabricante)

L: parámetro de atenuación para frecuencias bajas (facilitado por el fabricante)

MÉTODO HML DE CONTROL

Ruido de baja frecuencia: $L_A' = L_A - L$

Ruido de media-alta frecuencia: $L_A' = L_A - M$

donde:

L_A': nivel de ruido resultante tras la atenuación (dB(A))

L_A: nivel de ruido (dB(A))

L: parámetro de atenuación (facilitado por el fabricante)

M: parámetro de atenuación (facilitado por el fabricante)

MÉTODO SNR

$L_A' = L_C - SNR$

donde:

L_A': nivel de ruido resultante tras la atenuación (dB(A))

L_C: nivel de ruido (dB(C))

SNR: parámetro de atenuación (facilitado por el fabricante)

D.3. CONTROL POR ABSORCIÓN

MEDIDA DE LA ABSORCIÓN ACÚSTICA DE UN LOCAL

$A = \sum \alpha_i S_i$

donde:

A: absorción acústica del local (m^2)

α_i: coeficiente de absorción de cada material

S_i: superficie de cada material (m^2)

TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE UN LOCAL (ECUACIÓN DE EYRING)

$$TR = \frac{0{,}161 \cdot V}{S\left[-\ln\left(1-\bar{\alpha}\right)\right]}$$

Siendo $\bar{\alpha} = \dfrac{\sum \alpha_i S_i}{\sum S_i} = \dfrac{A}{\sum S_i}$

donde:

TR: tiempo de reverberación (s)

V: volumen del local (m^3)

S_i: superficie de cada material (m^2)

A: absorción acústica del local (m^2)

$\bar{\alpha}$: coeficiente medio de absorción

TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE UN LOCAL (ECUACIÓN DE SABINE)

(SIMPLIFICACIÓN DE LA ANTERIOR CUANDO $\bar{\alpha} \longrightarrow 1$)

$$TR = 0.163 \frac{V}{A}$$

donde:

TR: tiempo de reverberación (s)

V: volumen del local (m^3)

A: absorción acústica del local (m^2)

$\bar{\alpha}$: coeficiente medio de absorción

NIVEL SONORO EN UN LOCAL (CAMPO DIRECTO + CAMPO DIFUSO)

$$L_p = L_w + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

$$R = \frac{\sum \alpha_i S_i}{1 - \bar{\alpha}}$$

donde:

L_p: nivel de presión sonora en un punto del local (dB)

L_w: nivel de potencia sonora de la fuente (dB)

Q: factor de directividad de la fuente (adimensional)

r: distancia a la fuente de ruido (m)

R: constante del local (m^2)

Distancia crítica

$$\frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{4}{R} \quad \rightarrow \quad r_c = 0.14\sqrt{QR}$$

Para Q = 2 $\rightarrow$ $r_c = 0.2\sqrt{R}$

Si consideramos sólo el campo difuso y la absorción del local es baja (R$\longrightarrow$A)

donde:

L_p: nivel de presión sonora (dB)

A: absorción acústica del local (m^2)

L_w: nivel de potencia sonora de la fuente (dB)

REDUCCIÓN DEL NIVEL SONORO MEDIANTE ABSORCIÓN

$$L_{p2} = L_{p1} - 10 \log \left(\frac{A_2}{A_1} \right)$$

donde:

L_{p1}: nivel sonoro en el local antes del tratamiento acústico

L_{p2}: nivel sonoro en el local después del tratamiento acústico

A_1: superficie de absorción del local antes del tratamiento acústico

A_2: superficie de absorción del local después del tratamiento acústico

D.4. CONTROL POR AISLAMIENTO

AISLAMIENTO ESPECÍFICO DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO

$$a = L_{pi} - L_{pt}$$

donde:

L_{pi}: nivel sonoro de la onda incidente (dB)

L_{pt}: nivel sonoro de la onda transmitida (dB)

AISLAMIENTO ACÚSTICO BRUTO DE UN LOCAL RESPECTO A OTRO

$$D = L_{pe} - L_{pr}$$

donde:

L_{pe}: nivel sonoro en el local emisor (dB)

L_{pr}: nivel sonoro en el local receptor (dB)

AISLAMIENTO ACÚSTICO NORMALIZADO

$$a = D + 10 \log \left(\frac{S}{R} \right)$$

donde:

D: aislamiento bruto entre locales (dB)

S: superficie del elemento separador (m^2)

R: constante del local receptor (m^2)

LEY DE LA MASA

$f < f_c$ $\quad a = 20 \log (m\ f) - 47$

$f \geq f_c$ $\quad a = 20 \log (m f_c) - 47 + 13 \log \eta + 40 \log \left(\frac{f}{f_c}\right)$

donde:
a: aislamiento específico (dB)
m: masa superficial del panel (kg/m^2)
f: frecuencia del sonido (Hz) (*usar valor central de la banda*)
f_c: frecuencia de coincidencia (Hz) (*usar valor central de la banda*)
η: factor de pérdidas del panel

PÉRDIDA POR INSERCIÓN DE UN CERRAMIENTO

$$IL = a + 10 \log \frac{A}{S}$$

donde:
a: aislamiento específico (dB)
IL: pérdida por inserción (dB)
S: superficie del cerramiento (m^2)
A: absorción acústica del interior del cerramiento (m^2)

AISLAMIENTO DE PAREDES COMPUESTAS

$$a_g = 10 \log \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{a_i/10}}}$$

donde:
a_g: aislamiento acústico global
S_i: área de cada elemento que forma la separación
a_i: aislamiento específico de cada elemento

Para una partición formada por dos materiales, en los que uno es un orificio (a = 0) y el otro tiene un alto índice de aislamiento, la ecuación anterior puede simplificarse como:

$$a_g = -10 \log (S_{orif} / S_{pared})$$

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN ACÚSTICA (α) PARA DISTINTOS MATERIALES

	125	250	500	1000	2000	4000
Ladrillo visto	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Hormigón, terrazo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Mármol	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Bloques de hormigón pintados	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Bloques de hormigón sin pintar	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Enlucido de yeso	0,12	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04
Vidrio en ventana	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Parqué de madera sobre hormigón	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Cortinas 340 g/m^2	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortinas 475 g/m^2	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Fibra de vidrio 50 kg/m^3						
espesor 25 mm	0,08	0,25	0,65	0,85	0,80	0,75
espesor 50 mm	0,17	0,50	0,75	0,90	0,85	0,80
Moqueta de 4 mm	0,02	0,03	0,06	0,15	0,23	0,47
Moqueta de 10 mm	0,03	0,08	0,20	0,28	0,37	0,45
Agua en piscina	0,008	0,008	0,013	0,015	0,02	0,025
Ventana abierta	1	1	1	1	1	1
Persona sentada (m^2)	0,21	0,35	0,46	0,45	0,50	0,35
Sillas de madera (m^2)	0,01		0,02		0,02	
Sillón acolchado (m^2)	0,19		0,28		0,28	

PESOS ESPECÍFICOS, FRECUENCIA DE COINCIDENCIA Y FACTOR DE PÉRDIDAS DE DISTINTOS MATERIALES

Material	Peso específico (kg/m^3)	e · fc (mm Hz)	Factor de pérdidas
Aluminio	2.700	13.000	0,001
Ladrillo macizo	2.200	16.000 – 26.000	0,01
Hormigón macizo	2.300	18.500	0,01
Cemento (5 cm) a ambos lados de una tabla	1.500	32.500	0,01
Ladrillo hueco (15 cm)	750	31.000	0,01
Bloque hueco de hormigón	1.100	21.000	0,015
Bloque de hormigón relleno de arena	1.700	25.000	
Madera de abeto	550	9.000	0,04
Madera contrachapada	600	21.000	0,03
Madera aglomerada	750	97.500	0,02
Vidrio	2.500	15.200	0,01
Acero	7.700	12.500	0,001
Plomo	11.000	55.000	0,015

E. VIBRACIONES MECÁNICAS

ACELERACIÓN EFICAZ PONDERADA EN FRECUENCIA EN CADA EJE

$$a_{wx} = \sqrt{\sum (w_x\, a_i)^2}$$

$$a_{wy} = \sqrt{\sum (w_x\, a_i)^2}$$

$$a_{wz} = \sqrt{\sum (w_x\, a_i)^2}$$

donde:

a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}: aceleración eficaz ponderada en frecuencia en cada eje (m/s^2)

a_i: aceleración eficaz en cada banda de tercio de octava en cada eje (m/s^2). *(El subíndice i se refiere a las distintas operaciones o tipos de exposiciones).*

w_x, w_y, w_z : factor de ponderación de frecuencias para cada eje

ACELERACIÓN TOTAL PONDERADA EN FRECUENCIA

$$a_w = \sqrt{k^2_x\, a^2_{wx} + k^2_y\, a^2_{wy} + k^2_z\, a^2_{wz}}$$

Nota: este valor sólo es relevante en vibraciones mano-brazo a efectos de comparación con el valor límite.

donde:

a_w: aceleración total ponderada en frecuencia (m/s^2)

k_x, k_y, k_z: factores de ponderación de cada eje. En vibraciones transmitidas al cuerpo entero ($k_x = k_y = 1{,}4$ y $k_z = 1{,}0$).

Nota: en vibraciones mano-brazo los factores k_i son iguales a la unidad.

a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}: aceleración eficaz ponderada en frecuencia en cada eje (m/s^2)

ACELERACIÓN PONDERADA GLOBAL

$$a_{w,T} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum T_i a^2_{wi}}$$

donde:

$a_{w,T}$: aceleración global ponderada en frecuencia

a_{wi}: valor eficaz de la aceleración ponderada en frecuencia de duración T_i. *(El subíndice i se refiera a las distintas operaciones o tipos de exposiciones)*

T: duración diaria de la exposición = $\sum T_i$

ACELERACIÓN EFICAZ PONDERADA EN FRECUENCIA REFERIDA A 8 HORAS

$$a_{w,8} \text{ ó } A(8) = k_i a_{w,T} \sqrt{\frac{T}{8}}$$

Nota: En vibraciones transmitidas al cuerpo entero se toma el mayor de los valores de $a_{w,8}$ (uno para cada eje) para comparar con el valor límite. En vibraciones mano-brazo se toma el valor global, calculado como la raíz de la suma de cuadrados de los valores de cada eje.

donde:

$a_{w,8}$ o A(8): aceleración eficaz ponderada en frecuencia referida a 8 horas (m/s^2)

$a_{w,T}$: aceleración eficaz ponderada en frecuencia durante el tiempo T (m/s^2)

T: duración diaria de la exposición (h)

k_i: factor de ponderación para cada eje

EXPOSICIÓN MÁXIMA PERMITIDA

$$\%EMP = \frac{A(8)}{VL} \cdot 100$$

donde:

%EMP: porcentaje de la exposición máxima permitida

A(8): aceleración eficaz ponderada en frecuencia referida a 8 horas (m/s^2)

VL: valor límite de exposición (m/s^2)

TIEMPO DE EXPOSICIÓN MÁXIMO PERMITIDO

$$T_{EMP} = \frac{VL^2 \cdot 8}{A^2(8)}$$

donde:

T_{EMP}: tiempo de exposición máximo permitido (h)

$A^2(8)$: aceleración ponderada referida a 8 horas (m/s^2)

VL: valor límite (m/s^2)

FACTORES DE PONDERACIÓN PARA VIBRACIONES QUE AFECTAN A TODO EL CUERPO (NORMA ISO 2631-1)

Frecuencia (Hz)	Factor de ponderación		Frecuencia (Hz)	Factor de ponderación	
	eje z (w_z)	ejes x e y (w_x, w_y)		eje z (w_z)	ejes x e y (w_x, w_y)
0,1	0,0312	0,0624	8	1,036	0,253
0,125	0,0486	0,0973	10	0,988	0,212
0,16	0,0790	0,158	12,5	0,902	0,161
0,2	0,121	0,243	16	0,768	0,125
0,25	0,182	0,365	20	0,636	0,100
0,315	0,263	0,530	25	0,513	0,080
0,4	0,352	0,713	31,5	0,405	0,0632
0,5	0,418	0,853	40	0,314	0,0494
0,63	0,459	0,944	50	0,246	0,0388
0,8	0,477	0,992	63	0,186	0,0295
1	0,482	1,011	80	0,132	0,0211
1,25	0,484	1,008	100	0,0887	0,0141
1,60	0,494	0,968	125	0,0540	0,00863
2	0,531	0,890	160	0,0285	0,00455
2,5	0,631	0,776	200	0,0152	0,00243
3,15	0,804	0,642	250	0,00790	0,00126
4	0,967	0,512	315	0,00398	0,00064
5	1,039	0,409	400	0,00195	0,00031
6,3	1,054	0,323			

Nota: a efectos de cálculo de la aceleración ponderada, no se utilizan los valores fuera del rango 1-80 Hz.

PONDERACIÓN FRECUENCIAL DE LAS VIBRACIONES MANO-BRAZO (UN EN ISO 5349-1)

Frecuencia (Hz)	Factor de ponderación (w_x, w_y, w_z)	Frecuencia (Hz)	Factor de ponderación (w_x, w_y, w_z)	Frecuencia (Hz)	Factor de ponderación (w_x, w_y, w_z)
4	0,375	40	0,411	400	0,0398
5	0,545	50	0,324	500	0,0314
6,3	0,727	63	0,256	630	0,0245
8	0,873	80	0,202	800	0,0186
10	0,951	100	0,160	1.000	0,0135
12,5	0,958	125	0,127	1.250	0,00894
16	0,896	160	0,101	1.600	0,00536
20	0,782	200	0,0789	2.000	0,00295
25	0,647	250	0,0634		
31,5	0,519	315	0,0503		

Nota: a efectos de cálculo de la aceleración ponderada, no se utilizan los valores fuera del rango 6,3 a 1250 Hz.

F. AMBIENTE TÉRMICO

BALANCE TÉRMICO DEL CUERPO

$M - E - C - R = 0$

donde:

M: calor metabólico
E: pérdida de calor por evaporación
C: pérdida de calor por convección
R: pérdida de calor por radiación

TEMPERATURA RADIANTE MEDIA

$$T_r = \left[(T_g + 273)^4 + 2{,}5 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6} (T_g - T_a)\right]^{1/4} - 273$$

Si $T_g = 50°$ C

$T_r = T_g + 1{,}6 \cdot v^{0,6} (T_g - T_a)$

donde:

T_r: temperatura radiante media (°C)
T_g: temperatura de globo (°C)
T_a: temperatura seca del aire (°C)
v: velocidad del aire (m/s)

INDICE WBGT (WET BULB GLOBE TEMPERATURE)

$WBGT = 0{,}7\ T_{hn} + 0{,}3\ T_g$, aplicable en interiores o exteriores en la sombra
$WBGT = 0{,}7\ T_{hn} + 0{,}2\ T_g + 0{,}1\ T_a$, aplicable si hay radiación solar

donde:

WBGT: valor del índice (°C)
T_{hn}: temperatura húmeda natural (°C)
T_g: temperatura de globo (°C)
T_a: temperatura seca del aire (°C)

WBGT: ADECUACIÓN DE REGÍMENES DE TRABAJO-DESCANSO

$$f_t = \frac{(A - B)}{(C - D) + (A - B)} \cdot 60$$

donde:

f_t: fracción de tiempo de trabajo respecto al total (minutos a trabajar en cada hora)
A: $WBGT_t$ límite en el descanso
B: WBGT en la zona de descanso
C: WBGT en la zona de trabajo
D: WBGT límite en el trabajo

VARIACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO CON EL TIEMPO

$$WBGT = \frac{\sum_{i=1}^{n} WBGT_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}$$

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{n} M \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad \sum_{i=1}^{n} t_i \leq 60$$

donde:

$WBGT_i$: valor del índice para cada tarea o ambiente (°C)

t_i: tiempo dedicado a cada tarea o en cada ambiente (min)

M: consumo metabólico (unidades potencia o potencia por superficie corporal)

IMV (ÍNDICE MEDIO DE VALORACIÓN) (*VER NTP-74*)

$$IMV_c = IMV + f_h(HR - 50) + f_r(T_r - T_a)$$

$$T_f = 1{,}9\sqrt{v}\,(T_g - T_s)$$

donde:

IMV: índice medio de valoración

IMV_c: IMV corregido

f_h: factor de corrección por humedad

f_r: factor de corrección por temperatura radiante

HR: humedad relativa (%)

T_r: temperatura radiante media (°C)

T_g: temperatura de globo (°C)

T_a: temperatura seca del aire (°C)

ÍNDICE DE SUDORACIÓN REQUERIDA (*VER NTP-350*)

$$T_{max} = 60\, Q_{max} / (E_{req} - E_p)$$

$$T_{max} = 60\, D_{max} / SW_p$$

donde:

T_{max}: tiempo máximo de exposición (h)

Q_{max}: calor máximo acumulado (Wh/m^2)

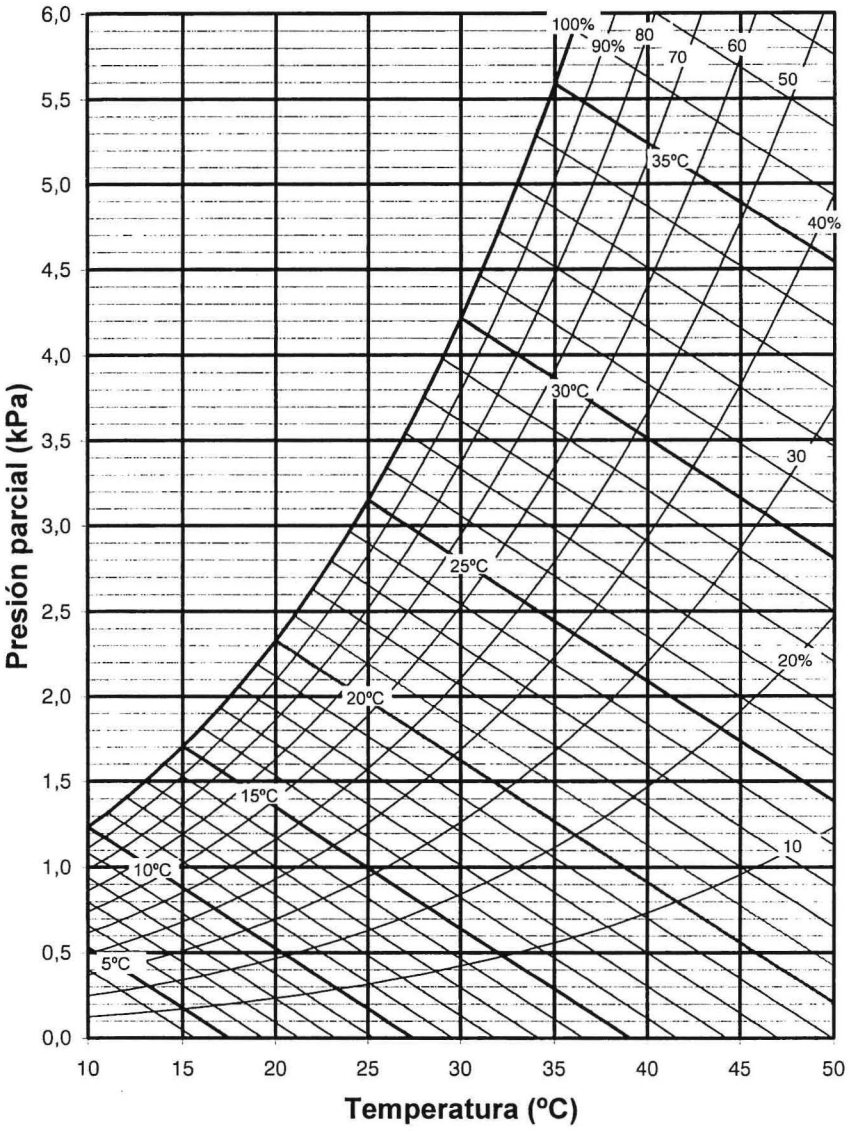
E_{req}: evaporación requerida del sudor (W/m^2)

E_p: evaporación previsible del sudor (W/m^2)

D_{max}: pérdida hídrica máxima (Wh/m^2)

SW_p: sudoración requerida (W/m^2)

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

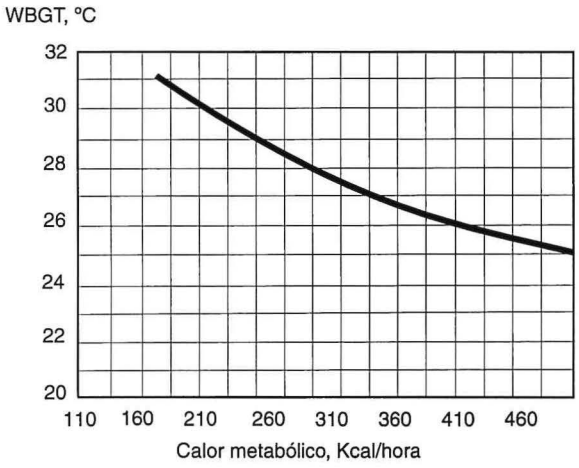


ESTIMACIÓN DEL CONSUMO METABÓLICO (M) (FUENTE: ACGIH)

A. Posición y movimiento del cuerpo	Kcal/min
Sentado	0,3
De pie	0,6
Andando	2,0-3,0
Subida andando en pendiente	0,8 /m de subida

B. Tipo de esfuerzo		Intervalo Kcal/min	Intervalo Kcal/min
Trabajo manual	ligero	0,4	0,2 - 1,2
	pesado	0,9	
Trabajo con un brazo	ligero	1	0,7 - 2,5
	pesado	1,7	
Trabajo con dos brazos	ligero	1,5	1,0 - 3,5
	pesado	2,5	
Trabajo con el cuerpo	ligero	3,5	2,5 - 15
	moderado	5	
	pesado	7	
	muy pesado	9	

VALORES LÍMITE DEL ÍNDICE WBGT (FUENTE: UNE EN 27243:95)



VALOR DEL PMV O IMV PARA UNA ACTIVIDAD TÍPICA DE TRABAJO DE OFICINAS DE ACTIVIDAD METABÓLICA 110 KCAL/HORA

I_{CLO}	T(°C)	PMV (o IMV)								
		<0,1 m/s	0,1 m/s	0,15 m/s	0,2 m/s	0,3 m/s	0,4 m/s	0,5 m/s	1 m/s	1,5 m/s
0,5	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,7				
	20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
	22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	-2,46
	24	-0,17	-0,2	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	-1,59
	26	0,44	0,39	0,26	0,16	0,01	-0,11	-0,21	-0,52	-0,71
	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,7	0,61	0,54	0,31	0,16
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	1,04
	32	2,25	2,2	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	1,95
0,75	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49			
	18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45	
	20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82	-2,02
	22	-0,25	-0,27	-0,4	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17	-1,34
	24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,1	-0,19	-0,27	-0,51	-0,65
	26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,4	0,34	0,14	0,03
	28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,8	0,72
	30	1,8	1,74	1,7	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	1,41
1	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	1,72	-1,82	-2,12	-2,29
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	-1,75
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	-1,2
	22	0,13	0,1	0	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	-0,64
	24	0,58	0,54	0,46	0,4	0,31	0,24	0,19	0,02	-0,07
	26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,7	0,57	0,5
	28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	1,06
	30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	1,63

CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA (CLO) POR LA HUMEDAD

Resistencia térmica (clo)	Factor de corrección por la humedad (f_h)				
	< 0,1 m/s	0,2 m/s	0,5 m/s	1,0 m/s	5,0 m/s
0	0,0099	0,0106	0,0112	0,0120	0,0130
0,25	0,0093	0,0100	0,0104	0,0110	0,0118
0,50	0,0087	0,0091	0,0097	0,0100	0,0108
0,75	0,0081	0,0086	0,0090	0,0093	0,0099
1,00	0,0074	0,0079	0,0084	0,0089	0,0091
1,25	0,0069	0,0073	0,0079	0,0082	0,0084
1,50	0,0063	0,0068	0,0071	0,0074	0,0078

CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA (CLO) POR LA RADIACIÓN

Resistencia térmica(clo)	Factor de corrección por la radiación (f_r)					
	5,0 m/s	2,0 m/s	1,0 m/s	0,5 m/s	0,2 m/s	0,1 m/s
0	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
0,25	0,118	0,145	0,161	0,173	0,189	0,200
0,50	0,080	0,100	0,118	0,134	0,152	0,159
0,75	0,056	0,075	0,089	0,105	0,123	0,132
1,00	0,041	0,057	0,072	0,089	0,100	0,114
1,25	0,034	0,045	0,059	0,072	0,086	0,098
1,50	0,030	0,043	0,045	0,055	0,068	0,080

DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE SUDORACIÓN REQUERIDA

Magnitud	Individuo no aclimatado		Individuo aclimatado	
	Alarma	Peligro	Alarma	Peligro
Q_{max} (Wh/m^2)	50	60	50	60
SW_{max} (W/m^2)	200	250	300	400
D_{max} (Wh/m^2)	1.000	1.250	1.500	2.000
W	0,85	0,85	1	1

G. RADIACIONES

ENERGÍA DE UN FOTÓN

$E = h\,\nu$

donde:
E: energía del fotón (Julios)
h: constante de Planck ($6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Julios·s)
ν: frecuencia de la radiación (Hz)

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad ; \quad \lambda = \frac{1}{T}$$

donde:
l: longitud de onda de la radiación (m)
ν: frecuencia de la radiación (Hz)
c: velocidad de propagación de la luz ($3 \cdot 10^{8}$ m/s)
T: periodo de la onda (s)

INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (medible experimentalmente)

E

donde: E: intensidad de campo eléctrico (V/m)

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO (medible experimentalmente)

H

donde: H: intensidad de campo magnético (A/m)

DENSIDAD DE POTENCIA O IRRADIANCIA (medible experimentalmente)

$$S = \frac{E^2}{120\,\pi} = H^2\,120\,\pi$$

donde:
S: densidad de potencia (W/m^2)
E: intensidad del campo eléctrico (V/m)
H: intensidad del campo magnético (A/m)
120 π: impedancia espacial del aire (Ohm)

DISTANCIA DE SEGURIDAD A LA FUENTE EMISORA

$$d_s = \sqrt{\frac{P\,G}{4\,\pi\,S_{max}\,A_t}}$$

donde:
P: potencia de la fuente (W)
G: ganancia (adimensional)
A_t: atenuación de los paramentos (adim.)
d: distancia del punto a la fuente (m)
S_{max}: valor límite de densidad de potencia (W/m^2)

DENSIDAD DE POTENCIA EN UN PUNTO

$$S = \frac{P\,G}{4\,\pi\,d^2\,A_t}$$

$$G = 10^{\,Lg/10}$$

$$L_g = 10 \log \frac{P_{emitida}}{P}$$

$$A_t = 10^{L_{At}/10}$$

$$L_{A_t} = 10 \log \frac{P_{emitida}}{P_{transmitida}}$$

donde:
P: potencia de la fuente (W)
G: ganancia (coeficiente adimensional)
A_t: atenuación de los paramentos (adim.)
d: distancia del punto a la fuente (m)
L_g: ganacia direccional (dB)
L_{At}: atenuación de los paramentos (dB)
$P_{emitida}$: potencia emitida en una dirección (W)
$P_{transmitida}$: potencia transmitida que atraviesa los paramentos (W)

DENSIDAD DE CORRIENTE INDUCIDA

$$J = k\,B\,f$$

$$J = k'\,H\,f$$

$$J = k''\,E\,f$$

donde:
J: densidad de corriente inducida (A/m^2)
k, k', k": constantes de proporcionalidad
B: densidad de flujo magnético (Tesla)
H: intensidad de campo magnético (A/m)
E: intensidad de campo eléctrico (V/m)
f: frecuencia de la radiación (Hz)

DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO (medible experimentalmente)

$$B = \mu_0 \cdot H$$

donde:
B: densidad de flujo magnético (Tesla)
μ_0: permeabilidad del medio (T·m/A)
H: intensidad del campo magnético (A/m)

TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (*Specific Absortion Rate*)

SAR

donde:
SAR: tasa de absorción específica (W/kg)

RADIACIONES NO IONIZANTES: VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN (Directiva 2004/40/CE)

Frecuencia	Densidad de corriente para cabeza y tronco J (mA/m^2)	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR Localizado cabeza y tronco (W/kg)	SAR Localizado extremidades (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m^2)
hasta 1 Hz	40	-	-	-	-
1-4 Hz	40/f	-	-	-	-
4-1000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz-100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz-10 MHz	f/100	0,4	10	20	-
10 MHz-10 GHz	-	0,4	10	20	-
10-300 GHz	-	-	-	-	50

VALORES QUE DAN LUGAR A UNA ACCIÓN (Directiva 2004/40/CE)

Frecuencia	Intensidad del campo eléctrico E (V/m)	Intensidad del campo magnético H (A/m)	Inducción magnética B (μT)	Densidad de potencia de la onda plana equivalente S_{eq} (W/m^2)	Corriente de contacto IC (mA)
0- 1 Hz	-	$1{,}63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	-	1,0
1-8 Hz	20.000	$1{,}63 \cdot 10^5/f^2$	$1{,}63 \cdot 10^5/f^2$	-	1,0
8-25 Hz	20.000	$2 \cdot 10^4/f$	$2{,}5 \cdot 10^4/f$	-	1,0
0,025-0,82 kHz	500/f	20/f	25/f 500 para 50 Hz	-	1,0
0,82-2,5 kHz	610	24,4	30,7	-	1,0
2,5-65 kHz	610	24,4	30,7	-	0,4 f
65-100 kHz	610	1.600/f	2.000/f	-	0,4 f
0,1-1 MHz	610	1,6/f	2/f	-	40
1-10 MHz	610/f	1,6/f	2/f	-	40
10-110 MHz	61	0,16	0,2	10	40
110-400 MHz	61	0,16	0,2	10	-
400-2000 MHz	$3\ f^{1/2}$	$0{,}008\ f^{1/2}$	$0{,}01\ f^{1/2}$	f/40	-
2-300 GHz	137	0,36	0,45	50	-

ANEXOS

1. Estadística general

ESTIMACIÓN DE LA MEDIA ARITMÉTICA DE UNA POBLACIÓN	$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}$
ESTIMACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR O TÍPICA DE UNA POBLACIÓN	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$
VARIANZA	$s = \sigma^2$
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$
MEDIA GEOMÉTRICA	$MG = \sqrt[n]{(x_1)(x_2)\ldots(x_n)}$ $MG = 10^{\bar{y}}$ donde: $y = \log x$
DESVIACIÓN ESTÁNDAR GEOMÉTRICA	$GSD = 10^{\sigma_y}$ donde: $y = \log x$

2. Conversión de unidades

Magnitud	Unidad y abreviatura en el Sistema Internacional	Equivalencias
Longitud	metro (m)	1 inch *(pulgada)* = 2,54 cm 1 feet *(pie)* = 30,48 cm 1 Angstrom = 10^{-10} m
Masa	kilogramo (kg)	1 kg = 2,2 pounds *(libra)* 1 pound = 454 g
Tiempo	segundo (s)	3.600 s = 60 min = 1 h
Temperatura	Kelvin (K)	$T_K = T_{°C} + 273$ $T_{°C} = (T_{°F} - 32)/1,8$
Intensidad de corriente eléctrica	Amperio (A)	
Voltaje o diferencia de potencial	Voltio (V)	
Cantidad de sustancia	Mol (mol)	
Intensidad luminosa	Candela (cd)	
Intensidad campo eléctrico	V/m	
Intensidad campo magnético	A/m	
Volumen	Metro cúbico (m^3)	1 m^3 = 1000 litros (L o l); 1 l = 0,03531 ft^3 *(feet)*
Densidad	kg/m^3	1 $kg/m^3 = 10^3$ $g/cm^3 = 10^3$ g/ml
Fuerza	Newton (N)	1 N = 1 kg · m/s^2 9,8 N = 1 kp *(kilopondio)* 1 N = 10^5 dina
Presión	Pascal (Pa)	9,8 Pa = 9,8 N/m^2 = 1 mm cda *(mm cda: milímetros de columna de agua)* 1,01325·10^5 Pa = 1 atm *(atmósfera)* 1 mm Hg = 1,333 · 10^2 Pa *(mm Hg: milímetros de columna de mercurio)* 1 bar = 0,9869 atm
Calor, energía o trabajo	Julio (J)	1.054,8 J = 1 BTU *(British Termal Unit)* 1 J = 2,77 · 10^{-4} W · h 1 Julio = 0,24 cal
Potencia	Watio (W)	1 W = 1 Julio/s
Inducción magnética o densidad de flujo magnético	Tesla (T)	1 T = 10^4 Gauss 1 T = 1 Wb · m^2 1 T = 7,96 · 10^5 A/m
Frecuencia	Herz (Hz)	1 Hz = ciclos/s = s^{-1}
SAR	W/kg	

3. Constantes

Aceleración gravitatoria: $g = 9{,}81\ m/s^2$

Constante universal de los gases ideales: $R = 0{,}082\ atm \cdot l/mol\ K = 8{,}314\ J/mol\ K$

Volumen molar de un gas en c.n. (25°C, 1 atm): $V_m = 24{,}4\ l$

Volumen molar de un gas (20°C, 1 atm): $V_m = 24{,}0\ l$

Volumen molar de un gas (0°C, 1 atm): $V_m = 22{,}4\ l$

Densidad del aire en c.n. (1 atm, 0°C): $d = 1{,}2\ kg/m^3$

Número de Avogadro: $N_A = 6{,}024 \cdot 10^{23}$ átomos o moléculas/mol

Velocidad de propagación de la luz: $c = 3 \cdot 10^8\ m/s$

Constante de Planck: $6{,}63 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$

Permeabilidad magnética del vacío: $\mu_0 := 400 \cdot \pi \cdot 10^{-9}\ T \cdot m/A$

4. Prefijos en unidades

Prefijo	Factor	Símbolo	Prefijo	Factor	Símbolo
yotta	10^{24}	Y	deci	10^{-1}	d
zetta	10^{21}	Z	centi	10^{-2}	c
exa	10^{18}	E	milli	10^{-3}	m
peta	10^{15}	P	micro	10^{-6}	μ
tera	10^{12}	T	nano	10^{-9}	n
giga	10^{9}	G	pico	10^{-12}	p
mega	10^{6}	M	femto	10^{-15}	f
kilo	10^{3}	k	atto	10^{-18}	a
hecto	10^{2}	h	zepto	10^{-21}	z
deca	10	da	yocto	10^{-24}	y

ET106
8 474257 174005

MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ASUNTOS SOCIALES

INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO